

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ҐЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ КП
«ЛЬВІВЕЛЕКТРОТРАНС» З ВИКОРИСТАННЯМ РЕЗЕРВНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»

Виконав: студент IV курсу

групи Ен – 42 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Білик Максим

Керівник: _____ Гошко М.О.

Рецензент: _____ Кригуль Р.Є.

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Р. _____

(підпис)

к.т.н., доцент Левонюк В.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ _____ ” _____ 2025_

року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

_____ Білику Максиму
Назаровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ «Електропостачання виробничого цеху КП
«Львівелектротранс» з використанням резервної електростанції»

керівник роботи _____ к.т.н., доцент Гошко М.О.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП _____ 123/к-с від 25.02.25

р. _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 13.06.25

р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ

3 ВИБІР ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЗЕРВНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Висновки

Перелік джерел посилання

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання _____ 25.02.25 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Виконання аналізу вихідних даних для реконструкції підстанції та обчислення нормальних і аварійних режимів роботи</i>	25.02.2025 – 7.03.2025	
2	<i>Розробка схеми відкритих розподільчих пристроїв підстанції та вибір основного обладнання</i>	10.03.2025 – 14.03.2025	

3	<i>Розробка системи релейного захисту трансформатора на основі мікропроцесорного реле</i>	17.03.2025 – 18.04.2025	
4	<i>Виконання структурно-функціонального аналізу процесу та розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій</i>	21.04.2025 – 2.05.2025	
5	<i>Вивчення питання охорони праці та здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i>	5.05.2025 – 16.05.2025	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	19.05.2025 – 30.05.2025	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	2.06.2025 – 13.06.2025	

Студент _____ Білик Максим
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Гошко М.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.320

Білик Максим Назарович. Електропостачання виробничого цеху КП «Львівелектротранс» з використанням резервної електростанції. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. ГЖИЦЬКОГО, 2025. 50 с. текстової частини, 12 таблиць, 11 рисунків, 15 джерел посилання.

У кваліфікаційній роботі була розрахована електропостачання виробничого цеху КП «Львівелектротранс» з використанням резервної електростанції. Здійснено аналіз технічного стану існуючого обладнання цеху підприємства МХП та обґрунтовано доцільність його заміни. В роботі було розроблено основні параметри резервної електростанції. Проаналізовано заходи з охорони праці при монтажі та експлуатації пристроїв. Оцінено економічну ефективність запропонованих технічних рішень, визначено очікуваний економічний ефект та строк окупності.

Ключові слова: електропостачання виробничого цеху, резервні електростанції, дизельні електростанції.

Вступ

У сучасних реаліях України, особливо в умовах військового конфлікту, питання надійності електропостачання стають одним із найважливіших аспектів функціонування промислових підприємств. Нестабільність централізованих енергомереж, ризики аварійних відключень через пошкодження обладнання, а також навмисні чи випадкові перебої в електропостачанні створюють серйозні загрози для безперебійного технологічного процесу. Для підприємств, що належать до критичної інфраструктури, зокрема комунальних транспортних підприємств, таких як КП «Львівелектротранс», гарантування постійної подачі електроенергії є першочерговим завданням.

Безперервне електропостачання виробничих цехів дозволяє забезпечити стабільність роботи обладнання, запобігає зупинкам виробництва, які можуть призвести до значних фінансових збитків, а також мінімізує ризики поломок, що виникають через різкі коливання напруги або аварійні відключення. В умовах воєнного часу, коли централізовані мережі піддаються підвищеному ризику пошкоджень, наявність автономного резервного джерела живлення стає не просто рекомендованою мірою, а критично необхідним рішенням.

Використання резервних електростанцій для живлення виробничих приміщень дозволяє не лише зберегти безперервність технологічних процесів, але й оперативно реагувати на надзвичайні ситуації, забезпечуючи безпеку працівників і збереження матеріальних ресурсів. Резервні системи електропостачання можуть бути побудовані на базі дизельних генераторів, акумуляторних батарей, гібридних установок або інших джерел, що забезпечують автономність у випадку відключення основної мережі.

Метою даної дипломної роботи є розробка ефективної системи електропостачання виробничого цеху КП «Львівелектротранс» із впровадженням резервного живлення, що дозволить підвищити надійність енергозабезпечення підприємства в умовах воєнного стану та забезпечити

безперервність виробничих процесів. У роботі буде проведено аналіз існуючої мережі, визначено оптимальні параметри резервного джерела живлення, а також розглянуто заходи щодо автоматичного переключення та захисту електрообладнання.

Таким чином, виконання цього проекту сприятиме підвищенню енергетичної безпеки підприємства та зменшенню ризиків, пов'язаних із перервами в електропостачанні.

Мета роботи: електропостачання виробничого цеху КП «Львівелектротранс» з використанням резервної електростанції.

Актуальність роботи: військові дії та нестача електроенергії в Україні стимулює до дослідження енергоефективних електричних джерел світла.

1 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

Комунальне підприємство «Львівелектротранс» здійснює перевезення пасажирів у межах Львова, використовуючи трамвайний та тролейбусний транспорт, що працює від джерел постійного струму.

У власності організації перебуває три трамвайних депо, розташованих на вулицях Промисловій, Сахарова та Городоцькій, один тролейбусний парк (вул. Тролейбусна), а також адміністративні та службові будівлі. Загальний рухомий склад включає понад 70 тролейбусів та близько 100 трамваїв.

Найбільший об'єкт інфраструктури підприємства — тролейбусний парк, що займає площу близько 78 000 м². Тут розташовані два ремонтні цехи, офісні споруди та стоянка для транспорту.



Рисунок 1.1 = Комунальне підприємство «Львівелектротранс»

Один із цехів спеціалізується на відновленні електротехнічного обладнання тролейбусів: двигунів постійного струму, систем управління

ними, стабілізаторів та перетворювачів напруги (оскільки лінії живлення мають пульсуючу, а не стабільну характеристику), а також систем гальмування та інших важливих елементів.

Площа цього цеху — близько 430 м², одночасно він здатен приймати на обслуговування до трьох одиниць транспорту. Головний напрямок роботи — ремонт електродвигунів, який передбачає заміну щіток, підшипників, відновлення обмоток збудження та якоря, ремонт магнітних контурів, колекторів тощо.

Найбільш ресурсоемними етапами є демонтаж старої ізоляції з обмоток і магнітопроводів, а також нанесення нової. Щоб видалити пошкоджену ізоляцію, її попередньо нагрівають до 500°C в електропечі потужністю 35 кВт. Після термообробки ізоляцію видаляють механічно: дріт протягують через точно підібраний отвір, а пластини очищують на фрезерному верстаті. Нове лакове покриття наноситься за допомогою пульверизатора, який працює на базі повітряного компресора потужністю 5 кВт.

Цех також оснащено широким спектром обладнання: токарним та фрезерним верстатами, зварювальним апаратом зі вбудованою компенсаційною системою (конденсатори жорстко припаяні до контактів), гідравлічним пресом для монтажу й демонтажу вузлів.

Для підняття тролейбусів або великих компонентів використовується кран-балка, яка охоплює площу приблизно 400 м² і закріплена під стелею.

Додатково тут використовуються: гідравлічний насос, свердлильний верстат, станок для обкатки, шліфування, намотування нових обмоток, обладнання для наплавлення зношених поверхонь та інше спеціалізоване електрообладнання.

Усі споживачі електроенергії підключені до трифазної мережі напругою 0,38 кВ. Електропостачання надходить від трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ через 100-метрову силову лінію. Вимірювання споживання здійснюється цифровими трифазними лічильниками типу АСЕ-

3000, встановленими на стороні низької напруги трансформатора. Система компенсації реактивної потужності відсутня. У цеху передбачено захист від коротких замикань, а все електрообладнання заземлене.

Відповідно до технічних умов, максимальна споживана потужність становить 80 кВт. Внутрішня мережа виконана як трифазна з ізольованою нейтраллю, а однофазні лінії мають трипровідну структуру, де третій провідник з'єднаний із заземленням. Протягом попереднього року електроспоживання цеху склало 150 200 кВт·год.

Щодня в цьому приміщенні працює орієнтовно 13 осіб, не враховуючи адміністративний персонал та обслуговуючий персонал.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ

Метою розрахунку є встановлення сумарного енергоспоживання цеху всіма електропристроями, які в ньому експлуатуються. Ускладнення виникає через те, що кожен тип обладнання — асинхронні електродвигуни, нагрівальні елементи (ТЕНи), освітлення, релейні системи тощо — має власну тривалість роботи впродовж зміни, відрізняється номінальною потужністю та коефіцієнтом потужності.

Завдання розрахунку полягає у визначенні середнього значення максимальної та мінімальної активної потужності, яку споживає цех, що необхідно для коректного вибору параметрів резервної дизельної електростанції, здатної забезпечити безперебійну роботу в разі відключення основного джерела живлення.

Для досягнення цієї мети застосовується метод впорядкованих діаграм, який дозволяє з урахуванням експлуатаційних характеристик обладнання отримати узагальнене уявлення про навантаження цеху.

