

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков
“__” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи електропостачання та
електрозбереження тролейбусного депо
Development of a power supply and energy saving system
for a trolleybus depot»**

Виконала здобувачка вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-23мб
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Т. Босько
«__» _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ О. Сіріков
«__» _____ 2026 р.

Рецензент _____

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва, транспорту та енергетики*

Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*

Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*

Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ П. Плєшков

«_____» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Босько Тетяни Вікторівни

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи електропостачання та електрозбереження тролейбусного депо*

Development of a power supply and energy saving system for a trolleybus depot

2. Керівник роботи *Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент*

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

3. Строк подання роботи до захисту *01.06.2026 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: розробка системи електропостачання та електрозбереження тролейбусного депо*

Завдання: 1. Вступ; 2. Електричні навантаження в системі електропостачання; 3. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції); 4. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства; 5. Компенсація реактивної потужності; 6. Трансформаторні підстанції; 7. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання; 8. Спеціальний розділ; 9. Висновки; 10. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>14.04</i>	
2	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>18.04</i>	
3	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції)</i>	<i>23.04</i>	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>27.04</i>	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>30.04</i>	
6	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>04.05</i>	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>08.05</i>	
8	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>13.05</i>	
9	<i>Висновки</i>	<i>18.05</i>	
10	<i>Перелік посилань</i>	<i>21.05</i>	
11	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційних матеріалів</i>	<i>01.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача

_____ Босько Т.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 66 с.; 8 рис.; 31 табл.; 8 джерел

Босько Т.В. Розробка системи електропостачання та електрозбереження тролейбусного депо, м. Кропивницького. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ЦНТУ, Кропивницький, 2026 рік.

В даній кваліфікаційній роботі розроблена система електропостачання та електрозбереження тролейбусного депо.

В першому розділі роботи проведений розрахунок силових та освітлювальних електричних навантажень. В цьому ж розділі побудовані графіки електричних навантажень та визначено їх характеристики. В другому розділі виконані розрахунки для побудови картограми навантажень та обрано місце розташування ЦРП. В третьому розділі розглянуто питання вибору схем електропостачання шляхом техніко-економічного порівняння варіантів зовнішнього та внутрішнього електропостачання. В четвертому розділі розглянуто питання компенсації реактивної потужності - обрано потужність компенсуючих пристроїв та місце їх розташування. В п'ятому розділі проведено вибір кількості та потужності трансформаторних підстанцій для підприємства. В шостому розділі розраховано струми короткого замкнення та вибрано силове електрообладнання.

В спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розроблена система електрозбереження, як комплекс заходів направлених на економію електричної енергії на усіх етапах її передачі, перетворення та використання. В якості прикладу проведений розрахунок економії електричної енергії від впровадження автоматичного регулювання кількості включених трансформаторів на підстанціях підприємства. Також розрахована річна економія електричної енергії від впровадження світлодіодного освітлення на всьому підприємстві.

Ключові слова: електричні навантаження, компенсація реактивної потужності, вибір електричного обладнання, система електрозбереження

ABSTRACT

Qualification work: 66 p.; 8 Fig.; 31 tables; 8 sources

Bosko T.V. Development of a power supply and energy saving system for a trolleybus depot. - Manuscript.

Qualification work of the first (bachelor's) level of higher education in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", EPP "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

In this qualification work, a power supply and electricity saving system for a trolleybus depot was developed.

In the first section of the work, the calculation of power and lighting electrical loads was carried out. In the same section, graphs of electrical loads were constructed and their characteristics were determined. In the second section, calculations were made to build a load map and the location of the DCP was selected. In the third section, the issue of choosing power supply schemes was considered by means of a technical and economic comparison of external and internal power supply options. In the fourth section, the issue of reactive power compensation was considered - the power of compensating devices and their location were selected. In the fifth section, the number and capacity of transformer substations for the enterprise were selected. In the sixth section, short-circuit currents were calculated and power electrical equipment was selected.

In a special section of the qualification work, an electricity saving system was developed as a set of measures aimed at saving electrical energy at all stages of its transmission, conversion and use. As an example, the calculation of electrical energy savings from the implementation of automatic regulation of the number of switched-on transformers at the enterprise's substations was carried out. The annual electrical energy savings from the implementation of LED lighting throughout the enterprise were also calculated.

Key words: electrical loads, reactive power compensation, selection of electrical equipment, energy saving system

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ...	10
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	10
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	11
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	15
1.4. Побудова графіків	20
2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	26
3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	28
3.1.Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	28
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	32
4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	33
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	33
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	34
5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ.....	37
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП.....	37
5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	37
6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	38
6.1. Розрахунок струмів КЗ	38
6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	40
6.3. Вибір електрообладнання.....	43
7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ .	46
7.1. Вступ.....	46
7.2. Економії електроенергії в засобах передавання і перетворення	46
7.2.1. Економія електроенергії в електричних мережах.....	46
7.2.2. Економія електроенергії в трансформаторах	48
7.3. Економії електроенергії на етапі використання.....	51
7.3.1. Економія електроенергії в електродвигунах.	51
7.3.2. Економія електроенергії в вентиляційних установках.....	54
7.3.3. Економія електроенергії в освітлювальних установках.....	57
7.4. Економія електроенергії впровадженням автоматичного регулювання на двотрансформаторній підстанції.	60
7.5. Розрахунок економії електроенергії від впровадження LED освітлення.....	63
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Босько Т.В.				Розробка системи електропостачання та електрозбереження тролейбусного депо	Літ.	Аркуш
Перевір.	Сіріков О.І.					6	66
Н. Контр.	Сіріков О.І.					ЦНТУ гр. ЕЕ-23мб	
Затв.	Плешков П.Г.						

ВСТУП

Предметом діяльності підприємства є забезпечення відповідно до чинних і нормативних актів, зміст, функціонування і розвиток споруд і пристроїв енергопостачання.

Основними завданнями служби є: забезпечення безперебійного енергопостачання міського електротранспорту. Технічна експлуатація перетворюючих пристроїв тягових трансформаторних підстанцій, контактних кабельних мереж, засобів автоматизації і телекерування, пристроїв сигналізації, централізованого блокування. Вміст в технічно справному стані спеціальної автотехники служби енергогосподарства і організації швидкої технічної допомоги, для оперативного відновлення руху міського електротранспорту і запобігання можливості затримки рухомого складу. Здійснення заходів щодо метрологічного забезпечення виробництва служби енергогосподарства, організація енергонагляду за використанням електричної енергії підрозділами тролейбусного депо, дотриманням режимів електроспоживання, встановлених лімітів і питомих норм витрачання електроенергії, контролем над раціональною витратою енергоресурсів. Підприємство складається:

1. Автотранспортної ділянки того, що відповідає за технічно справний і ремонт несправного автотранспорту. Здійснює технічний і профілактичний огляд, ремонт транспорту перед виїздом на маршрут для своєчасного ремонту і профілактичних робіт на лінії. Складається з боксу профілактичного огляду і боксів середнього і капітального ремонтів, моторного цеху.

2. Ділянки телемеханіки – обслуговування телеметричних мереж управління і апаратів дистанційного керування трансформаторних тягових підстанцій. Управління здійснюється по лініях зв'язку з районного диспетчерського пункту.

3. Цех контактної мережі і сигналізації централізованого блокування – що забезпечує ремонт і обслуговування контактної мережі для безперебійного руху рухомого складу міського електротранспорту.

4. Кабельна ділянка – ремонт кабельних і повітряних ліній електропередачі від живлячих трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів постачальника

						Арк.
						7

електроенергії (6, 10, 0.4 кВ) до розподільних пристроїв трансформаторних тягових підстанцій, кабельних і повітряних ліній до контактної мережі (0,6 кВ). До складу підприємства в ходять дві електротехнічні лабораторії стаціонарна займається перевіркою і випробуванням захисних засобів, а пересувна випробуванням, визначенням місць пошкодження КЛ і ПЛ.

5. Цех трансформаторних тягових підстанцій – основний цех виробництва, оскільки всі трансформаторні тягові підстанції об'єднані в одну ділянку і перетворюють змінний електричний струм в постійний розташовані в місті.

6. Ремонтно–налагоджувальна ділянка – займається ремонтом і профілактичним оглядом трансформаторних тягових підстанцій: силовим устаткуванням розподільними пристроями 6-10 кВ, змінного струму, 0,6 кВ постійного струму, пристроями захисту від перевантажень і пристроїв релейного захисту, а при будівництві нових трансформаторних тягових підстанцій і пуско-налагоджувальними роботами.

7. Диспетчерський відділ – займається узгодженням оперативних перемикачів, узгодженням робіт різних цехів підприємства так і узгодженням робіт з диспетчерами інших підприємств. Розташований в адміністративній будівлі.

8. Планово-виробничий відділ – складання графіків капітальних, середніх ремонтів. Планування заробітної платні, узгодження зміни схем (при перенесенні, будівництві нових контактних мереж, кабельних ліній).

9. Ділянка підготовки виробництва – займається виготовленням необхідних деталей для ремонту контактної мережі (розтяжки, зчленування, стрілки). Складається з: механічного, зварювального цехів.

10. Ділянка радіозв'язку – відповідає за весь зв'язок, внутрішні телефонні лінії, апарати радіозв'язку, що забезпечують оперативний зв'язок бригад тих, що знаходяться на лінії з диспетчером.

12. Відділення енергонагляду – займається аналізом витрат активної і реактивної потужностей, запроваджує контроль над лімітом потужності і договірними величинами електричної енергії, фінансування витрат електричної енергії по всьому підприємству.

						Арк.
						8

Основним технологічним устаткуванням для виробничих потреб служби енергогосподарства є устаткування слюсарно-механічної, зварювальної ділянок: прес, радіально свердлильний верстат, токарний верстат, фрезерний станок, зварювальний апарат, витяжка, кран балка, ножиці гільйотини, обрізний верстат, на яких виготовляють та відновлюють запчастини для контактної мережі (путні електрострелки, кріплення розтяжок, різного типу з'єднування, підвіски контактної мережі). Оскільки до складу служби входить автопарк також проводиться ремонт і виготовлення різних деталей автомобіля.

Для перевірки двигуна після капітального ремонту застосовується стенд випробування двигунів.

Компресор призначений для продувки деталей і підкачки коліс автотранспорту.

На території розташована пральня для прання спецодягу співробітників, для цього встановлені пральна машина, центрифуга, сушильна шафа. Для дотримання санітарно-технічних норм встановлений бойлер.

						Арк.
						9

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Електричні навантаження є початковими даними для розв'язку складного комплексу технічних та економічних питань, які виникають при проектуванні електропостачання будь-якого підприємства. Визначення електричних навантажень складний перший етап проектування будь-якої системи електропостачання і вирішується з метою вибору та перевірки струмоведучих елементів і трансформаторів по нагріву, розрахунку відхилення та коливань напруги, вибору компенсуючих, установок, захисних пристроїв тощо. Від правильної оцінки електричних навантажень залежить раціональність вибору схеми всіх елементів системи електропостачання та її техніко-економічні показники.

На даний час існує ряд науково обґрунтованих методів розрахунку електричних навантажень. В даній роботі використовується найбільш поширений метод розрахунку електричних навантажень запропонований Г.М. Каяловим – метод упорядкованих діаграм.

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Розрахунок електричних навантажень до 1000 В проводимо за методикою «Упорядкованих діаграм» наведеною в [1, 2].

Розрахункове активне навантаження адміністративної споруди визначається за виразом:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 17,3 \cdot 1,17 = 20,24 \text{ кВт},$$

де P_{cm} – середнє активне навантаження групи ЕП (сума 9 колонки табл. 1.1);

K_m – коефіцієнт максимуму навантаження. Знаходиться за таблицями [1, 2] в залежності від значення групового коефіцієнта використання:

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n P_{cm}}{\sum_{i=1}^n P_n} = 17,3/53,6 = 0,32;$$

та ефективного числа електроприймачів у групі або вузлі навантаження (так як $m > 3$ $K_u > 0,2$ значення n_e визначається за спрощеним виразом):

						Арк.
						10

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n.\max}} = 2 \cdot 53,6 / 2,2 = 48.$$

Так як n_e більше дійсного числа електроприймачів групи (вузла) $n = 45$, слід приймати $n_e = n = 45$ за [1, 2].

Розрахункове реактивне навантаження вузла навантаження при $n_e > 10$

$$Q_p = Q_{cm} = 4,1 \text{ квар},$$

де Q_{cm} – середнє реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну (сума 10 колонки табл. 1.1).

Розрахунковий максимум навантаження

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{20,24^2 + 4,1^2} = 20,65 \text{ кВА}.$$

Розрахунок електричних навантажень інших цехів та підрозділів тролейбусного депо напругою до 1000 В аналогічний розрахунку адміністративної будівлі. Результати розрахунку наведено в табл. 1.1.

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

Розрахунок освітлювальних навантажень виконується по питомій потужності освітлювального навантаження на одиницю корисної площі виробничого приміщення. Розрахунок освітлювальних навантажень проводимо за методикою детально наведеною в [3].

Встановлена потужність освітлювальних електроприймачів адміністративної будівлі:

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 180 \cdot 10^{-3} = 3,6 \text{ кВт},$$

де p_0 – питома потужність освітлювального навантаження (визначається за характером навантаження [3, 4]) Вт/м²; F – площа приміщення (визначається за генпланом підприємства), м².

Розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів:

$$P_{p.осв} = K_n P_y = 0,8 \cdot 3,6 = 2,9 \text{ кВт}$$

де K_n – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження (визначається в залежності від характеру приміщення з [3, 4, 7]).