Ключовим поняттям у цьому методі є середня активна потужність (P_c) — розрахункове значення потужності для окремого споживача або однорідної

групи пристроїв, яке враховує режим роботи, тривалість включення та електричні параметри обладнання.

$$P_c = \frac{W}{t_{зм}}, \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

де W – енергія, яку споживач споживає за зміну, кВт·год;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Для даного підприємства тривалість зміни рівна тривалості повного робочого дня, $t_{зм}=8$ год.

Використовувана споживачем енергія за зміну знаходиться за виразом:

$$W = P_n \cdot t, \text{ кВт·год}, \quad (2.2)$$

де P_n – номінальна потужність споживача згідно паспорту;

t — це час роботи електроспоживача протягом однієї зміни, виражений у годинах. Його значення визначається специфікою виробничого процесу, до якого залучено обладнання, а також загальним графіком роботи підприємства. Для кожної категорії електроспоживачів, за умов нормального функціонування підприємства, ці часові показники наведені у таблиці 1.

На наступному етапі обчислюється коефіцієнт використання (кв). Він визначається як відношення середньої активної потужності споживача до його номінальної потужності. Цей коефіцієнт показує, яку частину від максимально можливої потужності фактично використовує пристрій, тобто відображає ефективність його експлуатації в межах доступного енергоспоживання.

$$k_c = \frac{P_c}{P_n}. \quad (2.3)$$

На подальшому етапі необхідно визначити середнє значення реактивної потужності, що споживається окремим електроприладом або цілою групою пристроїв зі схожими характеристиками.

$$Q_c = P_n \cdot n \cdot k_\phi \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВАр}, \quad (2.4)$$

де n – кількість споживачів з однаковими параметрами в групі;

$\text{tg}\varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності.

Для ілюстрації методу виконаємо прикладний розрахунок параметрів для конкретного електроспоживача, номінальна потужність якого становить 22 кВт, коефіцієнт потужності дорівнює 0,81, а тривалість його роботи впродовж однієї зміни складає 3 години.

Споживана енергія за зміну:

$$W = 22 \cdot 3 = 66, \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Середня активна потужність:

$$P_c = \frac{66}{8} = 8,25, \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт використання:

$$k_e = \frac{8,25}{22} = 0,375.$$

Середня реактивна потужність:

$$Q_c = 22 \cdot 1 \cdot 0,375 \cdot 0,72 = 5,97, \text{ кВАр,}$$

Аналогічно розраховуються потужності для решти груп споживачів. Дані розрахунків вносяться до таблиці 1.

Після цього рахується загальна активна і реактивна потужності цеху просумувавши потужності кожного із споживачів:

$$P = \sum_{i=1}^{18} P_{ci}, \text{ кВт;} \quad (2.5)$$

$$P = 73,81, \text{ кВт;}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{18} Q_{ci}, \text{ кВАр;} \quad (2.6)$$

$$Q = 43,94, \text{ кВАр.}$$

За такою ж методикою виконуються розрахунки для всіх інших груп електроспоживачів. Результати обчислень заносяться до таблиці 1.

Після завершення індивідуальних розрахунків здійснюється підсумовування активної та реактивної потужностей усіх споживачів для визначення загального енергетичного навантаження ремонтного цеху.

$$n_e = \frac{\left[\sum_{i=1}^{18} P_{ni} \right]^2}{\sum_{i=1}^{18} P_{ni}^2}; \quad (2.7)$$

$$n_e = \frac{47306}{5603} = 8,4$$

Загальний коефіцієнт використання для всієї групи електроспоживачів:

$$k_e = \frac{\sum_{i=1}^{18} P_{ci}}{\sum_{i=1}^{18} P_{ni}}; \quad (2.8)$$

$$k_e = \frac{73,81}{207,5} = 0,36$$

За впорядкованими діаграмами з довідника визначається коефіцієнт максимуму $k_m = f(k_e; n_e)$:

$$k_m = 1,52$$

Далі знаходяться максимальну 30 хвилинну активну потужності:

$$P_m = P \cdot k_m, \text{ кВт}; \quad (2.9)$$

$$P_m = 73,81 \cdot 1,52 = 112,19, \text{ кВт}.$$

Для знаходження максимальної реактивної потужності використовують коефіцієнт k'_m , який рівний $k'_m = 1,1$ при умовах:

$$\begin{cases} k_e \leq 0,2 \\ n_e \leq 100; \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_e \geq 0,2 \\ n_e \leq 10 \end{cases}.$$

Якщо ж ці умови не виконуються, то $k'_m = 1$. В даному випадку $k_e = 0,36$, а $n_e = 8,4$. Отже $k'_m = 1,1$.

Максимальна реактивна потужність буде рівною:

$$Q_m = Q \cdot k'_m, \text{ кВАр}; \quad (2.10)$$

$$Q_m = 43,94 \cdot 1,1 = 48,33, \text{ кВАр}.$$

Коефіцієнт реактивної потужності та коефіцієнт потужності при максимальному навантаженні будуть рівними:

$$\operatorname{tg}_{\text{м}} \varphi = \frac{Q_{\text{м}}}{P_{\text{м}}} ; \quad (2.11)$$

$$\operatorname{tg}_{\text{м}} \varphi = \frac{48,33}{112,19} = 0,43 ;$$

$$\cos_{\text{м}} \varphi = \cos(\operatorname{arctg}(\operatorname{tg}_{\text{м}} \varphi)) ; \quad (2.12)$$

$$\cos_{\text{м}} \varphi = \cos(\operatorname{arctg}(0,43)) = 0,91 .$$

Коефіцієнт реактивної потужності та коефіцієнт потужності при середньому навантаженні:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} ; \quad (2.13)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{43,94}{73,81} = 0,6 ;$$

$$\cos \varphi = \cos(\operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \varphi)) ; \quad (2.14)$$

$$\cos \varphi = \cos(\operatorname{arctg}(0,6)) = 0,86 .$$

Щоб визначити мінімальне навантаження цеху, необхідно підсумувати середні активні потужності лише тих споживачів, які працюють майже безперервно, тобто мають коефіцієнт використання, наближений до 1.

$$P_{\min} = \sum_{i=1}^7 P_i \cdot k_{\text{в}} , \text{ кВт}; \quad (2.15)$$

$$P_{\min} = 3,5 \cdot 0,87 + 1,5 \cdot 1 + 5 \cdot 0,75 + 10 \cdot 1 + 3,5 \cdot 1 + 1,5 \cdot 1 + 1,5 \cdot 1 = 24,8 , \text{ кВт}.$$

Найменування споживача електроенергії	P _н , Вт	п	t, год.	W, кВт·год	P _с , Вт	k _в	cosφ	tgφ	Q _с , кВАр
Гідравлічний насос	22	1	3	66	8,25	0,375	0,81	0,72	5,97
Свердильний верстат	5	1	3	15	1,88	0,38	0,8	0,75	1,43
Обкатувальний станок	5	1	4	20	2,5	0,5	0,81	0,72	1,81
Шліфувальний станок	3,5	1	7	24,5	3,06	0,87	0,76	0,86	2,6
Протяжний верстат	1,5	1	8	12	1,5	1	0,88	0,54	0,81
Компресор повітря	5	1	6	30	3,75	0,75	0,79	0,78	2,91
Кран-балка	37	1	2	74	9,25	0,25	0,85	0,62	5,73
Фрезерний верстат	5	1	2	10	1,25	0,25	0,82	0,7	0,87
Електропіч	45	1	1	45	5,63	0,125	0,99	0,14	0,8
Гідравлічний прес	10	1	8	80	10	1	0,84	0,65	6,46
Токарний верстат	5	1	3	15	1,88	0,37	0,86	0,59	1,12
ТЕНи	5	3	4	20	2,5	0,5	0,98	0,2	1,52
Додаткове обладнання	5	1	2	10	1,25	0,25	0,77	0,83	1,04
Зварювальний апарат	12	1	1	12	1,5	0,125	0,82	0,7	1,05
Вентиляція	3,5	1	8	28	3,5	1	0,81	0,72	2,53
Станок для наплавлення обертових деталей	35	1	3	105	13,12	0,375	0,9	0,48	6,37
Освітлення	1,5	1	8	12	1,5	1	1	0	0
Системи автоматики	1,5	1	8	12	1,5	1	0,85	0,62	0,93
Σ	207,5	20		590,5	73,81				43,94

3 ВИБІР ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЗЕРВНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Вибір типу резервної електростанції

Необхідність резервного живлення

Сучасні промислові підприємства, особливо ті, що працюють з високотехнологічним обладнанням, дуже чутливі до якості та безперервності електропостачання. Навіть короточасні перебої в електромережі можуть призвести до простоїв, пошкодження обладнання, втрати даних та значних фінансових збитків. В Україні, з огляду на нерідкі перебої з електропостачанням і коливання напруги, особливо у регіонах з навантаженими або застарілими мережами, питання надійного резервного живлення стає критично важливим.

Резервне живлення забезпечує безперервність роботи цехів, виробничих ліній та технологічних процесів, що дозволяє уникнути зупинок та забезпечити стабільність виробництва. Воно також підвищує безпеку працівників і продовжує термін служби електрообладнання, запобігаючи пошкодженням через перепади напруги чи раптові відключення.

Види резервних електростанцій

Існує кілька основних типів резервних джерел живлення, які використовуються в промисловості:

Дизель-генератори (ДГУ) — найбільш поширений тип резервних електростанцій. Вони мають високу потужність і можуть працювати тривалий час без перерви. Запуск дизель-генератора зазвичай займає кілька секунд, що є прийнятним для більшості промислових процесів. До недоліків належать необхідність постійного запасу палива, шумність, а також викиди шкідливих речовин.

Газові генератори — працюють на природному або скрапленому газі. Вони більш екологічні і тихіші за дизельні аналоги, але залежать від стабільності газопостачання. Зазвичай використовуються там, де доступний газ і є потреба в тривалому резервному живленні.

Акумуляторні системи безперебійного живлення (UPS) — забезпечують миттєве перемикання живлення на резервні батареї, що є важливим для чутливого обладнання, яке не терпить навіть коротких перебоїв. Проте, автономний час роботи у батареї обмежений — від кількох хвилин до кількох годин, залежно від ємності.

Гібридні системи — комбінація акумуляторних систем і генераторів різного типу, що дає змогу поєднувати миттєве резервування з тривалим автономним живленням. Такі системи є ефективними, але складнішими в реалізації та дорожчими.

Переваги та недоліки різних типів резервних джерел

Резервні електростанції дозволяють забезпечити безперервність виробництва, підвищують безпеку працівників і знижують ризики пошкодження обладнання. Водночас вони вимагають додаткових витрат на придбання, встановлення, обслуговування та експлуатацію. Наприклад, дизель-генератори потребують регулярного технічного обслуговування та контролю запасів палива. UPS-системи потребують заміни батарей через певний період.

Вибір оптимального типу резервного живлення залежить від специфіки підприємства, тривалості можливих перебоїв, потужності, яку необхідно забезпечити, а також від наявного бюджету.

Таким чином, системи резервного живлення є необхідним елементом будь-якого промислового підприємства, яке прагне мінімізувати ризики простоїв і забезпечити безперебійну роботу технологічних процесів у сучасних умовах нестабільної електромережі.

Резервні електростанції застосовуються для надійного забезпечення безперебійного електропостачання сільськогосподарських та промислових об'єктів у тих випадках, коли інші способи резервування, зокрема мережне резервування, або технічно неможливі, або економічно неефективні. Як резервні джерела енергії використовують стаціонарні чи пересувні електроустановки відносно невеликої потужності.

Сучасна промисловість пропонує резервні електростанції з різними типами двигунів – карбюраторними та дизельними. Якщо потужність перевищує 16 кВт, найбільш раціональним рішенням стає застосування дизель-генераторних установок (ДЕС). Основним вузлом такої електростанції є дизель-генератор, де дизельний двигун, що слугує первинним приводом, жорстко з'єднаний із синхронним генератором за допомогою міцної муфти. ДЕС комплектуються сучасною апаратурою управління і контрольно-вимірювальними пристроями, що забезпечують ефективне і безпечне керування роботою установки.

Оскільки потужність цеху перевищує 16 кВт, оптимальним вибором є мініелектростанція з дизельним двигуном внутрішнього згорання, а не з карбюраторним, що гарантує кращу надійність і економічність роботи.

Для правильного вибору та ефективної експлуатації дизель-електростанції необхідно детально врахувати її ключові технічні характеристики: номінальну потужність, робочу напругу, силу струму, метод регулювання напруги генератора та тип дизельного агрегата. Як правило, такі станції виробляють змінний струм з напругою 230 і 400 В та частотою 50 Гц, що дозволяє підключати споживачів безпосередньо до шин генератора і забезпечувати стабільність електроживлення.

Важливим параметром є точність підтримки напруги: у генераторів із магнітними збудниками та вугільними регуляторами типу РУП відхилення напруги становить не більше $\pm 3\text{--}5\%$ при зміні навантаження від 0 до 100 %. Для синхронних генераторів із самозбудженням без коректора – аналогічне відхилення $\pm 3\text{--}5\%$, а із застосуванням коректора – у межах $\pm 1\text{--}2\%$. Для генераторів, які живлять різнотипне навантаження (силове, освітлювальне, побутове), допустиме відхилення напруги сягає $\pm 5\%$.

Що стосується дизельних агрегатів, вони здатні витримувати перевантаження до 10 % протягом однієї години без погіршення експлуатаційних характеристик. Максимально допустиме відхилення частоти

обертання ротора при вмиканні та вимиканні номінального навантаження не перевищує $\pm 6\%$.

Для резервного живлення цеху було обрано електро-дизельну установку PERKINS 48 – стаціонарний автоматичний дизельний агрегат потужністю 48 кВт із номінальною напругою 380 В. Основні технічні характеристики цієї установки включають:

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики електро-дизельної установки Konner&Sohnen KS 110-3BE

Тип комплектного агрегата	Потужність, кВт	Тип первинного двигуна	Втрата	Напруга генератора, В	Спосіб регулювання напруги	Можливість паралельної роботи
PERKINS	80	Konner&Sohnen	7.6 л/год	380	Автоматичний	Передбачено

У разі повної відсутності електроенергії в мережі дизель-електростанція (ДЕС) здатна самостійно забезпечувати електропостачання цеху, задовольняючи потреби середнього навантаження з можливістю допустимого перевантаження. Однак при максимальних навантаженнях споживачів цеху генератор у автономному режимі не може впоратися з повним обсягом споживаної потужності. У таких випадках ДЕС необхідно під'єднувати до внутрішньої силової мережі цеху для спільної роботи з зовнішніми лініями електропередач. Це дозволяє розвантажити зовнішні електричні мережі та знизити енергетичні втрати, забезпечуючи більш стабільне та ефективне живлення цеху.

Дизельна електростанція Konner&Sohnen KS 110-3BE



Рисунок 3.1 – Дизельна електростанція Konner&Sohnen KS 110-3BE

Технічні характеристики Konner&Sohnen KS 110-3BE

Робочі параметри	
Номінальна потужність	80 кВт
Максимальна потужність	88 кВт
Частота напруги (струму)	50 Гц
Коефіцієнт потужності	0.8
Витрата пального	9.91 л/год
Характеристики двигуна і пристрою	
Напруга	трифазний (380 В)
Тип запуску	електростарт
Потужність, к.с.	121 к.с.
Тип двигуна	4-тактний
Тип пального	дизель
Охолодження	рідинне охолодження

Рисунок 3.2 – Характеристики ДЕС PERKINS 48

3.2 Вибір місця розташування ДЕС

Дизельні електростанції: типи, переваги та недоліки

Дизельні електростанції (ДЕС) — це автономні джерела електроенергії, які широко застосовуються як резервні або основні джерела живлення в різних галузях промисловості, сільському господарстві, комунальному господарстві, а також у віддалених районах, де підключення до централізованої мережі ускладнене або економічно недоцільне. Основним робочим органом таких електростанцій є дизельний двигун внутрішнього згорання, який приводить в дію генератор змінного струму.

Основні типи дизельних електростанцій

Дизельні електростанції класифікуються за різними ознаками — за потужністю, мобільністю, способом охолодження двигуна, а також за способом управління.

За потужністю

Мініелектростанції — потужністю до 100 кВт, зазвичай використовуються для резервного живлення невеликих об'єктів, цехів, офісів.

Промислові ДЕС — потужністю від 100 кВт і вище, застосовуються для живлення великих виробничих об'єктів і промислових підприємств.

За мобільністю

Стаціонарні ДЕС — встановлюються на одному місці, мають захисні корпуси, систему шумозаглушення та систему автоматичного запуску і зупинки.

Пересувні (мобільні) ДЕС — змонтовані на шасі або в контейнерах, що дозволяє швидко транспортувати їх до місця роботи, популярні для аварійного живлення і будівельних майданчиків.

За способом охолодження

Повітряне охолодження — застосовується у малопотужних двигунах, простіше у конструкції, але менш ефективно при високих навантаженнях.

Водяне охолодження — більш ефективне, використовується в середніх і потужних двигунах, забезпечує стабільну роботу при тривалих навантаженнях.

За типом запуску

Ручний запуск — зазвичай у малопотужних переносних установках.

Автоматичний запуск — у більшості сучасних ДЕС, що дозволяє швидко підключати резервне живлення без участі оператора.

Переваги дизельних електростанцій

- Висока надійність і довговічність

Дизельні двигуни відомі своєю міцністю і здатністю працювати в складних умовах. Вони можуть експлуатуватися протягом тривалого часу без суттєвих перебоїв, що особливо важливо для аварійного і резервного живлення.

- Економічність при тривалих навантаженнях

Дизельні агрегати мають високий ККД, особливо при стабільних режимах роботи і великих навантаженнях, що робить їх вигідними для тривалого використання.

- Можливість роботи в автономному режимі

ДЕС не залежать від зовнішніх джерел енергії і можуть швидко запускатися навіть при повній відсутності електрики в мережі.

- Широкий діапазон потужностей

Завдяки різноманітності моделей можна підібрати ДЕС як для малих підприємств, так і для великих промислових комплексів.

- Проста експлуатація та технічне обслуговування

Сучасні дизельні електростанції оснащені автоматикою, системами контролю і діагностики, що значно полегшує їх обслуговування.