						Арк.
						11

Таблиця 1.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		пэ	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Рср	Qср			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Адміністративна споруда													
	Комп'ютери	10	0,4	4	0,5	0,9	0,48	2	1,0					
	Кондиціонери	5	2,0	10	0,3	0,75	0,88	3	2,6					
	Електронагрівачі	12	1,5	18	0,6	1,0	0,00	10,8	0,0					
	Мікрохвильові печі	3	2,2	6,6	0,05	0,8	0,75	0,33	0,2					
	Холодильники	6	0,2	1,2	0,4	0,9	0,48	0,48	0,2					
	Чайники	6	2,2	13,2	0,05	1,0	0,00	0,66	0,0					
	Ксерокси	3	0,20	0,6	0,05	0,9	0,48	0,03	0,0					
	Всього по адміністративній споруді	45	0,2-2,2	53,6	0,32	0,97	0,24	17,3	4,1	45	1,17	20,24	4,1	20,65
2	Цех тягових підстанцій													
	Чайники	3	2,2	6,6	0,05	1,0	0,00	0,33	0,0					
	Електронагрівачі	6	1,5	9	0,6	1,0	0,00	5,4	0,0					
	Холодильники	3	0,2	0,6	0,4	0,9	0,48	0,24	0,1					
	Комп'ютери	3	0,4	1,2	0,5	0,9	0,48	0,6	0,3					
	Кондиціонери	3	2,0	6	0,3	0,75	0,88	1,8	1,6					
	Радіально свердлувальний верстат	6	1,5-3,0	13,5	0,14	0,8	0,75	1,89	1,4					
	Наждак	2	0,5	1,0	0,14	0,7	1,02	0,14	0,1					
	Витяжка	4	2,0	8	0,9	0,9	0,48	7,2	3,5					
	Ножиці гільйотинні	2	20	40	0,6	0,8	0,75	24	18,0					
	Стенд випробовування двигунів	2	40	80	0,7	0,8	0,75	56	42,0					
	Бойлер	4	5	20	0,8	1,0	0,00	16	0,0					
	Всього по цеху	38	0,2-40	185,9	0,61	0,86	0,59	113,6	67,0	9	1,25	142,00	73,7	160,01
3	Котельня													
	Насоси подачі	8	15-100	465	0,65	0,8	0,75	302,25	226,7					
	Димососи	2	55	110	0,7	0,8	0,75	77	57,8					
	Насоси живлячі	2	32	64	0,7	0,8	0,75	44,8	33,6					
	Вентилятори	4	27	108	0,8	0,7	1,02	86,4	88,1					
	Всього по котельні	16	15-100	747	0,68	0,78	0,80	510,45	406,2	16	1,15	587,02	406,2	713,84
4	Слесарно-механічна ділянка													
	Верстат радіально-свердлильний	2	11	22	0,2	0,65	1,17	4,4	5,1					

Вим.		Продовження таблиці 1.1.														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			Верстат вертикально свердлильний	2	6	12	0,14	0,4	2,29	1,68	3,8					
			Токарно-винторізний верстат	2	7,5	15	0,2	0,5	1,73	3	5,2					
			Фрезерувальний верстат	8	3,7-8,5	40,9	0,17	0,65	1,17	6,953	8,1					
			Горизонтально-фрезерувальний верстат	4	5,5-13	44,50	0,17	0,4	2,29	7,565	17,3					
			Заточний верстат	1	4	4	0,21	0,65	1,17	0,84	1,0					
			Долбіжний верстат	1	6	6	0,3	0,5	1,73	1,8	3,1					
			Пиловловлюючий агрегат	1	30	30	0,14	0,4	2,29	4,2	9,6					
			Кран-балка	1	5,5	5,5	0,1	0,5	1,73	0,55	1,0					
			Напівавтомат	3	15-19,6	49,6	0,12	0,4	2,29	5,952	13,6					
			Автомат токарний	1	15	15	0,2	0,5	1,73	3	5,2					
			Всього по ділянці	26	3,7-30	244,5	0,16	0,48	1,83	39,94	73,16	16	1,65	65,90	73,2	98,47
		5	Зварювальна ділянка													
			Витяжка	6	2	12	0,9	0,9	0,48	10,8	5,2					
			Зварювальний апарат	6	120	720	0,3	0,6	1,33	216	288,0					
			Кран-балка	1	5,5	5,5	0,1	0,5	1,73	0,55	1,0					
			Комресор	4	10	40	0,9	0,9	0,48	36	17,4					
			Різак	2	4	8	0,1	0,8	0,75	0,8	0,6					
			Токарний верстат	4	10	40	0,12	0,6	1,33	4,8	6,4					
			Наждак	2	2	4	0,1	0,6	1,33	0,4	0,5					
			Обрезний верстат	2	6	12	0,12	0,6	1,33	1,44	1,9					
			Всього по зварювальній ділянці	27	2,0-120	841,5	0,32	0,64	1,19	270,79	321,1	14	1,4	379,11	321,1	496,80
		6	Лабораторія													
			Випробувальні верстати	4	5	20	0,5	0,7	1,02	10	10,2					
			Стенди	4	2	8	0,5	0,7	1,02	4	4,1					
			Витяжка	4	2	8	0,9	0,9	0,48	7,2	3,5					
			Сушильні шафи	6	15	90	0,9	1	0,00	81	0,0					
			Компресор	6	10	60	0,9	0,9	0,48	54	26,2					
			Холодильники	2	0,2	0,4	0,4	0,9	0,48	0,16	0,1					
			Кондиціонери	2	2	4	0,3	0,75	0,88	1,2	1,1					
			Всього по лабораторії	28	0,2-15	190,4	0,83	0,96	0,29	157,56	45,1	25	1,1	173,32	45,1	179,08
		7	Побутове приміщення													
13	Арк		Бойлер	4	5	20	0,8	1	0,00	16	0,0					
			Холодильники	4	0,2	0,8	0,4	0,9	0,48	0,32	0,2					

Вим.		Продовження таблиці 1.1.														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			Електричні плити	4	5,5	22	0,1	1	0,00	2,2	0,0					
			Чайники	2	2,2	4,4	0,1	1	0,00	0,44	0,0					
			Всього по побутовому приміщенню	14	0,2-5,5	47,2	0,40	1,00	0,01	18,96	0,15	14	1,32	25,03	0,15	25,03
	8		Бокс													
			Машини для миття	8	5	40	0,3	0,8	0,75	12	9,0					
			Компресор	4	10	40	0,9	0,9	0,48	36	17,4					
			Кран-балка	4	3,5	14	0,1	0,5	1,73	1,4	2,4					
			Тельфер	2	1,5	3	0,05	0,5	1,73	0,15	0,3					
			Всього по боксу	18	1,5-10	97	0,51	0,86	0,59	49,55	29,1	18	1,2	59,46	29,1	66,21
	9		Приміщення майстрів													
			Обігрівачі	4	2	8	0,5	1	0,00	4	0,0					
			Чайники	2	2,2	4,4	0,1	1	0,00	0,44	0,0					
			Холодильники	2	0,2	0,4	0,4	0,9	0,48	0,16	0,1					
			Комп'ютери	2	0,4	0,8	0,5	0,9	0,48	0,4	0,2					
			Кондиціонери	2	2	4	0,3	0,75	0,88	1,2	1,1					
			Всього по приміщенню	12	0,2-2,2	17,6	0,35	0,98	0,21	6,2	1,3	12	1,45	8,99	1,3	9,09
	10		Пральня													
			Пральні машини	6	10	60	0,7	0,9	0,48	42	20,3					
			Сушильні шафи	6	2,5	15	0,8	1	0,00	12	0,0					
			Обігрівачі	2	2	4	0,8	1	0,00	3,2	0,0					
			Всього по пральні	14	2,0-10	79	0,72	0,94	0,36	57,2	20,3	10	1,1	62,92	20,3	66,13
	11		Моторний цех													
			Стенд випробовування двигунів	2	40	80	0,7	0,8	0,75	56	42,0					
		Витяжка	4	2	8	0,9	0,9	0,48	7,2	3,5						
		Свердильний верстат	4	5	20	0,14	0,6	1,33	2,8	3,7						
		Наждак	2	1,5	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,6						
		Кран-балка	2	1,5	3	0,05	0,5	1,73	0,15	0,3						
		Всього по моторному цеху	14	1,5-40	114	0,58	0,80	0,75	66,51	50,1	6	1,4	93,11	55,1	108,20	
	12		Компресорна													
			Компресор	8	40	320	0,8	0,9	0,48	256	124,0					
			Всього по компресорній	8	40,0	320	0,80	0,90	0,48	256	124,0	8	1,08	276,48	124,0	303,01
			Всього по депо	260	0,2-120	2937,7	0,53	0,81	0,73	1564,1	1141,66	49	1,12	1751,75	1141,7	2090,94
14	Арк															

В адміністративній будівлі використовуються застарілі люмінесцентні лампи. В подальшому планується поступовий перехід на світлодіодне освітлення по мірі виходу з ладу люмінесцентних ламп. Споживається реактивна потужність люмінесцентними лампами адміністративної будівлі визначається за формулою [4, 7]:

$$Q_{p.осв} = P_p \operatorname{tg} \varphi = 2,9 \cdot 0,48 = 1,4 \text{ квар.}$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ відповідає характерному для даних джерел світла коефіцієнту потужності $\cos \varphi$ (для люмінесцентних ламп $\cos \varphi = 0,9$ [4, 7]).

Розрахунок освітлювальних навантажень для інших будівель та цехів тролейбусного депо аналогічний, результати розрахунку наведені в табл. 1.2.

1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В

Розрахунок електричних навантажень вище 1000 В проводиться за наперед обраним розміщенням цехових трансформаторних підстанцій на території підприємства, що розглядається. Детально методика розрахунку електронавантажень в силових мережах вище 1000 В викладена в [5-7].

Силове електричне навантаження по ТП визначається аналогічно п. 1.1.

Силове освітлювальне навантаження визначається сумуванням окремих цехів та підрозділів.

Втрати в трансформаторах ТП-1,2 визначимо за формулами

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_{\kappa} K_3^2) = 4(1,45 + 5,5 \cdot 0,692^2) = 47,96 \text{ кВт;}$$

$$\Delta Q = n \left(\frac{I_x}{100} S_n + \frac{U_{\kappa}}{100} S_n K_3^2 \right) = 4 \left(\frac{2,1}{100} 400 + \frac{5,5}{100} 400 \cdot 0,692^2 \right) = 171,58 \text{ квар;}$$

де n – число трансформаторів; ΔP_x , ΔP_{κ} – втрати відповідно х.х і к.з., % (обирається з довідників за відповідною маркою трансформатора [2, 6 додаток Б];

K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$$K_3 = \frac{S_p}{n S_n} = \frac{1107,46}{4 \cdot 400} = 0,692 .$$

Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В, оформлюється у вигляді табл. 1.3.

						Арк.
						15

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлювального навантаження.

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , кВар	K _c	P _p , кВт	Q _p , кВар	S _p ,кВА
1	Адміністративна споруда	180	20	3,6	0,48	1,73	0,8	2,9	1,4	3,2
2	Цех тягових підстанцій	62	16	0,992	1,73	1,72	0,8	0,8	1,4	1,6
3	Котельня	188	14	2,632	1,73	4,55	0,95	2,5	4,3	5,0
4	Слесарно-механічна ділянка	640	16	10,24	1,73	17,72	0,95	9,7	16,8	19,4
5	Зварювальна ділянка	360	14	5,04	1,73	8,72	0,95	4,8	8,3	9,6
6	Лабораторія	105	20	2,1	0,48	1,01	0,8	1,7	0,8	1,9
7	Побутове приміщення	150	20	3	0,48	1,44	0,85	2,6	1,2	2,8
8	Бокс	3092	14	43,288	1,73	74,89	0,95	41,1	71,1	82,2
9	Приміщення майстрів	108	20	2,16	0,48	1,04	0,8	1,7	0,8	1,9
10	Пральня	60	16	0,96	0,48	0,46	0,85	0,8	0,4	0,9
11	Моторний цех	60	16	0,96	1,73	1,66	0,9	0,9	1,5	1,7
12	Компресорна	56	12	0,672	0,48	0,32	0,85	0,6	0,3	0,6
13	Прохідна	75	18	1,35	0,48	0,65	0,6	0,8	0,4	0,9
14	Складськи приміщення	120	10	1,2	0,48	0,58	0,6	0,7	0,3	0,8
15	Освітлення території	12070	0,1	1,207	1,73	2,09	1	1,2	2,1	2,4
Всього по депо		17326		79,4		118,6		72,8	111,2	132,9

Таблиця 1.3. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		пэ	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Рср	Qср			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	ТП 1,2 2×(2×400)													
3	Котельня силова	16	15-100	747	0,68	0,78	0,8	510,45	406,18	16	1,15	587,02	406,18	713,84
	освітлення							2,63	4,55			2,50	4,33	
	Всього по котельні							513,082	410,74			589,52	410,51	718,37
1	Адміністративна споруда													
	силова	45	0,2-2,2	53,6	0,32	0,97	0,24	17,3	4,11	45	1,17	20,24	4,11	20,65
	освітлення							3,6	1,7			2,9	1,4	
	Всього по споруді							20,9	5,8			23,1	5,49	23,76
8	Бокс													
	силова	18	1,5-10	97	0,51	0,86	0,59	49,55	29,12	18	1,2	59,46	29,12	66,21
	освітлення							43,29	74,9			41,1	71,1	
	Всього по боксу							92,838	104,0			100,6	100,26	142,02
12	Компресорна													
	силова	8	40	320	0,8	0,9	0,48	256,00	123,99	8	1,08	276,48	123,99	303,01
	освітлення							0,67	0,3			0,6	0,3	
	Всього по компресорній							256,67	124,3			277,1	124,26	303,64
13	Прохідна													
	освітлення							1,35	0,6			0,8	0,4	
	Всього по прохідній							1,35	0,65			0,8	0,4	0,90
14	Складські приміщення													
	освітлення							1,2	0,6			0,7	0,3	
	Всього по складу							1,2	0,6			0,7	0,3	0,80
	Освітлення території													
	освітлення							1,207	2,1			1,2	2,1	
	Всього по території							1,2	2,1			1,2	2,1	2,41
11	Моторний цех													
	силова	14	1,5-40	114	0,58	0,8	0,75	66,51	50,10	5,7	1,4	93,11	55,11	108,20
	освітлення							0,67	1,7			0,9	1,5	

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	освітлення							2,10	1,01			1,68	0,81	
	Всього по лабораторії							168,66	56,07			188,00	59,87	197,30
7	Побутове приміщення													
	силова	14	0,2-5,5	47,2	0,4	1	0,01	18,96	0,15	14	1,32	25,03	0,15	25,03
	освітлення							3	1,4			2,6	1,2	
	Всього по побутовому приміщенні							21,96	1,6			27,6	1,38	27,61
9	Приміщення майстрів													
	силова	12	0,2-2,2	17,6	0,35	0,98	0,21	6,2	1,3	12	1,45	8,99	1,33	9,09
	освітлення							2,16	1,0			1,7	0,8	
	Всього по приміщенню майстрів							8,36	2,4			10,7	2,16	10,93
10	Пральня													
	силова	14	2,0-10	79	0,72	0,94	0,36	57,2	20,34	10	1,1	62,92	20,34	66,13
	освітлення							0,96	0,5			0,8	0,4	
	Всього по пральні							58,16	20,8			63,7	20,73	67,02
	Всього силова по ТП 4	68	0,2-15	334,2	0,72	0,96	0,28	239,92	66,89	45	1,13	271,11	66,9	279,24
	Всього освітлення по ТП 4							8,22	3,95			6,77	3,25	
	Всього по ТП 4							248,14	70,83			277,88	70,14	286,60
	КП 0,4 кВ												50,00	
	Всього по ТП 4 з КП											277,88	20,14	278,61
	Втрати потужності в тр-рах 1×400											2,12	10,58	
	Всього по ТП на шинах 10 кВ											280,00	30,72	281,68
	Всього силова по заводу 0,4 кВ	260	0,2-120	2937,7	0,53	0,81	0,73	1564,06	1141,66	49	1,12	1751,75	1141,66	2090,94
	Всього освітлення по депо							79,11	118,56			72,76	111,18	
	Всього навантаження по депо							1643,17	1260,22			1824,51	1252,84	2213,24
	Всього КП 0,4 кВ по депо												700,0	
	Всього по депо з КП											1824,51	552,84	1906,43
	Всього втрати потужності в тр-рах											58,3	216,4	
	КП 10 кВ												500,00	
	Всього по депо на шинах 10кВ											1882,8	269,2	1902,0

1.4. Побудова графіків

Добові графіки споживання активної та реактивної електроенергії будуються на основі або типових графіків або замірів зроблених на конкретному діючому підприємстві. Річний графік будується на основі відповідних добових графіків. З річного графіку за тривалістю визначають значення кількість годин використання максимуму навантаження – $T_{\max}$ та річний час повних втрат – τ . Ці дані необхідні для обчислення річних витрат активної і реактивної енергії, середньозваженого коефіцієнта потужності. Кількість днів прийнята наступна:

Робочих: Зимою – 147; Літом – 105;

Вихідних: Зимою – 65; Літом – 48.