Недоліки дизельних електростанцій

- Викиди шкідливих речовин

Дизельні двигуни виділяють у навколишнє середовище вуглекислий газ, оксиди азоту, сажу та інші забруднювачі, що потребує додаткових заходів з екологічного контролю.

- Шум і вібрація

Робота дизельного двигуна супроводжується значним шумом і вібрацією, тому ДЕС зазвичай встановлюють у спеціальних шумозаглушених приміщеннях або контейнерах.

- Потреба у регулярному технічному обслуговуванні

Для підтримки надійної роботи дизельних станцій необхідно виконувати планові огляди, заміну мастил, фільтрів і інших витратних матеріалів.

- Вартість палива та залежність від постачання дизелю

Витрати на дизельне паливо можуть бути значними, а у разі перебоїв у постачанні забезпечення безперебійної роботи ДЕС ускладнюється.

- Початкові капіталовкладення

Вартість придбання і встановлення дизельної електростанції досить висока у порівнянні з деякими альтернативними джерелами резервного живлення.

Особливості експлуатації

Дизельні електростанції вимагають врахування кількох важливих аспектів під час вибору і монтажу:

- Підбір потужності

Потужність ДЕС має відповідати максимальному навантаженню споживачів, з урахуванням запасу для можливих перевантажень.

- Режим роботи

ДЕС можуть працювати як у резервному режимі, так і в автономному постійному живленні. Режим роботи визначає вимоги до двигуна і генератора.

- Автоматизація запуску і зупинки

Сучасні системи автоматичного запуску дозволяють оперативно підключати електростанцію при аваріях в мережі без участі персоналу.

- Забезпечення охолодження та вентиляції

Для підтримки температурного режиму двигуна необхідна якісна система охолодження і провітрювання приміщення.

- Система зберігання палива

Важливо організувати надійне і безпечне зберігання дизельного палива, а також передбачити регулярне його оновлення.

Висновок

Дизельні електростанції залишаються одним із найпоширеніших і надійних джерел резервного та автономного живлення. Їх переваги — висока потужність, надійність, можливість роботи в різних умовах — роблять їх незамінними для промислових підприємств, сільського господарства та об'єктів інфраструктури. Водночас необхідність дотримання екологічних норм, забезпечення шумозаглушення і регулярного технічного обслуговування потребує відповідального підходу до їх вибору та експлуатації. При правильному підборі та налаштуванні дизельна електростанція здатна гарантувати стабільне і безперебійне живлення навіть у найскладніших умовах.

Оскільки електроенергія, що виробляється генератором ДЕС, не потребує передачі на великі відстані, вибір місця для її встановлення значно спрощується — немає необхідності визначати центр навантаження споживачів, як це робиться при розміщенні трансформаторної підстанції. Дизель-електростанцію можна розмістити безпосередньо в технічному приміщенні цеху (див. аркуш 1). Головною вимогою з точки зору техніки безпеки є обов'язкове забезпечення виведення вихлопних газів дизельного двигуна назовні, у атмосферу. Крім того, рекомендується, щоб приміщення, де знаходиться ДЕС, було оснащено шумоізоляцією для підвищення комфортності умов праці співробітників.

3.3 Електричне виконання систем керування ДЕС

3.3.1 Пуск дизеля

Електричне виконання систем керування дизельної електростанції

Система керування дизельною електростанцією (ДЕС) є ключовим елементом, що забезпечує надійну та безпечну роботу агрегату. Вона відповідає за запуск і зупинку двигуна, контроль його параметрів, регулювання напруги та частоти генератора, а також захист від аварійних ситуацій. Сучасні системи керування можуть бути як простими електромеханічними, так і складними цифровими комплексами з автоматичним управлінням.

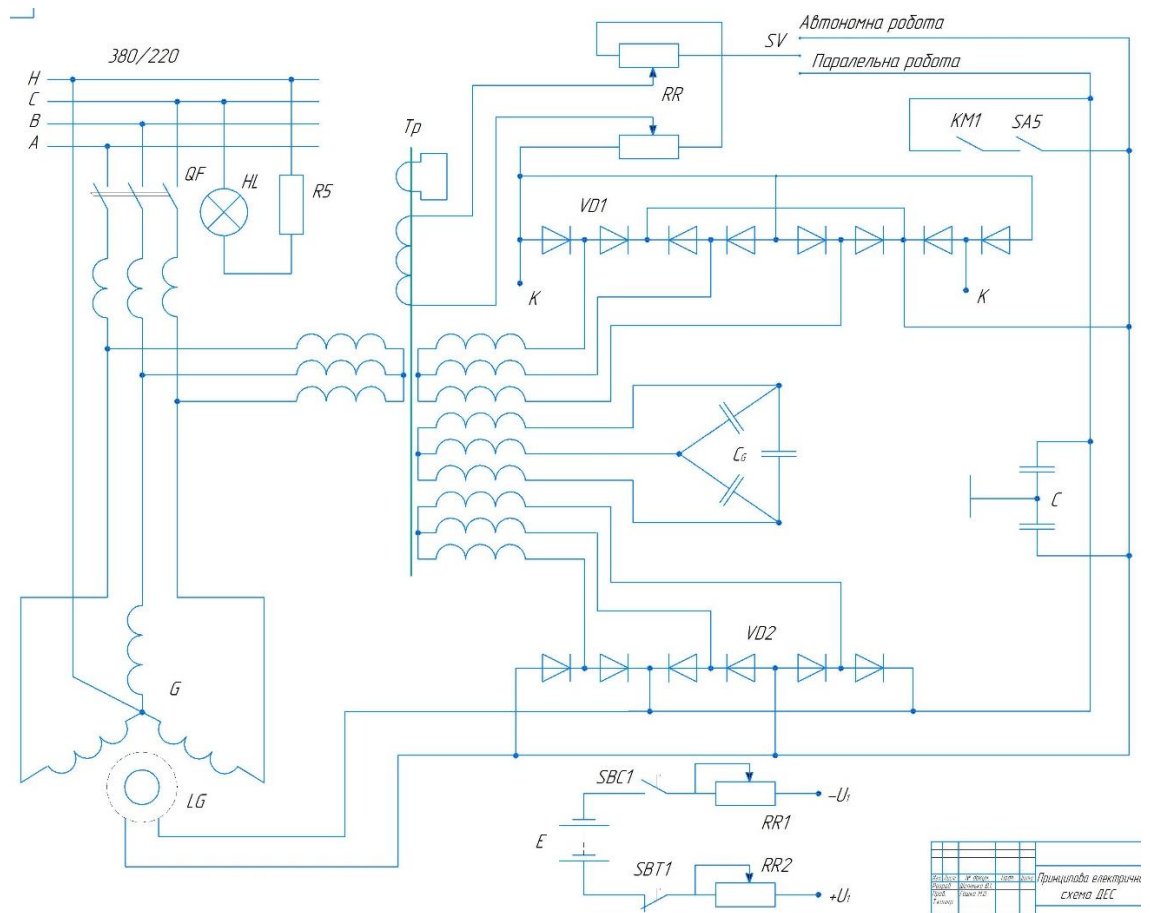


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема ДЕС

Типи систем керування ДЕС

1. Електромеханічні системи керування — традиційний тип, де контроль виконується за допомогою релейних схем та простих приладів. Такі системи мають просту конструкцію, невибагливі до обслуговування, але обмежені у функціональності та можливостях інтеграції з іншими системами.

2. Електронні системи керування — більш сучасні, використовують електроніку та мікропроцесори для точнішого контролю роботи двигуна та генератора. Вони можуть забезпечувати більш гнучке регулювання, автоматичний запуск/зупинку за заданими параметрами, а також дистанційний контроль.

3. Автоматизовані системи керування на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК) — найсучасніший варіант, що дозволяє інтегрувати ДЕС у складні промислові мережі, здійснювати моніторинг у реальному часі, автоматичне реагування на аварійні ситуації і прогнозування технічного обслуговування.

Основні функції систем керування

- Запуск і зупинка дизельного двигуна. Керування пусковим процесом враховує попередній нагрів двигуна, підживлення палива, запуск стартером, а також контроль параметрів під час розгону.
- Регулювання напруги та частоти генератора. Важливо підтримувати стабільні параметри електроживлення, щоб уникнути пошкодження споживачів та забезпечити безперебійність роботи.
- Захист від аварійних режимів. Відстеження параметрів температури, тиску масла, рівня охолоджуючої рідини, перевантаження та коротких замикань, що забезпечує автоматичне відключення або сигналізацію.
- Автоматичне перемикання на резервне живлення. В разі відключення основного джерела живлення система керування запускає ДЕС та підключає її до навантаження, забезпечуючи безперебійність електропостачання.

- Моніторинг та діагностика. Сучасні системи можуть виводити інформацію про стан установки на пульт керування або віддалений сервер, що дозволяє здійснювати швидке реагування на неполадки.

Переваги сучасних електричних систем керування

- Висока надійність та безпека. Автоматичний контроль усіх параметрів знижує ризик аварійних ситуацій і пошкодження обладнання.
- Зручність експлуатації. Можливість дистанційного моніторингу, автоматичного запуску та зупинки значно полегшує роботу операторів.
- Гнучкість та масштабованість. Системи на базі ПЛК легко адаптуються до різних типів дизель-генераторів і вимог виробництва.
- Енергоефективність. Точне регулювання навантаження і параметрів генератора дозволяє оптимізувати споживання палива і зменшити експлуатаційні витрати.
- Інтеграція з іншими системами. Можливість взаємодії з системами управління підприємством, системами пожежної безпеки та іншими автоматизованими комплексами.

Недоліки та виклики

- Вартість впровадження. Сучасні системи керування на основі цифрових технологій вимагають значних капіталовкладень на обладнання та налаштування.
- Складність обслуговування. Потрібна наявність кваліфікованого персоналу для діагностики і ремонту електроніки та програмного забезпечення.
- Залежність від електроживлення. Для роботи складних систем керування потрібне стабільне живлення, що в окремих випадках може вимагати додаткових джерел енергії.
- Ризик кібербезпеки. При підключенні систем до мережі підприємства збільшується ризик несанкціонованого доступу та кіберзагроз.

Електричне виконання систем керування дизельних електростанцій постійно розвивається, рухаючись у бік більшої автоматизації, надійності та

інтеграції з іншими технологіями. Вибір конкретної системи залежить від потужності установки, специфіки виробництва, вимог до безпеки і бюджету. Правильне проектування та експлуатація систем керування значно підвищує ефективність роботи ДЕС, зменшує ризики аварій і забезпечує стабільне електропостачання споживачів.

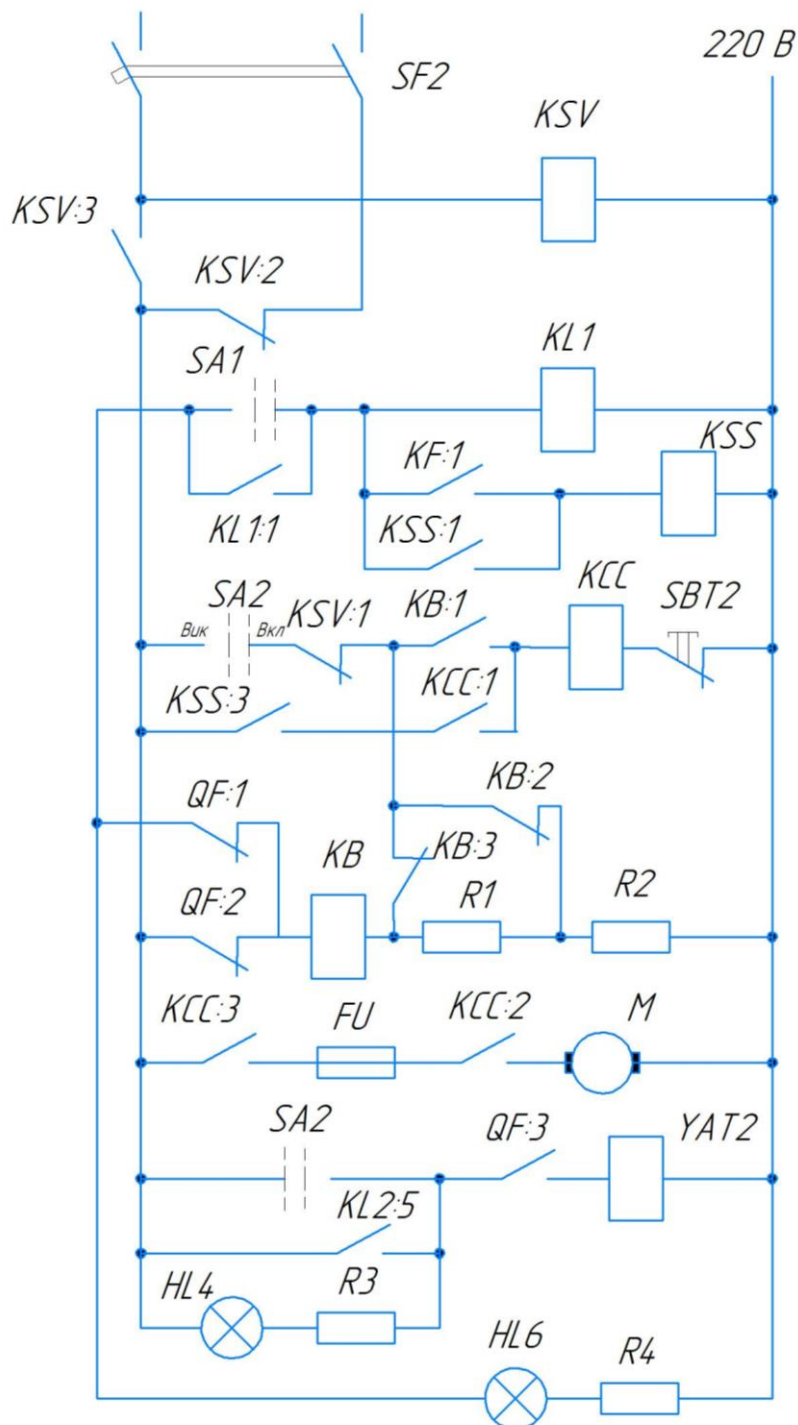


Рисунок 3.2 – Принципова схема керування генератором ДЕС

Для нормального запуску дизельного двигуна необхідно повернути перемикач SA1 (аркуші 2–5) у положення "Більше". Це приводить до увімкнення електродвигуна M1, який переміщує рейку паливного насоса до проміжного положення, що відповідає проміжній частоті обертання вала дизеля. Під час цього процесу загоряється індикаторна лампочка HL1. Коли рейка досягає заданої позиції, спрацьовує мікрореле SQ2, який відключає двигун M1, а лампочка HL1 гасне.

Далі натисканням кнопки SBC2 замикається коло контактора KM2, що запускає маслоперекачувальний насос M2. Коли тиск масла в системі досягає встановленого значення, визначеного датчиком тиску масла SP1:2, цей датчик замикає кола живлення лампочки HL2 та реле KM1. Реле KM1 своїми контактами замкне ланцюг пускового стартера, що забезпечує запуск дизеля.

Після запуску, отримавши імпульс від зарядного генератора, замикається коло реле KV1: лампочка HL2 гасне, а HL3 загоряється. Двигун працює на проміжній частоті обертання, прогріваючись до робочої температури. Коли датчик температури води BK1:1 фіксує досягнення робочої температури, він розмикає коло лампочки HL3, яка гасне, а його замикаючі контакти BK1:2 шунтують мікрореле SQ2.

Після цього перемикач SA1 знову переводять у положення "Більше", що знову запускає електродвигун M1, і лампочка HL1 знову загоряється. Електродвигун M1 вимикається, коли контакти мікрореле, налаштованого на максимальну частоту обертання холостого ходу, замкнуться, при цьому лампочка HL1 гасне.

3.3.2 Запуск генератора на роботу в автономному режимі

Після запуску двигуна і його прогрівання на холостому ходу протягом 10 хвилин, частоту обертання поступово підвищують до 50 c^{-1} , після чого починають збуджувати генератор. За допомогою шунтового реостата встановлюють номінальну напругу, контролюючи її за допомогою вольтметра,

і включають генератор. Навантаження плавно збільшують до 75% від номінального значення. Переконавшись у справній роботі систем охолодження води і масла, через 15 хвилин навантаження доводять до повного номіналу.

При увімкненні вимикача SF2 активується реле блокування КВ, яке замкне контакт КВ1:1, готуючи схему до запуску електродвигуна. Перемикач SV переводять у положення «Автономна робота». Стабілізація напруги здійснюється за допомогою статичної системи збудження генератора. Коли генератор розкручується і досягає номінальної частоти обертання, натискають кнопку SBC1, що подає початкове збудження від акумуляторної батареї на обмотку ротора. За допомогою резистора RR1 встановлюють потрібну напругу. Потім перемикач SA2 переводять у положення «Ввімкнено», що замкне коло реле КСС. Реле, спрацювавши, активує контакти, які вмикають електродвигун приводу автомата; при цьому загоряється лампочка HL4.

3.3.3 Вмикання генераторів на паралельну роботу

Паралельне підключення генераторів значно підвищує надійність електропостачання споживачів та покращує економічність роботи дизельних електростанцій (ДЕС). Крім того, це дозволяє зменшити коливання напруги і частоти під час змін навантаження. Існує два основні методи підключення генераторів у паралель: точна синхронізація та самосинхронізація.

При точній синхронізації необхідно виконати такі кроки:

- Відрегулювати частоту обертання генератора, який планується підключити, щоб вона відповідала частоті вже працюючого генератора або електричної мережі. Для цього використовують частотомір.
- Встановити рівень збудження генератора так, щоб амплітудні значення його напруги та напруги працюючого джерела живлення (мережі) збігалися, що контролюється вольтметрами.

- Включити генератор у роботу в момент, коли вектори напруг обох генераторів або генератора і мережі співпадають, за допомогою синхроскопа.

Якщо ці умови дотримані, генератор підключається без різких стрибків струму, без короточасних провалів напруги та без виникнення врівноважувальних струмів.

Суть процесу полягає в тому, що генератор перед замиканням контактів вимикача обертається з певною змінною кутовою частотою, і замикання може статися під деяким кутом зсуву фаз δ_0 (див. рис. 1).