Побудову графіків електричних навантажень виконано із застосуванням математичного пакету **Mathcad**. При розрахунках приймалося що літній графік на 15% менше зимового.

1. Активне розрахункове навантаження:

$$P_{\max} := 1882.8 \quad \text{кВт}$$

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{\max} := 1469.2 \quad \text{квар}$$

$$T_{\text{лето_р}} := 105 \quad T_{\text{лето_в}} := 48$$

$$T_{\text{зима_р}} := 147 \quad T_{\text{зима_в}} := 65$$

$$T_{\Gamma} = 365$$

3. Задання графіка навантаження (в %) для кожної ступені графіка для активної потужності,
2 - для реактивної потужності):

Робочі дні

	1	2
1	20	50
2	20	50
3	20	50
4	20	50
5	20	50
6	20	50
7	30	100
8	60	90
9	95	100
10	95	80
11	100	80
12	50	90
13	70	100
14	80	80
15	95	80
16	100	90
17	80	90
18	60	100
19	50	90
20	30	70
21	20	50
22	20	50
23	20	50
24	20	...

Вихідні дні

	1	2
1	20	50
2	20	50
3	20	50
4	20	50
5	20	50
6	20	50
7	30	100
8	60	90
9	95	100
10	95	80
11	100	80
12	50	90
13	70	100
14	80	80
15	95	80
16	100	90
17	80	90
18	60	100
19	50	90
20	30	70
21	20	50
22	20	50
23	20	50
24	20	50

Арк.

1. літні робочі дні
2. зимні робочі дні
3. літні вихідні дні
4. зимні вихідні дні

Power 4 =

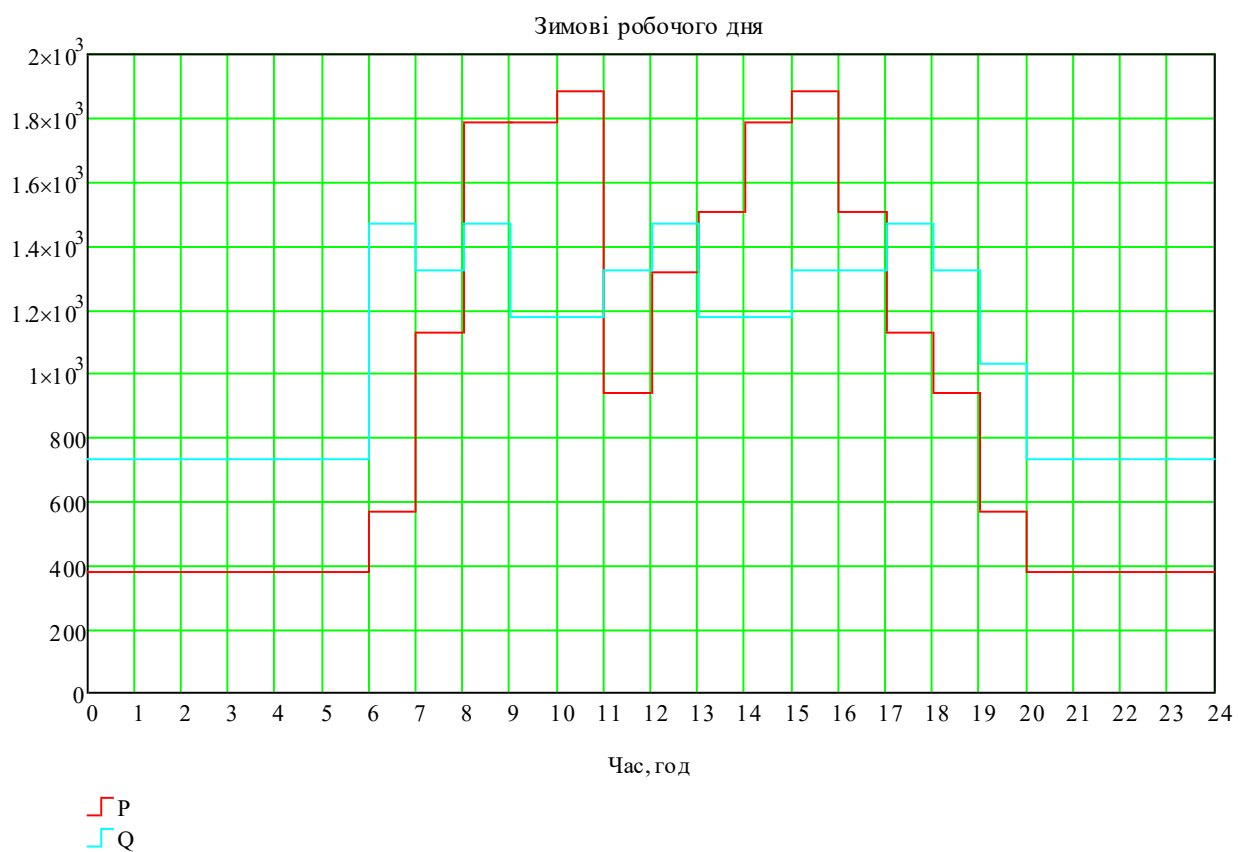
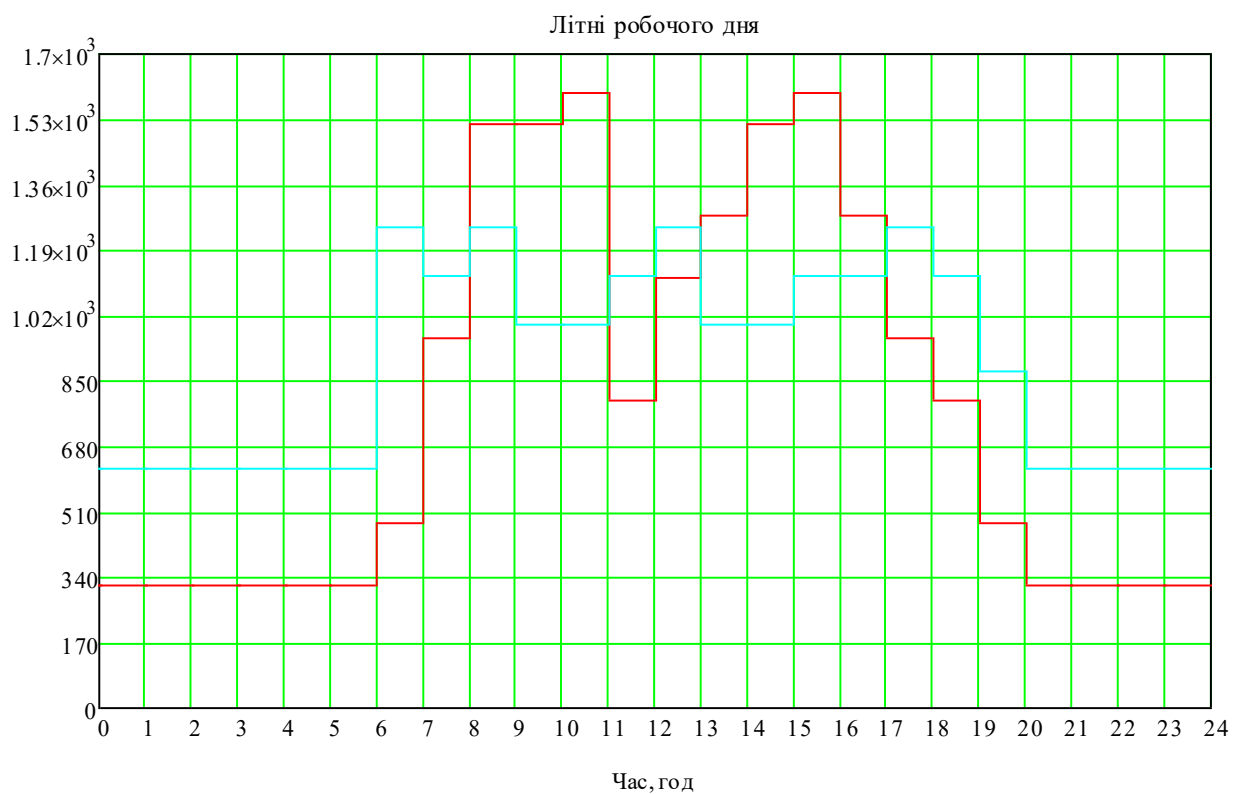
	1	2	3
1	320	624	702
2	320	624	702
3	320	624	702
4	320	624	702
5	320	624	702
6	320	624	702
7	480	1249	1338
8	960	1124	1478
9	1520	1249	1967
10	1520	999	1819
11	1600	999	1887
12	800	1124	1380
13	1120	1249	1678
14	1280	999	1624
15	1520	999	1819
16	1600	1124	1956
17	1280	1124	1704
18	960	1249	1575
19	800	1124	1380
20	480	874	997
21	320	624	702
22	320	624	702
23	320	624	702
24	320	624	...

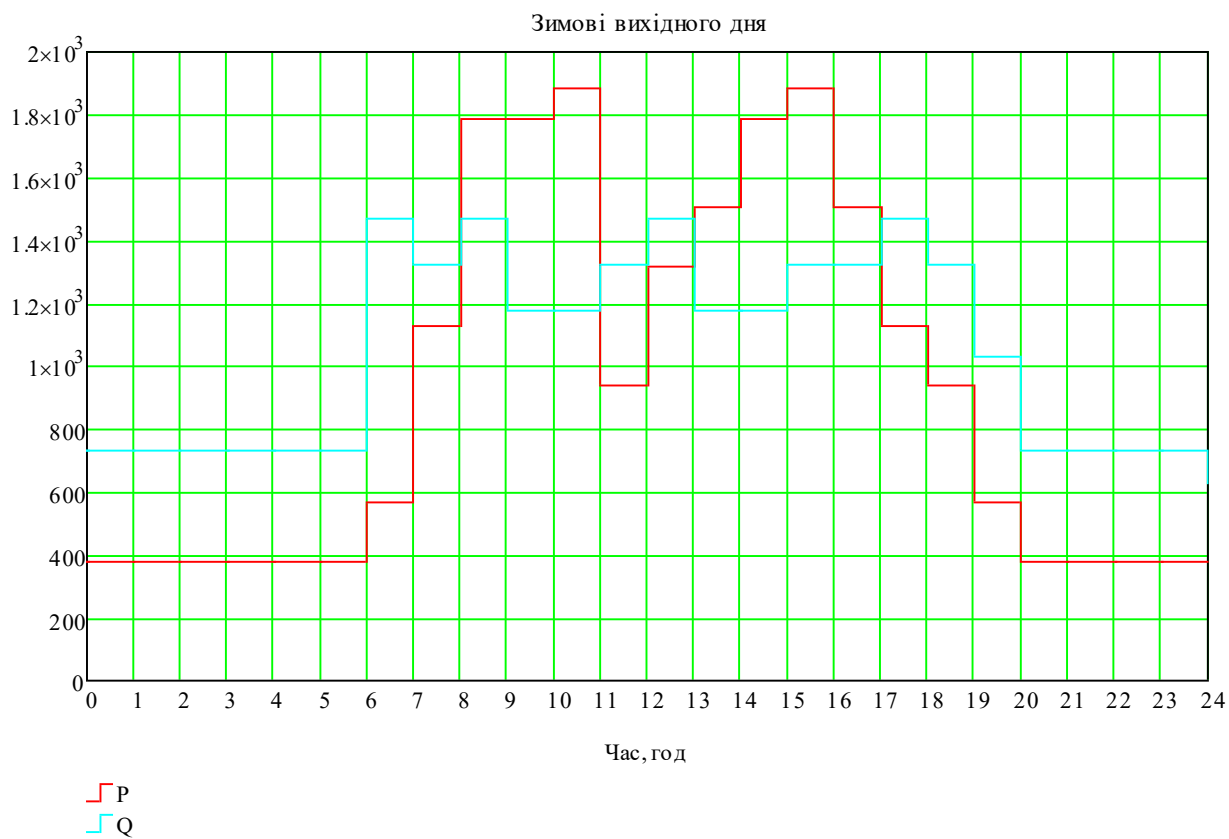
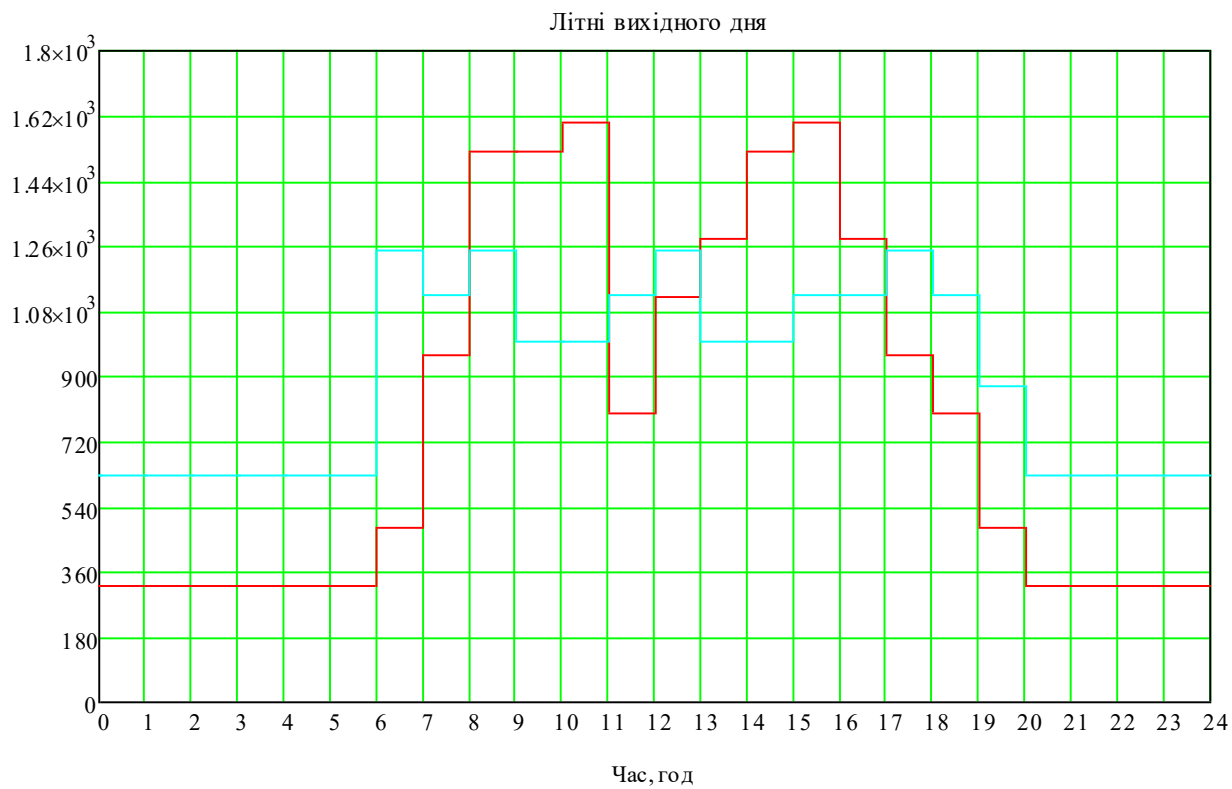
	1	2	3
1	377	735	825
2	377	735	825
3	377	735	825
4	377	735	825
5	377	735	825
6	377	735	825
7	565	1469	1574
8	1130	1322	1739
9	1789	1469	2315
10	1789	1175	2140
11	1883	1175	2220
12	941	1322	1623
13	1318	1469	1974
14	1506	1175	1911
15	1789	1175	2140
16	1883	1322	2301
17	1506	1322	2004
18	1130	1469	1853
19	941	1322	1623
20	565	1028	1173
21	377	735	825
22	377	735	825
23	377	735	825
24	377	735	...