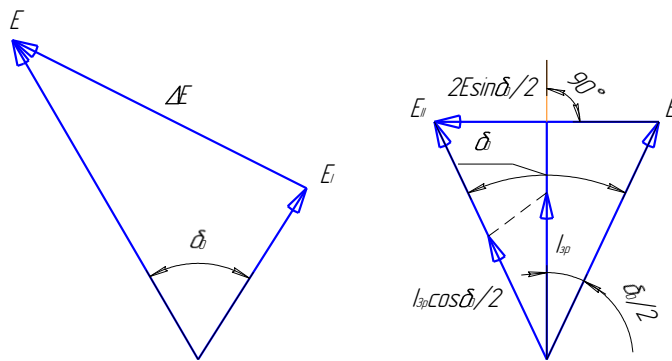


Рисунок 3.3 - Векторні діаграми збудженого синхронного генератора ДЕС при вмиканні на паралельну роботу:

а - $E''_{dr} \neq U_c$; б - $E''_{dr} = U_c$

Амплітудне значення зрівнювального струму в момент замикання контактів вимикача при $E''_{dr} \neq U_c$

$$i_{y\partial} = \frac{\sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot \Delta E}{x_d + x_c} \quad (3.1)$$

де $i_{уд}$ - амплітуда ударного струму при несинхронному вмиканні генератора;

ΔE - геометрична різниця між ЕРС генератора, зумовленою надперехідним індуктивним опором по поздовжній осі, і напругою мережі;

x_d, x_c - відповідно надперехідний опір генератора і еквівалентний опір системи;

$1,8$ - коефіцієнт, який враховує наявність періодичної складової струму;

$2^{0.5}$ - коефіцієнт, який визначає амплітудне значення періодичної складової струму;

δ_0 - кут зсуву фаз між напругою генератора та напругою мережі.

При методі самосинхронізації за допомогою первинного двигуна частота обертання генератора встановлюється в межах близьких до синхронної, з допустимим відхиленням $\pm 2\%$. Спочатку генератор підключають до мережі в стані без збудження, після чого подають збудження, що дозволяє агрегату поступово увійти у синхронний режим роботи. Цей спосіб має кілька переваг: швидкість підключення значно вища, схема автоматичного керування спрощена, можливий запуск генератора навіть при нестабільній чи зниженій напрузі в мережі, а також передбачено автоматичне відновлення подачі напруги у разі її зникнення. До мінусів відносять виникнення імпульсного зрівнювального струму під час підключення незбудженого генератора, а також короткочасне падіння напруги у мережі, однак це практично не позначається на якості живлення споживачів.

Для організації паралельної роботи генераторів перемикач SV встановлюють у режим "Паралельна робота". Після запуску дизельного двигуна за допомогою резистора RR1 встановлюють напругу генератора, рівну напрузі мережі, при цьому генератор має залишатися незбудженим — для цього вмикають вимикач SA5, який шунтує обмотку збудження. Коли напруга на генераторі опускається до залишкового рівня, перемикач SA1 переводять у положення "Більше", що дає команду на включення автоматичного вимикача QF. Активується реле KL1, яке самозатримується і замкне коло реле KF, призначеного для контролю різниці частот. Як тільки обертова частота генератора наближається до синхронної, реле KF спрацює і запускає проміжне реле KSS, що відповідає за самосинхронізацію.

Реле KSS своєю чергою вмикає привід електродвигуна автоматичного вимикача генератора, який підключає генератор до мережі в незбудженому

стані, оскільки обмотка збудження тимчасово замкнена накоротко контактами контактора КМ автомата гасіння поля (АГП). Після активації АГП контактор КМ відключається, розмикаючи ланцюг шунтування обмотки збудження, що дозволяє генератору збуджуватися та увійти в синхронний режим роботи. Про це сигналізує включення лампочки HL4. Після цього перемикач SA6 ставлять у положення "Швидко" для плавного нарощування навантаження на генератор.

3.3.4 Зупинка ДЕС

Перед вимкненням генератора навантаження з нього слід поступово зняти. Потім за допомогою шунтового реостата, обертаючи ручку проти годинникової стрілки, збільшують опір у колі збудження, що призводить до зниження напруги до мінімального рівня. Лише після цього можна безпечно зупиняти генератор.

Для коректної зупинки дизельної електростанції необхідно виконати такі дії: спочатку перевести перемикач SA2 у положення "Включено", щоб відключити автоматичний вимикач QF генератора. Далі перемикач SA1 слід встановити у положення "Менше", що призведе до замикання ланцюга обмотки електродвигуна М1 на ліве обертання. Внаслідок цього рейка паливного насоса зміститься в положення, яке відповідає проміжній частоті обертання дизельного двигуна.

Двигун продовжить охолоджуватися до температури, встановленої датчиком ВК1:4. Коли ця температура досягнеться, датчик розмикає ланцюг лампочки HL5 і одночасно шунтує перемикач SQ2:2. Після цього повторне переключення SA1 переводить рейку в нульове положення, що відповідає повній зупинці електродвигуна. Заключним кроком є вимкнення електродвигуна М1 через вимикач SQ1, після чого дизельний двигун повністю зупиняється.

3.3.5 Захист і сигналізація

Живлення схеми здійснюється через автоматичний вимикач QF1. Коли датчик контролюваного параметра фіксує аварійну ситуацію, спрацьовує вихідне реле захисту KL2, яке вмикає відповідне індикаційне реле. Контакт KL2:4 активує ланцюг, що живить табло з написом «Аварія» та звуковий сигналізатор (за умови, що вимикач SA4 увімкнений). Водночас контакт KL2:3 замикає ланцюг незалежного розчіплювача автоматичного вимикача, призводячи до його вимкнення.

3.4 Контроль за роботою ДЕС

Під час експлуатації дизельного двигуна слід регулярно контролювати стан приладів — температуру масла і охолоджувальної рідини, тиск масла, а також забезпечення мастила рухомих частин і працездатність датчиків. Не рідше двох разів за зміну необхідно перевіряти рівень масла в маслянках і підшипниках з циркуляційним змащенням та за потреби його доповнювати. Витратні баки потрібно своєчасно заправляти паливом, а не менше одного разу за зміну зливати осілу воду і забруднення. Важливо також уважно слідкувати за відсутністю сторонніх шумів чи ударів у роботі двигуна. Паливні фільтри повинні очищатися не рідше ніж раз на квартал, а масляні фільтри низького тиску — відповідно до рекомендацій виробника. Якщо система не автоматизована, слід регулярно контролювати і при потребі регулювати частоту обертання двигуна.

Щодо генератора, слід постійно стежити за показниками амперметрів, вольтметрів і ватметрів. Допустиме перевантаження за струмом не повинно перевищувати 10%, а дисбаланс по струму протягом години — 25% від номінального значення статора. Температура активної сталі та обмоток генератора має бути не більше ніж на 65°C вища за температуру навколишнього середовища, а підшипників — не більше ніж на 45°C.