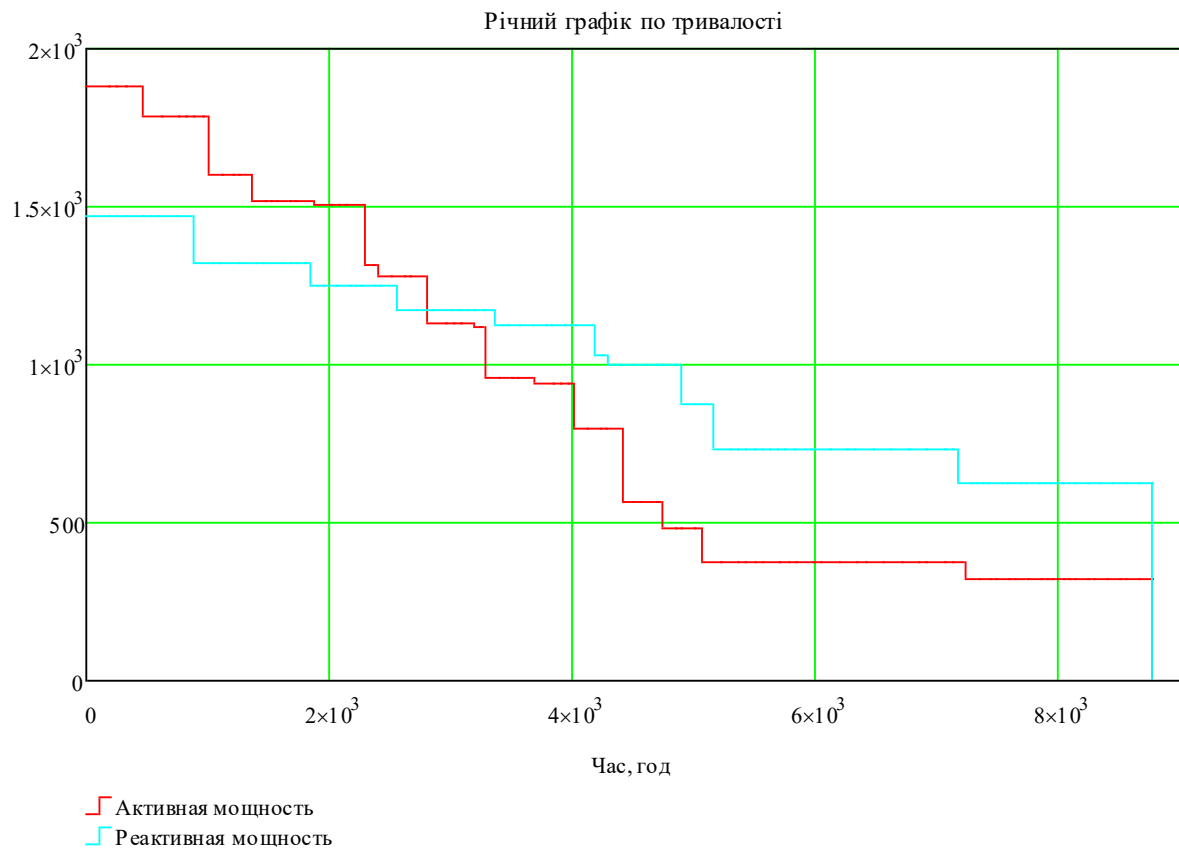
	1	2	3
1	320	624	702
2	320	624	702
3	320	624	702
4	320	624	702
5	320	624	702
6	320	624	702
7	480	1249	1338
8	960	1124	1478
9	1520	1249	1967
10	1520	999	1819
11	1600	999	1887
12	800	1124	1380
13	1120	1249	1678
14	1280	999	1624
15	1520	999	1819
16	1600	1124	1956
17	1280	1124	1704
18	960	1249	1575
19	800	1124	1380
20	480	874	997
21	320	624	702
22	320	624	702
23	320	624	702
24	320	624	...

	1	2	3
1	377	735	825
2	377	735	825
3	377	735	825
4	377	735	825
5	377	735	825
6	377	735	825
7	565	1469	1574
8	1130	1322	1739
9	1789	1469	2315
10	1789	1175	2140
11	1883	1175	2220
12	941	1322	1623
13	1318	1469	1974
14	1506	1175	1911
15	1789	1175	2140
16	1883	1322	2301
17	1506	1322	2004
18	1130	1469	1853
19	941	1322	1623
20	565	1028	1173
21	377	735	825
22	377	735	825
23	377	735	825
24	377	735	...

- 1 - активна потужність
2 - реактивна потужність
3 - повна потужність







Споживання активної енергії за літню вихідну добу, $\text{кВт}\cdot\text{год}$:

$$W_{\text{лето_в}} = 19125$$

Споживання активної енергії за літню робочу добу, $\text{кВт}\cdot\text{год}$:

$$W_{\text{лето_р}} = 19125$$

Споживання активної енергії за зимову вихідну добу, $\text{кВт}\cdot\text{год}$:

$$W_{\text{зима_в}} = 22499$$

Споживання активної енергії за зимову робочу добу, $\text{кВт}\cdot\text{год}$:

$$W_{\text{зима_р}} = 22499$$

Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу, $\text{квар}\cdot\text{год}$:

$$V_{\text{лето_в}} = 21729$$

Споживання реактивної енергії за літню робочу добу, $\text{квар}\cdot\text{год}$:

$$V_{\text{лето_р}} = 21729$$

Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу, $\text{квар}\cdot\text{год}$:

$$V_{\text{зима_в}} = 25564$$

Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу, $\text{квар}\cdot\text{год}$:

$$V_{\text{зима_р}} = 25564$$

Річне споживання активної енергії, $\text{кВт}\cdot\text{год}$:

$$W_{\Gamma} = 7695940$$

Річне споживання реактивної енергії, $\text{квар}\cdot\text{год}$:

$$V_{\Gamma} = 8744194$$

Кількість годин використання максимуму потужності, год:

$$T_{\text{max}} = 4878$$

Річний час максимальних втрат, год:

$$\tau = 3534$$

Арк.

25

2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в [5-7].

Радіус кола для адміністративної споруди:

$$R = \sqrt{\Sigma P_p / \pi \cdot m} = \sqrt{23,12 / \pi \cdot 0,1} = 9 \text{ мм};$$

де m – масштаб кола. Прийmemo $m = 0,1 \text{ кВт/мм}^2$.

Кут α для адміністративної споруди розрахуємо за формулою:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{осв}}{\Sigma P_p} = \frac{360 \cdot 2,88}{23,12} = 45 \text{ град},$$

де α – величина кута сектора, площа якого, для обраного масштабу, дорівнює значенню освітлювального навантаження.

Розрахунок радіусів та кутів сектору для інших будівель та цехів подібний результати розрахунку наведені в табл. 2.

Координати центру електричних навантажень для тролейбусного депо:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 156347 / 1965,13 = 80 \text{ м};$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 155766 / 1965,13 = 79 \text{ м}.$$

Таблиця 2. Розрахунок картограми електричних навантажень.

№ на плані	Найменування цеху або відділення	$P_{p\text{ сил}}, \text{кВт}$	$P_{p\text{ осв}}, \text{кВт}$	$\Sigma P_p, \text{кВт}$	R, мм	α , град	X, м	Y, м	PX, кВт•м	PY, кВт•м
1	Адміністративна споруда	20,24	2,88	23,12	9	45	27	58	613	1335
2	Цех тягових підстанцій	142,00	0,79	142,79	21	2	27	113	3784	16171
3	Котельня	587,02	2,50	589,52	43	2	58	56	33897	32718
4	Слесарно-механічна ділянка	65,90	9,73	75,63	16	46	66	90	5010	6807
5	Зварювальна ділянка	379,11	4,79	383,89	35	4	66	101	25433	38677
6	Лабораторія	173,32	1,68	175,00	24	3	98	99	17062	17237
7	Побутове приміщення	25,03	2,55	27,58	9	33	106	91	2923	2496
8	Бокс	59,46	41,12	100,58	18	147	142	69	14283	6915
9	Приміщення майстрів	8,99	1,73	10,72	6	58	115	98	1227	1048
10	Пральня	62,92	0,82	63,74	14	5	98	86	6214	5497
11	Моторний цех	93,11	0,86	93,98	17	3	113	86	10573	8059
12	Компресорна	276,48	0,57	277,05	30	1	127	68	35255	18770
13	Прохідна	0,00	0,81	0,81	2	360	28	26	23	21
14	Складські приміщення	0,00	0,72	0,7	2	360	69	20	50	14
	Всього			1965,13					156347	155766

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1.Схема приєднання та вибір напруги живлення

Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання буде проводитися згідно з методикою наведеною в [5-7].

У відповідності з можливими варіантами електропостачання може здійснюватися від п/ст енергосистеми «Чумка» з двома класами напруги: 35 та 10 кВ, а також від РП 10 кВ «Іподромній». Тому розглядати слід два варіанти електропостачання напругою 10 і 35 кВ (рис. 3.1).

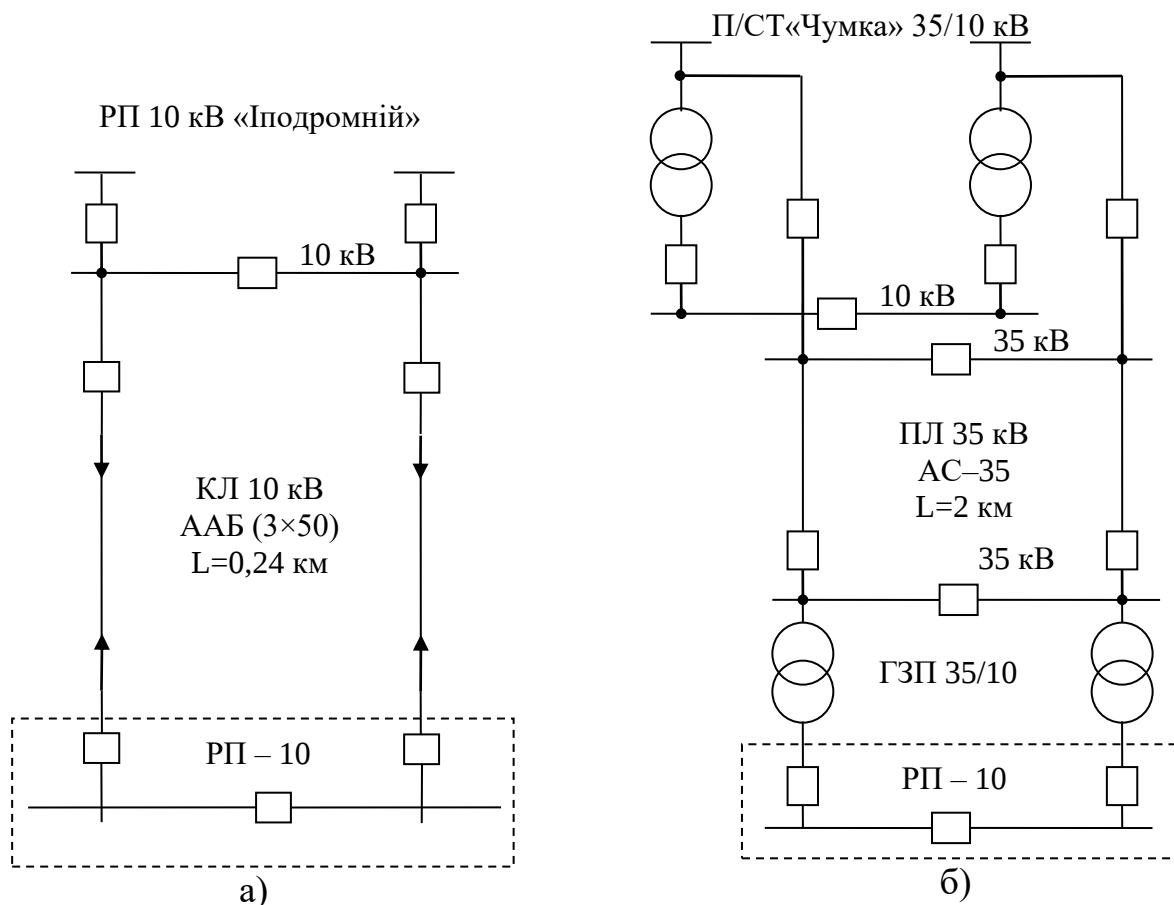


Рис. 3.1. Схеми зовнішнього електропостачання тролейбусного депо

Варіант 1. Електропостачання здійснюється кабельними лініями номінальною напругою 10 кВ (рис. 3.1.а).

Вибір перерізу проводу

Розрахунковий струм, А:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1902}{\sqrt{3} \cdot 10} = 109,81.$$

Площу перерізу кабельної лінії визначимо за економічною щільністю струму, так при $T_m = 4878$ год. $j_{ек} = 1,2$ А/мм²), мм²:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{109,81}{1,2} = 91,51.$$

Обираємо до встановлення дві КЛ марки АСБ(3×50). Паспортні дані КЛ АСБ(3×50): $I_{доп} = 105$ А; $\Delta P_{1км} = 10$ кВт/км; $K = 420$ тис.грн.

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в нормальному режимі:

$$I_p = 54,91 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,92 \cdot 105 = 96,6 \text{ А}.$$

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 54,91 = 109,82 \text{ А} \leq K_{ав} K'_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 105 = 131,25 \text{ А}.$$

Отже, КЛ марки АСБ(3×50) задовольняє умовам перевірки.

Коефіцієнт завантаження кабельної лінії в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{доп}} = \frac{54,91}{105} = 0,52.$$

Розрахунок втрат електроенергії

Втрати потужності в кабельній лінії:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} l_{\Sigma} K_3^2 = 10 \cdot 0,48 \cdot 0,2704 = 1,3 \text{ кВт}.$$

Втрати електроенергії в кабельній лінії:

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{кл} \tau = 1,3 \cdot 3534 = 4594,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{втр} = \Delta W_{л} C_0 = 4594,2 \cdot 8,06 \cdot 0,001 = 18,65 \text{ тис. грн}.$$

Розрахунок капітальних вкладень

Розрахунок капітальних вкладень проведемо в табличному вигляді табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км.	0,48	420	201,6
	Траншея	км.	0,24	143	34,32
	Шафи КРП КУ-10	шт.	2	300	600
Всього					835,92

Розрахунок поточних витрат

Розрахунок проточних витрат проведемо в табличному вигляді табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар.	Назва елемента схеми	K_j , тис. грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис. грн.	P_{ej} , %	C_{ej} , тис. грн.	C_j , тис. грн.
1	КЛ 10 кВ	201,6	5	10,08	5	10,08	20,16
	Траншея	34,32	5	1,716	5	1,716	3,432
	Шафи КРП КУ-10	600	15	90	5	30	120
Всього							143,592

Варіант 2. Електропостачання буде здійснюється дволанцюговою ПЛ з номінальною напругою 35 кВ (рис. 3.1 б).

Вибір перерізу проводу

Розрахунковий струм в лінії (з розрахунку на один ланцюг), А:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном}} = \frac{1902}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 35} = 15,69.$$

Розрахункове навантаження лінії, А:

$$I_p = \alpha_i \alpha_T I_5 = 1,05 \cdot 1 \cdot 15,69 = 16,47.$$

Вибір перерізу проводу будемо проводити методом економічних струмових інтервалів. Обираємо провід марки АС35/6,2, (опори залізобетонні).

Каталожні дані проводу АС35/6,2: $I_{доп} = 175$ А; $\Delta P_{1км} = 140$ кВт/км; $K = 626,4$ тис. грн.

Перевірка проводів з номінальною напругою 35 кВ за умовою виникнення корони не проводиться.

Перевірка проводів в аварійному режимі за умовою перегріву:

$$I_{ав} = 2I_p = 2 \cdot 16,47 = 32,94 \text{ А} < I_{доп} = 175 \text{ А}$$

Отже, провід марки АС35/6,2 задовольняє умовам перевірки.

Коефіцієнт завантаження лінії в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{доп}} = \frac{16,47}{175} = 0,09.$$

Вибір трансформаторів ГЗП

Розрахункова потужність трансформатора, МВА:

						Арк.
						30

$$S_{p.mp} = \frac{S_{\max} K_{1.2}}{1,4(n-1)} = \frac{1,902 \cdot 1}{1,4(2-1)} = 1,36.$$

Приймаємо два трансформатори ТМН-1600/35. Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_3 = \frac{S_{\max}}{n \cdot S_{ном}} = \frac{1,902}{2 \cdot 1,6} = 0,59.$$

Каталожні дані трансформатора: $S_{ном} = 1600$ кВА; $\Delta P_{x.x.} = 3,65$ кВт; $U_{вн} = 35$ кВ; $\Delta P_{к.з.} = 16,5$ кВт; $U_{нн} = 11$ кВ; $U_k = 6,5$ %.

Розрахунок втрат електроенергії

Втрати потужності в лінії:

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{л.кл} I_{\Sigma}^2 K_3^2 = 140 \cdot 4 \cdot 0,0081 = 4,54 \text{ кВт.}$$

Втрати електроенергії в лінії:

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 4,54 \cdot 3534 = 16044,36 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Втрати електроенергії в трансформаторах:

$$\begin{aligned} \Delta W &= n(\Delta P_{xt} + \Delta P_k K_3^2 \tau) = 2(3,65 \cdot 8760 + 16,5 \cdot 0,35^2 \cdot 3534) = \\ &= 105146,68 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \end{aligned}$$

Сумарні втрати електроенергії:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{л} + \Delta W_{т} = 16044,36 + 105146,68 = 121191,04 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 121191,04 \cdot 8,06 \cdot 0,001 = 492,04 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок капітальних вкладень

Розрахунок капітальних вкладень проведемо в табличному вигляді табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
2	ЛЕП 35 кВ (на залізобетонних опорах)	км.	2	626,4	1252,8
	ВРП 35 кВ	км.	1	950	950
	2×ТМН-1600/35	шт.	2	6000	12000
Всього					14202,8

Розрахунок поточних витрат

Розрахунок проточних витрат проведемо в табличному вигляді табл. 3.4.

						Арк.
						31

Таблиця 3.4. Розрахунок поточних витрат

№ вар.	Назва елемента схеми	K_j , тис. грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис. грн.	P_{ej} , %	C_{ej} , тис. грн.	C_j , тис. грн.
2	ЛЕП 35 кВ (на з/б опорах)	1252,8	5	62,64	5	62,64	125,28
	ВРП 35 кВ	950	15	142,5	5	47,5	190
	2×ТМН-1600/35	12000	15	1800	5	600	2400
Всього							2715,28

Розрахунок загальних витрат по варіантам наведених в табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Техніко-економічні показники варіантів зовнішнього електропостачання

Показники	Варіанти	
	1 (10 кВ)	2 (35 кВ)
Капітальні вкладення	835,92	14202,8
Поточні витрати	143,592	2715,28
Вартість втрат електроенергії	18,65	492,04
Зведені витрати	262,6	4911,7

Отже, за результатами техніко-економічного розрахунку обираємо варіант зовнішнього електропостачання напругою 10 кВ, як такий, що має найменші зведені витрати.

3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

Так як за результатами розрахунку пройшов варіант зовнішнього електропостачання напругою 10 кВ встановлюємо центральний розподільчий пункт (ЦРП), та для внутрішніх розподільчих мереж використовуємо напругу 10 кВ. В цехових розподільчих мережах живлення силових і освітлювальних споживачів здійснюється напругою 380/220 В.

Розподілення електроенергії в тролейбусному депо виконується за магістральною, радіальною чи змішаною схемою в залежності від розміщення навантажень, потужності та надійності електропостачання. Застосовуємо односхдинкову схему розподілення електроенергії. Для електропостачання споживачів I та II категорій застосовуємо секціонування шин у всіх ланцюгах системи електропостачання.

4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Розрахунок балансу реактивної потужності проведемо за методикою наведеною в [5, 7].

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \Sigma P_{ТП} = 1848,63 \text{ кВт}; Q_n = \Sigma Q_{ТП} = 1252,84 \text{ квар.}$$

Сумарні втрати в розподільчих трансформаторних підстанціях:

$$\Delta P_m = \Sigma \Delta P_{ТП} = 58,3 \text{ кВт}; \Delta Q_m = \Sigma \Delta Q_{ТП} = 216,39 \text{ квар.}$$

Високовольтне навантаження на підприємстві відсутнє: $P_e = 0$; $Q_e = 0$.

Сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_e = 1848,63 + 58,3 + 0 = 1906,93 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_e = 1252,84 + 216,39 + 0 = 1469,23 \text{ квар.}$$

Реактивна потужність, що споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi = 1906,93 \cdot 0,15 = 286,04 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 1469,23 - 286,04 = 1183,19 \text{ квар.}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{1848,63}{0,7 \cdot 400} = 6,6 \approx 7 \text{ шт.}$$

Надалі будуть розглядатися варіанти компенсації при кількості трансформаторів $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант 1. $N = N_0 = 7$ шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{тр.ном})^2 - P_p^2} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1848,63^2} = 651,28 \text{ квар.}$$

Потужність КП в мережі до 1000 В $Q_{КН}$, визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{КН} = Q_n - Q_1 = 1252,84 - 651,28 = 601,56 \text{ квар.}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ, Q_{KB} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 1469,23 - 601,56 - 286,04 = 581,63 \text{ кВар.}$$

Розрахунок варіантів $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Результати розрахунку зведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість трансформаторів	Q_1 , квар	Q_{KH} , квар	Q_{KB} , квар
1	7	651,28	601,56	581,63
2	8	1264,98	0	1183,19
3	9	1712,59	0	1186,19

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності

Розрахунок потужності і місця розташування батарей конденсаторів проводимо за методикою наведеною в [5, 7].

Вариант 1. $N = 7$ шт.

Розрахунок для даного варіанту проведений в табличному вигляді і представлений в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів
 $N = 7$ шт.

№ КТП	$N_{\text{тр}}$	P_p , кВт	Q_p , квар	$Q_{\text{пр}}$, квар	$Q_{\text{кп}}$, квар	Кількість, тип БК	$\Sigma Q_{\text{бк}}$, квар	$Q_{\text{кп}} - \Sigma Q_{\text{бк}}$, квар	K_3	S_p , кВА
1	2	533,731	347,473	169,5	177,973	2×КРМ-0,4-100	200	-22,0271	0,69	553,73
2	2	533,731	347,473	169,5	177,973	2×КРМ-0,4-100	200	-22,0271	0,69	553,73
3	2	503,289	487,762	245,56	242,202	2×КРМ-0,4-250	250	-7,7985	0,7	556,624
4	1	277,884	70,1367	34,36	35,777	1×КРМ-0,4-50	50	-14,2233	0,7	278,612

Сумарна потужність БК на боці 0,4 кВ складає 700 квар.

Кількість та потужність БК на боці 10 кВ: 2×250; сумарна потужність БК 10 кВ складає 500 квар.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{кн.пит}} Q_{\text{кн}} = 0,0045 \cdot 700 = 3,15 \text{ кВт},$$

5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП

Одинична потужність трансформаторів ТП приймається відповідно до питомої щільності навантаження, перевантажувальною здатністю трансформаторів, необхідністю забезпечення мінімуму складського резерву. В даному проекті приймаємо комплексні трансформаторні підстанції КТП з одиничною потужністю трансформаторів 400 кВА. Приймаємо трансформатори масляного охолодження, що допускають умови їхньої установки (1 поверх, нормальні приміщення). Вибір ТП представлений у табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Вибір кількості, потужності трансформаторів та їх місця розташування

п/п	Тип ТП	S_p	K_3	$K_{ав}_3$	Тип трансформатору	Місце встановлення	Вид розміщення
1	КТП-2х400	553,73	0,692	1,384	ТМ-400	Котельня	Вбудована
2	КТП-2х400	553,73	0,696	1,392	ТМ-400	-	Окремо розташована
3	КТП-2х400	556,62	0,696	1,392	ТМ-400	Зварочна ділянка	Вбудована
4	КТП-1х400	278,61	0,697	-	ТМ-400	-	Окремо розташована

5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій

Місце розташування РП і цехових ТП визначається величиною і характером електричних навантажень і розміщенням їх на генеральному плані підприємства. При цьому також повинні враховуватись архітектурно-будівельні і експлуатаційні вимоги, конфігурація виробничих приміщень, розташування технологічного обладнання, умови навколишнього середовища, охолодження, пожежної та електричної безпеки.

Розташування цехових ТП повинне передбачатись всередині цехів або прибудованими до них (при недопустимості розміщення ТП всередині цеху). Застосування окремо розташованих ТП повинно обґрунтовуватись.

$$R = \frac{P_{\kappa 3} U_H^2}{S_H^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{400^2} = 3,44 \text{ Ом};$$

$$Z = \frac{U_{\kappa} \% U_H^2}{S_H} = \frac{4,5 \cdot 10^2}{400} = 11,25 \text{ Ом};$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{11,25^2 - 3,44^2} = 10,7 \text{ Ом};$$

– для КЛ від п/ст до ЦРП

$$X = \frac{x_0 l}{n} = \frac{0,09 \cdot 0,24}{1} = 0,0216 \text{ Ом};$$

$$R = \frac{r_0 l}{n} = \frac{0,62 \cdot 0,24}{1} = 0,1488 \text{ Ом};$$

– опір енергосистеми при $I_{\kappa 3} = 6 \text{ кА}$

$$X_c = \frac{U}{I_{\kappa 3}} = \frac{10}{6} = 1,667 \text{ Ом};$$

– для КЛ від ЦРП до ТП 1

$$X = x_0 l = 0,09 \cdot 0,05 = 0,005 \text{ Ом};$$

$$R = r_0 l = 0,62 \cdot 0,05 = 0,031 \text{ Ом}.$$

Розрахунок опорів для інших кабельних ліній подібний результати розрахунку зведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Розрахунок опорів кабельних ліній.

№ КЛ	L, км	R, Ом	X, Ом
КЛ1	0,05	0,031	0,005
КЛ2	0,05	0,031	0,005
КЛ3	0,03	0,019	0,003
КЛ4	0,03	0,019	0,003
КЛ5	0,13	0,081	0,012
КЛ6	0,13	0,081	0,012
КЛ7	0,013	0,008	0,001

Розрахуємо струм к.з. в т. К1.

Струм від системи:

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3}z_{pez}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,695} = 3,577 \text{ кА};$$

$$R_{екв} = R_{КЛ} = 0,1488 \text{ Ом};$$

$$X_{екв} = X_{КЛ} + X_c = 0,0216 + 1,667 = 1,6886 \text{ Ом};$$

$$Z_{екв} = \sqrt{X_{екв}^2 + R_{екв}^2} = \sqrt{1,6886^2 + 0,1488^2} = 1,695 \text{ Ом}.$$

Ударний струм к. з. від системи

$$i_y = \sqrt{2}I'' \left(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} \right) = \sqrt{2} \cdot 3,577 \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,036}} \right) = 8,894 \text{ кА};$$

$$T_a = \frac{X_{екв}}{\omega \cdot R_{екв}} = \frac{1,6886}{314 \cdot 0,1488} = 0,036 \text{ 1/с}.$$

Розрахунки струмів короткого замкнення електричної схеми тролейбусного депо для інших точок подібні. Результати розрахунку зведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Результати розрахунку струмів короткого замкнення.

№ т. к. з.	$X_{екв}$, Ом	$R_{екв}$, Ом	I''_{Σ} , кА	T_a , 1/с	$i_{y\Sigma}$, кА
1	1,6886	0,1488	3,577	0,036	8,894
2	1,694	0,18	3,559	0,03	8,641
3	12,944	3,62	11,276	0,011	22,574
4	1,692	0,168	3,566	0,032	8,735
5	12,942	3,608	11,281	0,011	22,601
6	1,701	0,23	3,533	0,024	8,264
7	12,951	3,67	11,259	0,011	22,463
8	1,69	0,157	3,573	0,034	8,828
9	12,94	3,597	11,285	0,011	22,626

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

В якості вибору струмопровідних пристроїв силових мереж проведемо вибір високовольтних кабелів напругою 10 кВ. Вибір будемо проводити за економічною щільністю струму та перевіряти на допустиме струмове навантаження в нормальному і аварійному режимах. Методика вибору та перевірки кабельних ліній напругою 10 кВ детально викладена в [5, 7].