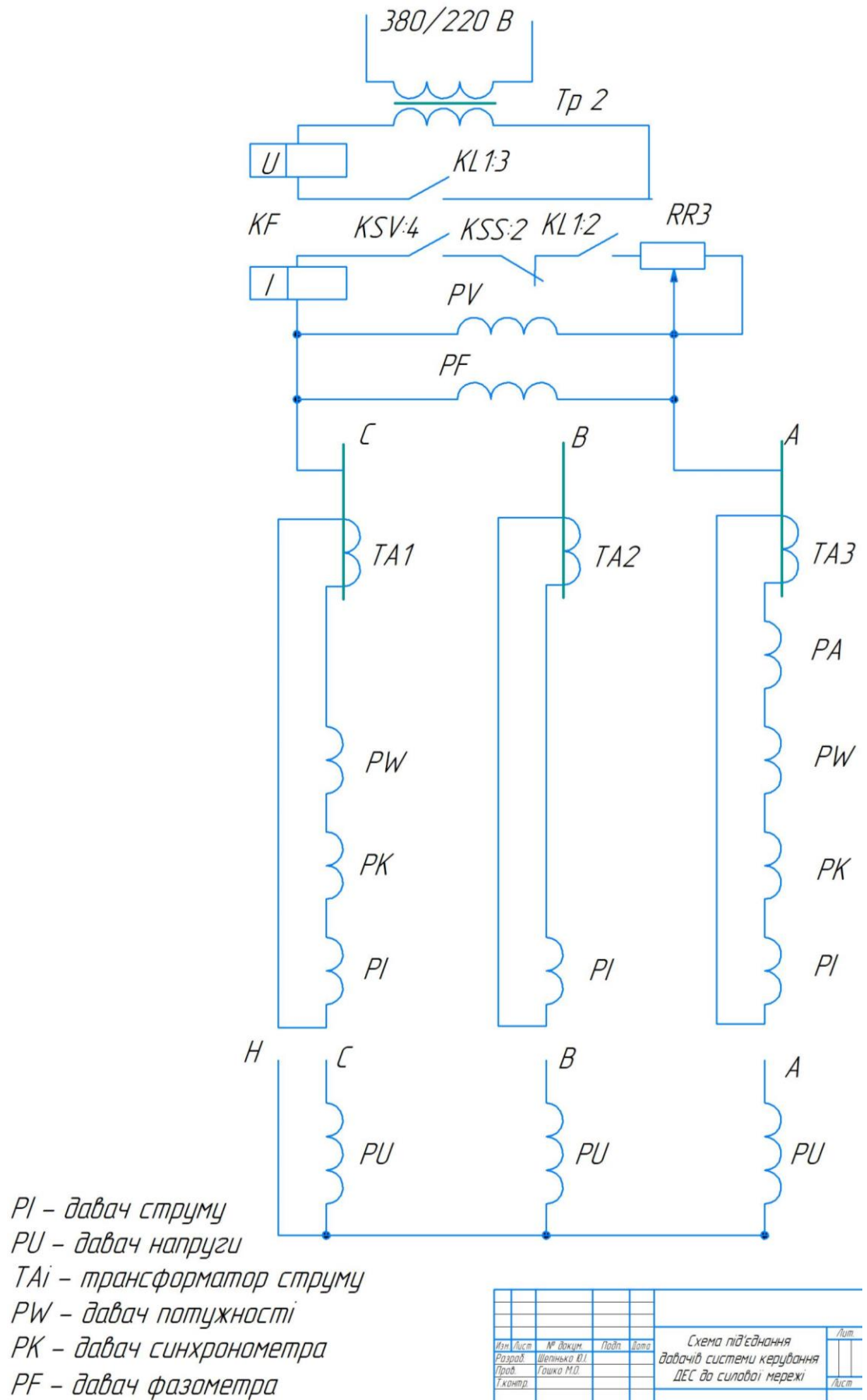


Рисунок 3.4 – Принципова схема керування дизельним двигуном ДЕС

рівномірно розподіляти навантаження між генераторами, що працюють паралельно. Також необхідно контролювати покази приладів ізоляції, уважно слідкувати за аварійними і попереджувальними сигналами та усувати всі відхилення у роботі. Окрім того, періодично перевіряйте генератор на вібрації дотиком. Під час роботи дизель-електричної станції слід оглядати щити і панелі власного електропостачання, обладнання збудження та силові електричні пристрої.

3.5 Компенсація реактивної потужності

Основним показником електричної енергії, що безпосередньо визначає якість і ефективність її передачі, є коефіцієнт потужності — косинус кута зсуву фаз між струмом і напругою. При однаковому рівні споживаної активної потужності струми при низькому $\cos\varphi$ будуть значно більшими порівняно з випадком більш високого $\cos\varphi$. Відповідно, збільшення струму призводить до зростання втрат енергії через теплове нагрівання проводів, причому залежність цих втрат від $\cos\varphi$ має обернено-квадратичний характер. Тому підвищення коефіцієнта потужності є критично важливим. Хоча відстань між генератором і споживачами невелика, і через це втрати в лініях через реактивні струми відносно малі, низький коефіцієнт потужності негативно впливає на роботу генератора, знижуючи його ККД. Аналіз розрахунків навантаження цеху показує, що $\cos\varphi$ має вкрай низьке значення, що зумовлює необхідність застосування заходів для його підвищення за допомогою компенсації.

3.5.1 Розрахунок компенсаційної установки та вибір конденсаторів

Розрахунок компенсаційної установки виконується для визначення необхідних характеристик конденсаторів — їхньої кількості, номінальної напруги та схеми з'єднання.

Спершу встановлюємо номінальну напругу конденсаторів. Оскільки планується підключення їх паралельно в мережу з напругою 0,38 кВ за схемою

«трикутника», приймаємо $U_H=380$ В. Наступним кроком є визначення реактивної потужності установки. Її вибір базується на різниці між коефіцієнтом реактивної потужності до компенсації та цільовим значенням після компенсації. Щоб уникнути перекомпенсації і з технічних міркувань, обираю мінімально допустиме значення $\text{tg}\varphi_1 = 0,15$. Раніше розраховані коефіцієнти реактивної потужності для максимальних і мінімальних навантажень становлять $\text{tg}\varphi_{\min} = 0,62$ для і $\text{tg}\varphi_{\max} = 0,43$.

Уся реактивна потужність компенсаційної установки розподіляється на нерегульовану і регульовану частини. Спочатку розрахуємо нерегульовану реактивну потужність:

$$Q_{H.P.} = (\text{tg}\varphi_{\min} - \text{tg}\varphi_1) \cdot P_{\min}, \text{ кВАр}; \quad (3.1)$$

$$Q_{H.P.} = (0,62 - 0,15) \cdot 24,8 = 11, \text{ кВАр}.$$

Наступним кроком є розрахунок загальної потужності установки:

$$Q_{3AG.} = (\text{tg}\varphi_{\max} - \text{tg}\varphi_1) \cdot P_{\max}, \text{ кВАр}; \quad (3.2)$$

$$Q_{3AG.} = (0,43 - 0,15) \cdot 112,2 = 30,8, \text{ кВАр}.$$

Тепер рахуємо регульовану потужність:

$$Q_{P.} = Q_{3AG.} - Q_{H.P.}, \text{ кВАр}; \quad (3.3)$$

$$Q_{P.} = 30,8 - 11 = 19,8, \text{ кВАр}.$$

Для компенсації нерегульованої реактивної потужності використаємо конденсатори типу КМ-0,38-13 з номінальною потужністю 13 кВт кожен. Водночас необхідно переконатися, що не виникне ситуації перекомпенсації. Для цього розрахуємо індуктивну реактивну потужність споживачів при мінімальному навантаженні:

$$Q_{\min} = P_{\min} \cdot \text{tg}\varphi_{\min}, \text{ кВАр}; \quad (3.4)$$

$$Q_{\min} = 24,8 \cdot 0,62_{\min} = 15,4, \text{ кВАр}.$$

Оскільки $Q_{\min} > 13$, то перекомпенсації не буде.

Регульовану реактивну потужність слід розподілити між двома секціями конденсаторної батареї з метою двоступеневого регулювання, прагнучи, щоб їх сумарна потужність максимально наблизилася до необхідного значення Q_r . В результаті було обрано два конденсатори типу КМ-0,38-8, кожен потужністю 8 кВАр, що дає загальну регульовану потужність 16 кВАр. Тепер виконаємо перевірку коефіцієнта потужності після компенсації за максимального навантаження, при якому сумарна реактивна потужність установки дорівнює $-Q_{\text{заг.}}^I = 29$ кВАр):

$$\cos \varphi = \cos(\arctg(\frac{Q_M - Q_{\text{заг.}}^I}{P_M})) ; \quad (3.5)$$

$$\cos \varphi = \cos(\arctg(\frac{48,3 - 29}{112,2})) = 0,99$$

Отже, кожна фаза конденсаторної батареї включає три конденсатори — С, С1 і С2 — номінальною потужністю відповідно 13, 8 та 8 кВАр.

Після відключення конденсаторної установки від мережі через збереження електричного заряду на пластинах конденсаторів на шинах батареї може залишатися напруга, близька до мережевої. Оскільки природне розрядження конденсаторів відбувається дуже повільно, при повторному ввімкненні нерозрядженої батареї напруга на її клеммах може підскочити майже вдвічі, що призведе до значного імпульсного струму.

Для забезпечення безпеки при роботі з відключеними конденсаторами передбачено автоматичне їх розрядження після вимкнення, що знижує напругу на клеммах до нуля.

Швидке розрядження досягається за допомогою розрядних ламп або індуктивних опорів, підключених паралельно до конденсаторів.

Опір розрядного елемента (в омах) визначають за формулою:

$$R = 15 \frac{U_{\phi}^2}{Q_{\text{ку}}} \cdot 10^6, \text{ Ом}; \quad (3.6)$$

$$R = 15 \frac{0,22^2}{13 + 8 + 8} \cdot 10^6 = 25034, \text{ Ом}.$$

де U_{ϕ} - фазна напруга мережі, кВ;

$Q_{\text{кв}}$ - реактивна потужність конденсаторної установки, квар.

Розрядний опір зазвичай підбирають таким чином, щоб втрати активної потужності при номінальній напрузі не перевищували 1 Вт на кожен 1 кВАр потужності конденсаторної батареї.

Розрядні опори можуть підключатися за схемами зірки, трикутника або відкритого трикутника. Однак схема з'єднання у вигляді трикутника має перевагу над зірковою, бо при обриві одного з опорних елементів решта опор утворюють коло відкритого трикутника, що забезпечує збереження можливості розряду для всіх трьох фаз батареї.

У мережах з напругою 380 В для ролі розрядних опор часто використовують лампи розжарювання, з'єднані послідовно по кілька штук у кожній фазі за схемою трикутника. В установках з напругою 6–10 кВ застосовують два однофазні трансформатори напруги, з'єднані за схемою відкритого трикутника.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Засоби захисту від ураження електричним струмом

Безпека електроустановок забезпечується комплексом заходів, які включають:

- Проектування та монтаж електроустановок у суворій відповідності до Правил пристрою електроустановок, будівельних норм, галузевих стандартів і інших нормативних документів, які містять обов'язкові вимоги щодо забезпечення електробезпеки.
- Неухильне дотримання правил технічної експлуатації та заходів безпеки, включно з використанням засобів індивідуального захисту, таких як ізолюючі штанги, кліщі, індикатори напруги, діелектричні рукавички та калоші.
- Впровадження безпечної конструкції електрообладнання — застосування закритих корпусів, блокувальних пристроїв, додаткової ізоляції тощо.