В якості прикладу виберемо кабель для лінії (КЛ-1) від ЦРП до ТП №1.

Площа поперечного перерізу кабелю:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{17,5}{1,2} = 15 \text{ мм}^2,$$

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{604,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 17,5 \text{ А.}$$

При $T_{\max} = 4878 \text{ год} - J_{ек} = 1,2 \text{ А/мм}^2 [10]$.

Приймається кабель ААБ (3×50) мм² з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$.

Перевірка кабелю за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I'_{\text{доп}} \quad 17,5 \text{ А} \leq 126 \text{ А}$$

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{п}} I_{\text{доп}} \quad I'_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 140 = 126 \text{ А}$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який враховує зниження допустимого струмового навантаження за табл. 7.17 [10].

Перевірка кабелю за умовою роботи в аварійному режимі

$$I_{\text{ав}} = K_{\text{ап}} I_{\text{доп}};$$

$$34,9 \leq 1 \cdot 1,3 \cdot 140;$$

$$34,9 \leq 182;$$

де $K_{\text{ап}}$ – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження для кабелю, приймаємо рівним 1,3.

Мінімально необхідна за умовою термічної стійкості площа поперечного перерізу кабелю:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{92} \sqrt{19,65 \cdot 10^6} = 48 \text{ мм}^2;$$

де C – термічний коефіцієнт; для алюмінієвих кабелів $C = 92 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_{κ} – тепловий імпульс:

$$B_{\kappa} = I_{\text{н.о.}}^2 (t_{\text{отк}} + T_a) = 3,577^2 (1,5 + 0,036) = 19,65 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Інші кабелі системи електропостачання тролейбусного депо обираються аналогічно. Результати розрахунку зведені до табл. 6.3.

						Арк.
						41

Таблиця 6.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ.

№ КЛ	S _p , кВА	n	I _p , А	I _{p.ав} , А	F _{ек} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _п	K _п I _{доп}	K _з	K _{ап}	K _п '	K _{ап} K _п 'I _{доп}	B _к , кА ² с	F _{min} , мм ²
КЛ-1,2	604,5	2	17,5	34,9	15	ААБ(3×50)	140	0,9	126	0,14	1	1,3	182	19,7	48
КЛ-3,4	604,5	2	17,5	34,9	15	ААБ(3×50)	140	0,9	126	0,14	1	1,3	182	19,7	48
КЛ-5,6	579,3	2	16,7	33,4	14	ААБ(3×50)	140	0,9	126	0,13	1	1,3	182	19,7	48
КЛ-7	278,6	1	16,1	-	13	ААБ(3×50)	140	1	140	0,11	1	1,3	182	19,7	48

6.3. Вибір електрообладнання

Вибір вимикачів.

Вибір вимикачів будемо виконувати по таким параметрам:

- по напрузі встановлення;
- по тривалому струму;
- по здатності відключати струми короткого замкнення.

Перевіряється вимикач на термічну дію струмів короткого замкнення. Детально методика вибору і перевірки викладена в [5, 7].

На вводі 10 кВ встановлюємо вакуумні вимикачі типу VM–1S. Розрахунки по вибору та перевірці вимикача приведені в табл. 6.4. Робочим форсованим струмом для вибору вимикача на вводі ЦРП є максимально можливий струм. Даний струм може виникнути у разі відключення однієї секції шин, що призведе до підвищення струму в двічі.

Таблиця 6.4. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах в ЦРП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
109,81 А	$I_{роб.фор} \leq I_{ном}$	1000 А
3,577 кА	$I_k \leq I_{дин}$	52 кА
8,894 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
3,577 кА	$I_{пт} \leq I_{ном.відк}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 3,577 + 3,83 = 8,89\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_k \leq I_k^2(t_{від} + t_{пз}) =$ $= 3,577^2(1,5 + 0,045) =$ $= 19,77\text{кА}^2\text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 3,577e^{-\frac{0.01}{0.036}} = 3,83 \text{ кА}$$

На лініях, що відходять до ТП від ЦРП встановлені такі ж самі вимикачі. Перевірка вимикачів приведена в табл. 6.5.

						Арк.
						43

Таблиця 6.5. Вибір вимикачів на лініях до ТП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
34,9 А	$I_{роб.фор} \leq I_{ном}$	1000 А
3,577 кА	$I_k \leq I_{дин}$	52 кА
8,894 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
3,577 кА	$I_{нт} \leq I_{ном.відк}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 3,577 + 3,83 = 8,89 \text{ кА}$	$\sqrt{2}I_{номг} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426 \text{ кА}$
$B_k \leq I_k^2(t_{від} + t_{рз}) =$ $= 3,577^2(1,5 + 0,045) =$ $= 19,77 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}$

В якості робочого форсованого струму для вибору вимикачів на лініях, що відходять до ТП взятий максимальний аварійний струм КЛ. В даному випадку це аварійний струм КЛ 1,2.

Вибір трансформаторів для власних потреб.

Вибір трансформаторів для власних потреб будемо проводити за методикою викладеною в [5, 7].

Потужність трансформаторів для власних потреб обирається з урахуванням коефіцієнтів завантаження і одночасності та відповідного навантаження власних потреб конкретної ЦРП або ГЗП. Навантаження власних потреб визначається за орієнтовними даним наведеними табл. П.6.1, П.6.2, [10]. Розрахунок навантаження власних потреб ЦРП тролейбусного депо наведено в табл. 6.6.

Таблиця 6.6. Навантаження власних потреб.

№ п/п	Споживач	Р, кВт	Q, квар
1	Обігрів комірок КРП 10 кВ.	17×1	0
2	Освітлення і вентиляція приміщення КРП	8	3,87
3	Навантаження, яке споживають оперативні кола	2	0
Всього		27	3,87

Розрахункова потужність споживачів власних потреб ЦРП:

$$S_{розр} = K_C \sqrt{(P_{встp}^2 + Q_{встp}^2)} = 0,8 \sqrt{27^2 + 3,87^2} = 21,8 \text{ кВА}$$

Потужність трансформатора власних потреб ЦРП:

$$S_{mp} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{21,8}{1,4} = 15,6 \text{ кВА.}$$

Обираємо трансформатор типу ТМ – 25/10.

Коефіцієнт завантаження трансформатора власних:

$$K_3 = \frac{S_{роз}}{nS_{ном}} = \frac{21,8}{2 \cdot 25} = 0,44 .$$

						Арк.
						45

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ

7.1. Вступ

Систему електрозбереження на сучасному етапі слід розглядати як комплексний інженерно-організаційний процес, спрямований на оптимізацію споживання та мінімізацію втрат електричної енергії на всіх ієрархічних рівнях: від її генерації й розподілу до безпосереднього перетворення та кінцевого використання. Необхідність формування такого системного підходу обумовлена відсутністю єдиного універсального методу енергозбереження, який міг би забезпечити високу ефективність для різнотипного обладнання.

Сучасні локальні методики енергоефективності, як правило, орієнтовані на специфіку конкретних енергетичних установок – елементів систем передачі та розподілу (зокрема, силових трансформаторів) або промислових споживачів (електричних приводів, насосних комплексів, вентиляційних та компресорних станцій тощо). Проте ізольоване впровадження окремих заходів не дозволяє досягти максимального синергетичного ефекту.

Саме тому інтеграція (синтез) окремих локальних рішень у єдину цілісну систему електрозбереження підприємства є ключовою умовою для створення раціонального енергетичного балансу. Це дозволяє врахувати взаємозв'язок між різними технологічними процесами, оптимізувати режими роботи обладнання у реальному часі та суттєво знизити собівартість кінцевої продукції за рахунок зменшення енергетичної складової.

Дослідження архітектури такої комплексної системи, аналіз її ефективності та розробка практичних рекомендацій щодо її оптимізації і становлять основу даного спеціального розділу випускної кваліфікаційної роботи.

7.2. Економії електроенергії в засобах передавання і перетворення

7.2.1. Економія електроенергії в електричних мережах.

Оскільки лінії мають розподілені активні та реактивні опори, проходження струму через них неминуче викликає втрати потужності, які трансформуються в теплову енергію та розсіюються в навколишнє середовище.

1. Математичні основи розрахунку втрат у лініях

Трифазна лінія електропередачі (ПЛ або КЛ) з активним опором R та реактивним опором X за симетричного навантаження характеризується втратами активної потужності ΔP , які визначаються за формулою:

$$\Delta P = 3I^2 R = (P^2 + Q^2)R/U^2,$$

де: I – повний струм лінії, А;

P , Q – відповідно активна та реактивна потужність, що передається лінією, Вт (вар);

U – лінійна напруга в мережі, В;

R – активний опір провідників ліній, Ом.

Активний опір провідника залежить від його матеріалу, перерізу та довжини:

$$R = \rho L/S,$$

де ρ – питомий опір матеріалу, L – довжина лінії, S – площа поперечного перерізу провідника.

Втрати електричної енергії за певний проміжок часу (наприклад, за рік $T = 8760$ год) розраховують через час максимальних втрат τ :

$$\Delta W = \Delta P_{\max} \tau,$$

де $\Delta P_{\max}$ – втрати потужності в режимі максимального навантаження лінії, а τ – фіктивний час, протягом якого лінія, працюючи з постійним максимальним навантаженням, мала б такі ж втрати енергії, як і за реального графіку навантаження.

2. Технічні заходи економії електроенергії в ПЛ та КЛ

Виходячи з наведених математичних залежностей, оптимізація та зниження втрат ΔP та ΔW досягається через керування параметрами струму (I), напруги (U) та опору (R).

Оптимізація рівнів напруги в лініях

З базової формули втрат видно, що втрати потужності обернено пропорційні квадрату напруги ($\Delta P \sim 1/U^2$). Переведення ліній на вищий номінальний рівень напруги (наприклад, з 0,4 кВ на 6–10 кВ для живлення віддалених об'єктів підприємства або з 6 кВ на 10 кВ під час реконструкції мереж)

дозволяє кардинально зменшити втрати.

Навіть оперативне регулювання напруги в межах допустимих відхилень ($\pm 10\%$) за допомогою трансформаторів із РПН дозволяє підтримувати струм у лінії на мінімально можливому рівні для поточного значення потужності.

Зниження додаткових втрат від несиметрії навантаження фаз

В чотирипровідних кабельних та повітряних лініях напругою 0,4 кВ через нерівномірний розподіл однофазних споживачів виникає несиметрія струмів, що призводить до появи струму в нульовому провіднику I_N . Втрати потужності в несиметричному режимі розраховуються за формулою:

$$\Delta P_{\text{несим}} = I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C + I_N^2 R_N.$$

Оскільки в нульовому провіднику струм викликає додаткові втрати, вирівнювання навантаження по фазах (досягнення $I_N \rightarrow 0$) дозволяє заощадити значні обсяги енергії та зменшити нагрівання кабелів.

Оптимізація перерізу провідників та заміна зношених ліній

На етапі проектування або модернізації мереж вибір перерізу жил КЛ та дротів ПЛ здійснюється не лише за умовою нагріву, а й за економічною щільністю струму $j_{\text{ек}}$ або за критерієм мінімуму сукупних витрат (економічний переріз):

$$S_{\text{ек}} = I_{\text{max}} / j_{\text{ек}}.$$

Збільшення перерізу лінії понад мінімально необхідний за умов нагріву зменшує її активний опір R , що безпосередньо знижує втрати протягом усього терміну експлуатації лінії. Також суттєвий ефект дає заміна застарілих повітряних ліній із голими дротами на *самонесні ізолювані проводи (СИП)*, що мінімізує витоки струму через корозію та контакти з гілками дерев, а також зменшує реактивний опір лінії.

7.2.2. Економія електроенергії в трансформаторах

Силові трансформатори є одними з найважливіших елементів систем електропостачання підприємств, але водночас вони є джерелом постійних технологічних втрат електричної енергії. Оскільки трансформатори підстанцій працюють безперервно, оптимізація їхніх режимів роботи та підвищення ККД

дозволяє досягти значного енергозберігаючого ефекту в масштабах усього підприємства.

1. Структура та математичний опис втрат у трансформаторах

Загальні втрати потужності в двообмотковому трансформаторі ΔP_{Σ} складаються з двох основних компонентів: втрат холостого ходу (сталі втрати) та навантажувальних втрат (змінних втрат). Математично ця залежність виражається формулою:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{xx} + \beta^2 \Delta P_{k3},$$

де: ΔP_{xx} – втрати потужності холостого ходу (втрати в сталі магнітопроводу на перемагнічування та вихрові струми), Вт;

ΔP_{k3} – втрати потужності короткого замикання (навантажувальні втрати в міді обмоток за номінального струму), Вт;

β – коефіцієнт завантаження трансформатора.

Коефіцієнт завантаження трансформатора визначається як відношення фактичної потужності S до його номінальної потужності $S_{\text{ном}}$:

$$\beta = S/S_{\text{ном}}.$$

Річні втрати електроенергії в трансформаторі ΔW_T розраховуються за формулою:

$$\Delta W_T = \Delta P_{xx} T_{\text{вкл}} + \beta_{\text{max}}^2 \Delta P_{k3} \tau,$$

де $T_{\text{вкл}}$ – час увімкнення трансформатора в мережу за рік (якщо працює безперервно, то 8760 год), β_{max} – коефіцієнт завантаження в максимумі графіку навантаження, а τ – час максимальних втрат.

2. Технічні та режимні заходи економії електроенергії

Зниження втрат у трансформаторному парку підприємства реалізується за допомогою кількох основних підходів.

Оптимізація коефіцієнта завантаження (Вибір оптимального ККД)

ККД трансформатора досягає свого максимуму за такого навантаження, коли сталі втрати дорівнюють змінним ($\Delta P_{xx} = \beta_{\text{max}}^2 \Delta P_{k3}$). Звідси визначається оптимальний коефіцієнт завантаження $\beta_{\text{опт}}$:

$$\beta_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{xx}}}{\Delta P_{\text{кз}}}}.$$

Для більшості сучасних силових трансформаторів $\beta_{\text{опт}}$ лежить у межах 0,45–0,7. Якщо трансформатор тривалий час працює з недовантаженням ($\beta < 0,3$) або перевантаженням ($\beta > 0,9$), його ефективність стрімко падає, а питомі втрати на одиницю переданої енергії зростають.

Режимне керування роботою паралельно працюючих трансформаторів

На двотрансформаторних (або багатотрансформаторних) підстанціях економічно вигідно змінювати кількість увімкнених агрегатів залежно від поточного коливання графіку навантаження підприємства.

Критична потужність навантаження $S_{\text{крит}}$, за якої доцільно вмикати або вимикати другий трансформатор (однакової потужності), визначається за формулою:

$$S_{\text{крит}} = S_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{xx}}}{\Delta P_{\text{кз}}}}$$

Якщо фактичне сумарне навантаження підстанції тривалий час є меншим за $S_{\text{крит}}$ (наприклад, у нічну зміну, вихідні чи святкові дні), вигідніше відключити один трансформатор. Це дозволить повністю ліквідувати втрати холостого ходу ΔP_{xx} одного з агрегатів, хоча й дещо збільшить навантажувальні втрати в іншому.

Зниження споживання реактивної потужності (Розмагнічування)

Трансформатор сам по собі є значним споживачем реактивної потужності, яка витрачається на створення магнітного поля. Втрати реактивної потужності холостого ходу ΔQ_{xx} та короткого замикання $\Delta Q_{\text{кз}}$ становлять:

$$\Delta Q_{\text{xx}} = I_{\text{xx}} \% S_{\text{ном}} / 100,$$

$$\Delta Q_{\text{кз}} = U_{\text{кз}} \% S_{\text{ном}} / 100.$$

Впровадження високовольної чи низьковольної компенсації реактивної потужності безпосередньо на шинах підстанції знижує повний струм, що протікає через обмотки трансформатора, зменшуючи коефіцієнт β до оптимального рівня та мінімізуючи активні втрати в міді.

Модернізація та заміна трансформаторного парку

Суттєвий довгостроковий ефект дає заміна старих трансформаторів (наприклад, серій ТМ або ТМЗ) на сучасні енергоефективні моделі.

- *Трансформатори з магнітопроводом з аморфної сталі:* Аморфний сплав має значно меншу коерцитивну силу, завдяки чому втрати холостого ходу $\Delta P_{\text{хх}}$ знижуються на 70–75% порівняно зі звичайною електротехнічною сталлю.
- *Симетруючі трансформатори:* Якщо на підприємстві є значна несиметрія фазних навантажень, стандартні трансформатори зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка» мають підвищені втрати від струмів нульової послідовності. Заміна їх на трансформатори зі схемою «зірка-зигзаг» або використання спеціальних симетруючих пристроїв нівелює цей негативний ефект.

7.3. Економії електроенергії на етапі використання

7.3.1. Економія електроенергії в електродвигунах.

Електричні двигуни є основним видом силового обладнання на більшості промислових підприємств, забезпечуючи роботу насосних комплексів, вентиляційних систем, компресорних станцій та конвеєрних ліній. Через масовість їх використання навіть незначне підвищення ефективності окремої приводної системи забезпечує значний сумарний енергозберігаючий ефект. Механізми економії в електроприводах поділяються на режимні (керування параметрами роботи) та структурні (модернізація обладнання).

1. Математичне обґрунтування ККД та втрат в електродвигунах

Енергетична ефективність асинхронного двигуна характеризується коефіцієнтом корисної дії η , який визначається як відношення корисної механічної потужності на валу P_2 до споживаної з мережі активної електричної потужності P_1 :

$$\eta = P_2/P_1 = (P_1 - \Delta P_{\Sigma})/P_1,$$

де ΔP_{Σ} – сумарні втрати потужності в двигуні, що складаються з кількох компонентів:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{ел1}} + \Delta P_{\text{ел2}} + \Delta P_{\text{маг}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{дод}},$$

Заходи усунення проблеми:

- Заміна хронічно недовантажених двигунів на машини меншої номінальної потужності.
- Перемикання обмоток статора зі схеми «трикутник» на «зірку» для двигунів, які тривалий час працюють із завантаженням $\beta < 0,45$. Це знижує фазну напругу в $\sqrt{3}$ разів, зменшуючи магнітні втрати в сталі $\Delta P_{\text{маг}}$ та покращуючи $\cos\phi$.

Перехід на електродвигуни високих класів енергоефективності

Згідно з міжнародними стандартами (IEC 60034-30), двигуни поділяються на класи від IE1 (стандартна ефективність) до IE4/IE5 (надвисока ефективність).

Заміна старих двигунів класу IE1 на сучасні мотори класу IE3 або IE4 дозволяє знизити втрати на 15–30% (що еквівалентно зростанню ККД на 2–5%).

Це досягається завдяки:

- Використанню високоякісної електротехнічної сталі з низькими питомими втратами;
- Збільшенню перерізу мідних провідників в обмотках для зниження активного опору;
- Оптимізації геометрії пазів статора і ротора та покращенню системи вентиляції.

Забезпечення якості живильної напруги

Несиметрія напруги фаз (навіть у межах 2–3%) призводить до виникнення магнітного поля зворотної послідовності. Це створює гальмівний момент на валу, різко збільшує струм статора та викликає додатковий нагрів обмоток, збільшуючи втрати $\Delta P_{\text{ел1}}$.

Економія електроенергії в промислових електродвигунах базується на оптимізації їхнього завантаження та узгодженні режимів роботи привода із вимогами технологічного процесу. Найбільший техніко-економічний ефект дає інтеграція частотного регулювання (ЧРП) для відцентрових механізмів та планова заміна зношеного парку двигунів на енергоефективні класи IE3/IE4.

7.3.2. Економія електроенергії в вентиляційних установках.

Вентиляційні системи та системи кондиціонування повітря є одними з найбільш енергомістких елементів інженерної інфраструктури промислових підприємств та цивільних споруд. Тривалий (часто цілодобовий) режим роботи вентиляційних установок зумовлює значні обсяги споживання електроенергії. Оптимізація роботи цих систем дозволяє суттєво знизити енергетичні витрати підприємства, що досягається шляхом покращення аеродинамічних характеристик мережі, впровадження регульованого електроприводу та застосування сучасних засобів автоматизації.

1. Аеродинамічні та математичні основи споживання потужності

Потужність P_v , яку споживає вентиляційна установка з мережі для переміщення повітря, описується формулою:

$$P_v = \frac{L \cdot H}{3600 \cdot \eta_v \cdot \eta_n \cdot \eta_d},$$

де: L – продуктивність вентилятора (об'ємна витрата повітря), м³/год;

H – повний тиск, що розвивається вентилятором для подолання аеродинамічного опору мережі, Па;

η_v – ККД самого вентилятора;

η_n – ККД передачі (муфти або пасової передачі від двигуна до вентилятора);

η_d – ККД електродвигуна.

Аеродинамічний опір вентиляційної мережі (повітроводів, фільтрів, калориферів) залежить від квадрату продуктивності:

$$H = RL^2,$$

де R – аеродинамічний опір системи повітроводів.

Звідси впливає кубічна залежність споживаної потужності від продуктивності вентилятора:

$$P_v \sim L^3$$

Це означає, що зміна об'єму повітря, яке подається в приміщення, має визначальний вплив на енергоспоживання системи.

Технічні заходи енергозбереження у вентиляційних системах

Виходячи з наведених залежностей, виділяють кілька ключових напрямків зниження споживання електричної енергії.

Заміна дросельного регулювання (шиберів) на частотне керування

Історично регулювання потоку повітря здійснювалося за допомогою заслінок (шиберів, дроселів) або напрямних апаратів. Дроселювання збільшує штучний опір мережі R , змушуючи вентилятор працювати з низьким ККД та витрачати енергію на подолання створеної перешкоди.

Впровадження частотно-регульованого електроприводу (ЧРП) дозволяє змінювати частоту обертання робочого колеса вентилятора. Зменшення частоти обертання відповідно до законів пропорційності (подібності) дає такий ефект:

Продуктивність змінюється лінійно:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Тиск змінюється квадратично:

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2.$$

Потужність змінюється кубічно:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3.$$

Таким чином, якщо за технологічними вимогами необхідно знизити об'єм повітря на 20% ($n_2/n_1 = 0,8$), споживана потужність вентилятора впаде на ~51% ($0,8^3 \approx 0,49$).

Впровадження систем вентиляції за потребою (Demand Controlled Ventilation — DCV)

Економія енергії досягається не лише покращенням роботи обладнання, а й оптимізацією часу його роботи. Системи DCV передбачають інтеграцію датчиків якості повітря (переважно датчиків вуглекислого газу CO_2 , вологості або присутності) у приміщеннях.

Автоматизована система керування аналізує сигнали з датчиків і через перетворювач частоти знижує оберти вентилятора до мінімально допустимого рівня, коли в приміщеннях немає людей або рівень CO₂ знаходиться в нормі. Це дозволяє уникнути невиробничої роботи вентиляції «вхолосту».

Зниження аеродинамічного опору мережі

Економія електроенергії можлива ще на етапі проектування або модернізації повітроводів. Зменшення коефіцієнта R досягається через:

- Оптимізацію трасування (мінімізація кількості крутих поворотів, звужень та зломів повітроводів);
- Правильний підбір перерізу повітряних каналів (зниження швидкості руху повітря призводить до значного падіння динамічного тиску);
- Своєчасне очищення та заміну повітряних фільтрів, оскільки забруднений фільтр стрімко підвищує перепад тиску ΔH , збільшуючи навантаження на двигун.

Використання сучасних типів вентиляторів та вискоефективних передач

- *Прямий привід*: Відмова від пасових передач на користь прямого насадження робочого колеса на вал двигуна (або використання еластичних муфт) дозволяє підвищити ККД передачі $\eta_{\text{п}}$ з 0,88–0,92 до 1,0.
- *Вентилятори з назад загнутими лопатками*: мають вищий статичний ККД ($\eta_{\text{в}}$ досягає 80–85%) порівняно з уперед загнутими лопатками та мають робочу характеристику, що захищає двигун від перевантаження за зміни режимів.
- *ЕС-вентилятори (електронно-комутовані)*: Використання вентиляторів із вбудованими безколекторними синхронними двигунами на постійних магнітах забезпечує збереження високого ККД двигуна навіть у режимах глибокого регулювання швидкості (до 10–20% від номіналу), де звичайні асинхронні двигуни працюють неефективно.

Енергозбереження у вентиляційних установках досягається переважно через усунення надлишкової продуктивності. Найбільший комплексний ефект забезпечує поєднання частотного регулювання з автоматизованим контролем параметрів повітряного середовища у реальному часі.

7.3.3. Економія електроенергії в освітлювальних установках.

Штучне освітлення є невід'ємною частиною інженерного забезпечення будь-якого промислового підприємства, адміністративної будівлі чи об'єкта житлово-комунального господарства. Частка освітлювальних установок у загальному балансі електроспоживання підприємств може становити від 10% до 30%. Оскільки системи освітлення працюють тривалий час, впровадження сучасних енергоефективних джерел світла, оптимізація схем керування та раціональне використання природного світла дозволяють досягти суттєвого зниження експлуатаційних витрат.

1. Математичні та фізичні основи енергоефективності освітлювальних установок.

Енергетична ефективність освітлювальної установки оцінюється за кількома критеріями, ключовим з яких є *світлова віддача* θ (лм/Вт), яка показує, яку кількість світлового потоку Φ генерує джерело світла на один Ватт споживаної електричної потужності P :

$$\theta = \Phi/P.$$

Потужність, яка потрібна для забезпечення нормованої освітленості в приміщенні методом питомої потужності, розраховується за формулою:

$$P_{\text{осв}} = \frac{E \cdot S \cdot k_z \cdot z}{N \cdot \eta_{\text{викор}}}$$

де: E – нормована мінімальна освітленість на робочій поверхні, лк;

S – площа приміщення, м²;

k_z – коефіцієнт запасу, що враховує старіння джерел світла та забруднення світильників;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N – кількість світильників;

$\eta_{\text{викор}}$ – коефіцієнт використання світлового потоку (залежить від ККД світильника та відбивних властивостей стін і стелі).

Річне споживання електроенергії системою освітлення $\Delta W_{\text{осв}}$ (кВт·год) становить:

						Арк.
						57

$$\Delta W_{\text{осв}} = \frac{\sum P_{\text{св}} \cdot T_{\text{вик}}}{1000}$$

де $\Sigma P_{\text{св}}$ – сумарна встановлена потужність світильників (з урахуванням втрат у пускорегулювальній апаратурі), а $T_{\text{вик}}$ – річний час роботи установки.

2. Порівняльний аналіз джерел світла

Найбільший безпосередній ефект енергозбереження дає відмова від застарілих джерел світла (ламп розжарювання – ЛР, люмінесцентних ламп – ЛЛ, ртутних ламп високого тиску – ДРЛ) та перехід на світлодіодні технології (LED).

Нижче наведено порівняльні техніко-економічні характеристики основних типів ламп, що використовуються в промисловості та побуті табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Порівняльна характеристика промислових джерел світла.

Тип джерела світла	Світлова віддача θ , лм/Вт	Термін служби, год	Коефіцієнт потужності ($\cos\phi$)	Енергетична ефективність
Лампа розжарювання (ЛР)	10 – 15	1000	1,0	Надзвичайно низька
Ртутна лампа (ДРЛ)	40 – 55	12000	0,5 – 0,6 (без комп.)	Низька
Люмінесцентна лампа (ЛЛ)	60 – 80	10000 – 15000	0,6 – 0,9 (з ЕПРА)	Середня
Світлодіодна лампа (LED)	120 – 160	50000 – 100000	0,92 – 0,98	Висока

Заміна ламп ДРЛ на світлодіодні аналоги дозволяє знизити встановлену потужність освітлювальної мережі в 2,5–3 рази за збереження або покращення нормативних показників освітленості та індексу передачі кольору (R_a).

3. Технічні та організаційні заходи економії електроенергії

Окрім простої заміни ламп, сучасна інженерія пропонує системний підхід до побудови ОУ:

1. Автоматизація керування освітленням (Smart Lighting)

Економія енергії досягається шляхом виключення роботи світильників, коли в них немає потреби. Для цього впроваджують:

- *Датчики присутності та руху:* Використовуються в зонах із непостійним перебуванням людей (коридори, склади, побутові приміщення).
- *Датчики природної освітленості (фотореле):* Автоматично регулюють світловий потік штучного освітлення (димування) залежно від рівня сонячного світла, що потрапляє через вікна чи ліхтарі споруди.
- *Астрономічні таймери:* Керують зовнішнім та периметральним освітленням підприємства, підлаштовуючи час увімкнення під реальний графік сходу та заходу сонця в конкретній географічній зоні.

2. Оптимізація архітектурних та конструктивних рішень

- *Використання світлових ліхтарів:* Спрямування природного світла у глибокі зони виробничих цехів через дахові конструкції суттєво зменшує час роботи штучного освітлення ($T_{\text{вик}} \rightarrow \min$).
- *Оздоблення поверхонь:* Фарбування стін і стелі у світлі кольори збільшує коефіцієнт відбиття ρ , що математично підвищує коефіцієнт використання світлового потоку $\eta_{\text{викор}}$ і дозволяє закладати меншу кількість світильників під час проектування.

3. Модернізація пускорегулювальної апаратури (ПРА)

Для залишків люмінесцентного та газорозрядного освітлення критично важливим є перехід від магнітних (дросельних) ПРА до *електронних пускорегулювальних апаратів (ЕПРА)*.

- ЕПРА усуває акустичний шум та мерехтіння (стробоскопічний ефект);
- Підвищує коефіцієнт потужності світильника $\cos\phi$ до 0,95–0,98;
- Зменшує власні втрати в самому апараті на 20–25% порівняно зі звичайним електромагнітним дроселем.

Економія електроенергії в системах штучного освітлення має високий потенціал окупності. Найкращі техніко-економічні показники демонструє комплексний підхід, який поєднує перехід на високопродуктивні світлодіодні джерела світла з автоматичним димуванням за сигналами від датчиків освітленості та присутності. Це дозволяє знизити споживання енергії на освітлювальні потреби підприємства до 50–70%.

7.4. Економія електроенергії впровадженням автоматичного регулювання на двотрансформаторній підстанції.

Визначимо приведені значення активних втрат:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{пв} \Delta Q_{xx} = 1,45 + 0,03 \cdot 8,4 = 1,702 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} \%}{100} S_{н.т} = \frac{2,1}{100} 400 = 8,4 \text{ квар},$$

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + K_{пв} \Delta Q_{кз} = 5,5 + 0,03 \cdot 18 = 6,04 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз} \%}{100} S_{н.т} = \frac{4,5}{100} 400 = 18 \text{ квар}.$$

Визначимо потужність S_A при якій приведені втрати потужності будуть однакові, як при роботі одного трансформатора так і двох:

$$S_A = S_{н.т} \sqrt{\frac{2\Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{кз}}} = 400 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,702}{6,04}} = 300,3 \text{ кВА}.$$

Розрахунок втрат електроенергії при роботі двох трансформаторів і при роботі з автоматичним регулюванням для ТП1 проведений в табл. 7.2.

Розрахуємо річну втрату електроенергії в обох випадках:

$$\begin{aligned} \Delta W_{2тр} &= \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зр2тр} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зв2тр} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лр2тр} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лв2тр} \cdot 48 = \\ &= 143,5 \cdot 147 + 127,2 \cdot 65 + 126,4 \cdot 105 + 114,4 \cdot 48 = 48122,53 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{авт.рег} &= \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зравт.рег} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{звавт.рег} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лравт.рег} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лвавт.рег} \cdot 48 = \\ &= 133,6 \cdot 147 + 109,4 \cdot 65 + 112,5 \cdot 105 + 94,5 \cdot 48 = 43093,87 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Річна економія електроенергії від впровадження автоматичного регулювання доцільного режиму роботи трансформаторної підстанції

$$\Delta W = \Delta W_{2тр} - \Delta W_{авт.рег} = 48122,53 - 43093,87 = 5028,66 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість зекономленої електроенергії

$$E = \Delta W \cdot C_0 = 5028,66 \cdot 8,06 = 20416,4 \text{ грн}.$$

Аналогічним чином розрахована економія електроенергії на ТП2 і ТП3. Результати розрахунку наведені в табл. 7.3.

						Арк.
						60

Таблиця 7.2. Розрахунок економії електроенергії від впровадження системи автоматичного регулювання роботи трансформаторів

Години	Зимова робоча доба						Зимова вихідна доба					
	P, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег.}$, кВт	P, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег.}$, кВт
1	100,7	118,9	233	152,2	3,8	2,6	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
2	100,7	118,9	233	152,2	3,8	2,6	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
3	100,7	118,9	233	152,2	3,8	2,6	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
4	100,7	118,9	266	178,3	4,0	2,9	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
5	100,7	118,9	266	178,3	4,0	2,9	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
6	100,7	118,9	332	235,7	4,5	3,8	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
7	151,0	237,8	366	198,1	4,1	3,2	151,0	237,8	99	205,1	4,2	3,3
8	302,0	214,0	366	338,1	5,6	5,6	302,0	214,0	99	323,1	5,4	5,4
9	478,1	237,8	366	495,0	8,0	8,0	478,1	237,8	66	508,0	8,3	8,3
10	478,1	190,2	400	522,1	8,5	8,5	478,1	190,2	66	494,0	8,0	8,0
11	503,3	190,2	366	533,1	8,8	8,8	503,3	190,2	66	518,4	8,5	8,5
12	251,6	214,0	366	294,0	5,0	5,0	251,6	214,0	66	291,9	5,0	4,9
13	352,3	237,8	366	374,9	6,1	6,1	352,3	237,8	66	391,9	6,3	6,3
14	402,6	190,2	299	417,1	6,7	6,7	402,6	190,2	66	421,4	6,8	6,8
15	478,1	190,2	299	490,3	7,9	7,9	478,1	190,2	66	494,0	8,0	8,0
16	503,3	214,0	299	510,4	8,3	8,3	503,3	214,0	66	524,6	8,6	8,6
17	402,6	214,0	366	430,4	6,9	6,9	402,6	214,0	66	429,0	6,9	6,9
18	302,0	237,8	266	303,3	5,1	5,1	302,0	237,8	99	332,3	5,5	5,5
19	251,6	214,0	266	257,0	4,7	4,2	251,6	214,0	99	276,7	4,8	4,6
20	151,0	166,4	266	180,9	4,0	2,9	151,0	166,4	99	165,4	3,9	2,7
21	100,7	118,9	233	152,2	3,8	2,6	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
22	100,7	118,9	233	152,2	3,8	2,6	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
23	100,7	118,9	233	152,2	3,8	2,6	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
24	100,7	118,9	233	152,2	3,8	2,6	100,7	118,9	99	102,6	3,6	2,1
			Всього, кВт·год		129,2	114,9				Всього, кВт·год		126,2 108,7

Продовження табл. 7.2.

Години	Літня робоча доба						Літня вихідна доба						
	P, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	ΔP _{2тр} , кВт	ΔP _{авт.рег} , кВт	P, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	ΔP _{2тр} , кВт	ΔP _{авт.рег} , кВт	
1	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
2	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
3	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
4	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
5	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
6	85,56	101,0	266	185,8	4,1	3,0	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
7	128,3	202,1	332	182,6	4,0	3,0	128,3	202,1	66	187,1	4,1	3,0	
8	256,7	181,9	332	297,4	5,1	5,0	256,7	181,9	66	281,6	4,9	4,7	
9	406,4	202,1	332	426,7	6,8	6,8	406,4	202,1	66	428,6	6,9	6,9	
10	406,4	161,7	332	440,7	7,1	7,1	406,4	161,7	66	417,5	6,7	6,7	
11	427,8	161,7	332	460,5	7,4	7,4	427,8	161,7	66	438,4	7,0	7,0	
12	213,9	181,9	300	244,3	4,5	4,0	213,9	181,9	66	243,3	4,5	3,9	
13	299,5	202,1	300	315,1	5,3	5,3	299,5	202,1	66	328,9	5,4	5,4	
14	342,2	161,7	266	357,8	5,8	5,8	342,2	161,7	66	355,4	5,8	5,8	
15	406,4	161,7	266	419,6	6,7	6,7	406,4	161,7	66	417,5	6,7	6,7	
16	427,8	181,9	266	436,0	7,0	7,0	427,8	181,9	66	443,2	7,1	7,1	
17	342,2	181,9	300	362,0	5,9	5,9	342,2	181,9	66	361,3	5,9	5,9	
18	256,7	202,1	233	258,5	4,7	4,2	256,7	202,1	66	290,5	5,0	4,9	
19	213,9	181,9	200	214,7	4,3	3,4	213,9	181,9	66	243,3	4,5	3,9	
20	128,3	141,5	200	141,1	3,8	2,5	128,3	141,5	66	148,9	3,8	2,5	
21	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
22	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
23	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
24	85,56	101,0	200	130,8	3,7	2,3	85,6	101,0	66	92,5	3,6	2,0	
			Всього, кВт·год		116,0	98,2				Всього, кВт·год		114,0	94,8

Таблиця 7.3. Результати розрахунку економії електроенергії шляхом переводу роботи двохтрансформаторних підстанцій на оптимальний режим роботи.

№ ТП	ΔW , кВт·год	E , грн
ТП1	5028,66	20416,4
ТП2	5028,66	20416,4
ТП3	6021,05	24445,5
Всього	16078,37	65278,19

7.5. Розрахунок економії електроенергії від впровадження LED освітлення

Визначимо загальний світловий потік, що створюють люмінесцентні лампи в адміністративної споруди

$$\Phi = P_y / \eta = 3600 \cdot 60 = 216000 \text{ лм.}$$

де P_y – встановлена потужність ламп в даному приміщенні,

η – світловіддача встановлених джерел світла в даному приміщенні (для люмінесцентних ламп прийнято $\eta = 60$ лм/Вт, для ламп ДРЛ $\eta = 58$ лм/Вт).

Визначимо загальну встановлену потужність світлодіодних ламп для адміністративної споруди

$$P_y^{\text{LED}} = \Phi / \eta = 216000 / 100 = 2160 \text{ Вт} = 2,16 \text{ кВт},$$

де $\eta = 100$ лм/Вт прийняте значення світловіддачі для світлодіодних ламп.

Визначимо розрахункове навантаження світлодіодного освітлення для адміністративної споруди

$$P_p^{\text{LED}} = P_y^{\text{LED}} K_{\text{п}} = 2,16 \cdot 0,8 = 1,728 \text{ кВт}$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт попиту для освітлення в даній споруді.

Розрахунок освітлювального навантаження для інших споруд аналогічний результати розрахунку наведені в табл. 7.4.

Річну кількість зекономленої електричної енергії визначимо за формулою:

$$\Delta E_{\text{осв}} = (P_{\text{р.осв}} - P_{\text{р.осв}}^{\text{LED}}) T_{\text{ос}} = (132,9 - 42,436) 1850 = 167358,4 \text{ кВт·год},$$

де $P_{\text{р.осв}}$ – фактична розрахункова потужність встановлених ламп (взято з п. 1.2 табл. 1.2.);

						Арк.
						63

Таблиця 7.4. Розрахунок світлодіодного освітлювального навантаження.

№ п/п	Найменування підрозділу	P_y , кВт	Тип ламп	Світловіддача, лм/Вт	Загальний світловий потік, лм	P_{yLED} , кВт	K_p	P_p^{LED} , кВт
1	Адміністративна споруда	3,6	Люм.	60	216000	2,16	0,8	1,728
2	Цех тягових підстанцій	0,992	ДРЛ	58	57536	0,58	0,8	0,460
3	Котельня	2,632	ДРЛ	58	152656	1,53	0,95	1,450
4	Слесарно-механічна ділянка	10,24	ДРЛ	58	593920	5,94	0,95	5,642
5	Зварювальна ділянка	5,04	ДРЛ	58	292320	2,92	0,95	2,777
6	Лабораторія	2,1	Люм.	60	126000	1,26	0,8	1,008
7	Побутове приміщення	3	Люм.	60	180000	1,80	0,85	1,530
8	Бокс	43,288	ДРЛ	58	2510704	25,11	0,95	23,852
9	Приміщення майстрів	2,16	Люм.	60	129600	1,30	0,8	1,037
10	Пральня	0,96	Люм.	60	57600	0,58	0,85	0,490
11	Моторний цех	0,96	ДРЛ	58	55680	0,56	0,9	0,501
12	Компресорна	0,672	Люм.	60	40320	0,40	0,85	0,343
13	Прохідна	1,35	Люм.	60	81000	0,81	0,6	0,486
14	Складські приміщення	1,2	Люм.	60	72000	0,72	0,6	0,432
15	Освітлення території	1,207	ДРЛ	58	70006	0,70	1	0,700
Всього		79,4						42,436

$P_{p.осв}^{LED}$ – розрахункова потужність світлодіодних ламп (табл. 7.4);

$T_{ос}$ – кількість годин використання максимуму освітлювального навантаження.

Прийнято, що $T_{ос} = 1850$ год для двозмінного графіку роботи підприємства.

Річна вартість зекономленої електроенергії від впровадження світлодіодного освітлення

$$E = \Delta E_{осв} C_0 = 167358,4 \cdot 8,06 = 679475 \text{ грн.} \approx 679 \text{ тис. грн.}$$

ВИСНОВКИ

В даній випускній кваліфікаційній роботі розроблена системи електропостачання та електрозбереження тролейбусного депо.

У вступі наведена коротка характеристика технологічного процесу депо. В першому розділі проведено розрахунок силових електричних навантажень методом впорядкованих діаграм (Каялова), а також розрахунок освітлювальних навантажень методом питомої щільності навантаження. В цьому ж розділі побудовані графіки електричних навантажень та визначено значення T_m та τ_m . В другому розділі виконані розрахунки для побудови картограми навантажень та обрано місце розташування ЦРП. В третьому розділі розглянуто питання вибору схем електропостачання шляхом техніко-економічного порівняння варіантів зовнішнього та внутрішнього електропостачання. В четвертому розділі розглянуто питання компенсації реактивної потужності, а саме: обрано потужність компенсуючих пристроїв та місце їх розташування. При розрахунках порівнювалося три варіанти компенсації реактивної потужності з різною кількістю трансформаторів ТП. В п'ятому розділі проведено вибір кількості та потужності трансформаторних підстанцій для підприємства. В шостому розділі розраховано струми короткого замкнення та вибрано силове електрообладнання.

В спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розроблена система електрозбереження, як комплекс заходів направлених на економію електричної енергії на усіх етапах її передачі, перетворення та використання. Відомі методики підходу до економії електричної енергії стосуються конкретної енергетичної установки, яка здійснює передачу, перетворення або використання електроенергії.

В якості прикладу проведений розрахунок економії електричної енергії від впровадження автоматичного регулювання кількості включених трансформаторів на підстанціях підприємства. Так, застосування вказаного заходу дасть річну економію електричної енергії в обсязі 16 тис. кВт·год. Також розрахована річна економія електричної енергії від впровадження світлодіодного освітлення на всьому підприємстві. Застосування вказаного заходу дасть річну економію електричної енергії в обсязі 167 тис. кВт·год.

						Арк.
						65

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010.
2. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів: навч. посіб. / П. Г. Плешков, А. Ю. Орлович, С. В. Серебренніков [та ін.] ; ред. П. Г. Плешков. - Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 246 с.
4. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.
5. Енергетичний інжиніринг та менеджмент : в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.
6. Електропостачання промислових підприємств: Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (електропостачання заводу) для студентів V-VI курсів спеціальності 8.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання /Укл.: П.Г.Плешков, А.І.Котиш, А.Ю.Орлович. – Кіровоград: КДТУ, 2004 – 133 с.
7. Методичні вказівки загальні вимоги по оформленню та змісту кваліфікаційного проекту : для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, О. І. Сіріков, А. І. Котиш] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. електротехн. систем та енергетичного менеджменту. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 62 с.
8. Методичні вказівки “Енергозберігаючі режими електропостачання” для студентів спеціальності 8.090603 усіх форм навчання. Частина 2. /Укладачі: Ю.І. Казанцев, П.Г. Плешков. Кіровоград, КДТУ, 2003. – 122 с.