Вимоги до рівня захисту залежать від кількох чинників:

- Типу об'єкта (підстанції, промислові підприємства, житлові будинки, окремі приміщення, електроприміщення, тваринницькі будівлі тощо);
- Рівня напруги мережі та способу заземлення нейтралі (ізольована або глухозаземлена);
- Умов навколишнього середовища (наявність підвищеної пожежної або вибухонебезпеки);
- Категорії осіб, що можуть контактувати з електроустановками (персонал, діти, тварини);
- Призначення обладнання (стаціонарне, переносне, спеціалізоване, дитячі іграшки, медичне тощо).

Статистика свідчить, що основною причиною уражень електричним струмом є безпосередній контакт з частинами, що знаходяться під напругою.

Для зниження ризику таких травм застосовують надійні огорожувальні заходи — використання закритих корпусів апаратів і приладів, закритих комплектних пристроїв, суцільних огорож, а також блокувальних механізмів, які обмежують доступ до струмоведучих елементів. Незважаючи на це, струмоведучі частини можуть залишатися потенційно доступними для обслуговуючого персоналу, тому надзвичайно важливо суворо дотримуватися правил безпеки під час експлуатації.

Запобігання ураженню від випадкового дотику до корпусів або конструкцій, що стали під напругою через пошкодження ізоляції, досягається за допомогою:

- Організації захисного заземлення — штучного металевого зв'язку корпусів і конструкцій із землею через спеціальні заземлювачі (металеві труби, стрижні, смуги), які забезпечують безпечний відвід струму пошкодження.
- Вирівнювання потенціалів — заходу, що усуває різницю потенціалів між різними металевими частинами установки, і є невід'ємною складовою комплексного захисту, що доповнює заземлення і занулення.
- Використання систем швидкого захисного відключення, які при виникненні однофазного замикання на землю або корпус забезпечують оперативне відключення живлення (протягом 0,05–0,2 с), що суттєво знижує ризик травмування.
- Ізоляції від землі — застосування ізолюючих майданчиків для безпечного виконання ремонтних робіт та обслуговування обладнання, корпуси або струмоведучі частини якого перебувають під напругою.

Останнім часом все ширше застосовується «подвійна ізоляція» — конструктивне рішення, коли корпуси електрообладнання виконані з ізолюючих матеріалів або оснащені додатковими ізоляційними вставками, що виключають потребу в заземленні. Подвійна ізоляція надійно захищає користувача, але потребує регулярного контролю стану ізоляції, оскільки її ефективність залежить від механічної міцності покриттів і умов експлуатації.

- Використання низької напруги (до 42 В) для переносного обладнання, місцевого освітлення, дитячих іграшок тощо, що значно зменшує ризик ураження навіть при контакті зі струмоведучими частинами, проте обмежується невеликою потужністю споживачів.
- Підключення електроприймачів через розділювальні трансформатори або перетворювачі (двигун-генератори) з метою ізоляції від потенційно небезпечних станів первинної мережі.

Окрім цього, для окремих установок передбачені спеціалізовані заходи захисту, які враховують особливі умови експлуатації — наприклад, захист від електромагнітних полів, статичної електрики або різних видів випромінювання.

Класифікація приміщень за рівнем небезпеки ураження електричним струмом визначається за кількома факторами: вологістю, наявністю струмопровідного пилу, температурним режимом, провідністю підлоги, а також присутністю металевих елементів, з'єднаних із землею.

Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення поділяються за рівнем електробезпеки на кілька категорій:

1. Приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю принаймні однієї з таких умов:

- підвищена вологість або наявність провідного пилу;
- підвищена температура;
- струмопровідне покриття підлоги;
- можливість одночасного контакту людини з металевими корпусами електрообладнання та металоконструкціями будівель або технологічним обладнанням, заземленими на землю.

2. Особливо небезпечні приміщення, що відзначаються однією або кількома з таких обставин:

- надмірна вологість;
- агресивне хімічне середовище;
- одночасна присутність двох і більше факторів, які підсилюють ризик.

3. Приміщення без підвищеного ризику — це сухі кімнати з температурою повітря не вище $+30^{\circ}\text{C}$, не містять струмопровідного пилу, мають неструмопровідну підлогу, а також виключають можливість одночасного дотику до заземлених металоконструкцій і корпусів електрообладнання.

Крім того, у ПУЕ подається класифікація приміщень за типом навколишнього середовища:

- Сухі — відносна вологість не перевищує 60%;
- Вологі — відносна вологість знаходиться в межах від 60% до 75%;
- Надвологі — вологість понад 75% протягом тривалого часу;
- Особливо вологі — вологість близько 100%;
- Жаркі — температура повітря довготривало перевищує $+30^{\circ}\text{C}$;
- Запилені — присутність технологічного пилу в такій кількості, що він осідає на проводах і проникає в механізми апаратів;
- Приміщення з хімічно активним середовищем — виробничі умови, при яких у повітрі постійно або тривалий час знаходяться агресивні пари або осадки, що руйнують ізоляцію та струмоведучі частини обладнання;
- Нормальні — сухі, не жаркі, не запилені та без хімічно активного впливу.

Особисто я вважаю, що ремонтний цех тролейбусного депо можна віднести до категорії нормальних приміщень. Проте, незважаючи на це, слід обов'язково застосовувати всі необхідні заходи для захисту від ураження електричним струмом, аби гарантувати безпеку працівників.

4.2. Розрахунок заземлюючого пристрою

Для забезпечення заземлення технологічного обладнання ремонтного цеху КП «Львівелектротранс» планується монтаж шини захисного заземлення, яка буде підключена до заземлювального контуру за допомогою ізольованого мідного кабелю з перетином 16 мм^2 . Допустимий опір захисного заземлення,

визначений за двохелектродною методикою вимірювань на будь-якій ділянці металевих неструмопровідних конструкцій, не повинен перевищувати 4 Ом.

Для проведення розрахунку опору заземлювального пристрою насамперед необхідно встановити питомий опір ґрунту. У цьому випадку ґрунт представлений суглинком з питомим опором:

$$\rho = 100, \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Опір розтіканню одиночного кабеля:

$$R_{O.K.}^I = 2,1, \text{ Ом.}$$

Перерахуємо цей опір, врахувавши коефіцієнт сезонності для III кліматичної зони:

$$R_{O.K.} = K_C \cdot R_{O.K.}^I, \text{ Ом;} \quad (6.1)$$

$$R_{O.K.} = 2 \cdot 2,1 = 4,2, \text{ Ом,}$$

де K_C – коефіцієнт сезонності для певної кліматичної зони.

Розрахунковий опір розтіканню штучного заземлювача:

$$R_{POЗP.} = \frac{R_{O.K.} \cdot R_O}{R_{O.K.} + R_O}, \text{ Ом;} \quad (6.2)$$

$$R_{POЗP.} = \frac{4,2 \cdot 4}{4,2 + 4} = 2,05, \text{ Ом.}$$

Заземлювальний пристрій приймається у вигляді замкнутого контуру, що складається з шести вертикальних стержнів із куточка розміром $32 \times 32 \times 5$ мм і довжиною 3 метри. Вони розташовані на відстані 3 метри один від одного і з'єднані сталевією круглою смугою діаметром 12 мм, прокладеною на глибині 70 см.

Визначимо опір розтіканню одного стержня:

$$R_1 = 0,44 \cdot \rho \cdot K_C, \text{ Ом;} \quad (6.3)$$

$$R_1 = 0,44 \cdot 100 \cdot 2 = 88, \text{ Ом.}$$

Приймаємо довжину горизонтального заземлювача $l = 15$ м і визначаємо опір розтіканню:

$$R_2 = \frac{0.366}{l} \cdot \rho \cdot K_c \cdot \lg \frac{2l}{d \cdot t}, \text{ Ом}; \quad (6.4)$$

$$R_2 = \frac{0.366}{1500} \cdot 10000 \cdot 2 \cdot \lg \frac{2 \cdot 1500^2}{1.2 \cdot 70} = 23, \text{ Ом.}$$

Беручи до уваги ефект екранування між круглою смугою та вертикальними стержнями, коефіцієнт використання горизонтального заземлювача приймаємо рівним $\eta=0,38$. Виходячи з цього, обчислюємо фактичний опір горизонтального заземлювача за формулою:

$$R_o = \frac{R_2}{\eta}, \text{ Ом}; \quad (6.5)$$

$$R_o = \frac{23}{0,38} = 60,5, \text{ Ом.}$$

Загальний опір заземлювача буде рівним:

$$R = \frac{R_{PO3P} \cdot R_o}{R_{PO3P} - R_o}, \text{ Ом}; \quad (6.6)$$

$$R = \frac{2,05 \cdot 60,5}{2,05 - 60,5} = 2,12, \text{ Ом.}$$

Обчислений опір заземлювача відповідає вимогам нормативних стандартів, тому цей заземлювальний пристрій може бути безпечно використаний в експлуатації.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Середня потужність споживачів цеху:

$$P = 74 \text{ кВт.}$$

Пропускна здатність мережі, яка живить цех:

$$S = 95 \text{ кВА.}$$

Мінімальне значення коефіцієнта потужності, що враховує пропускну здатність мережі та енергетичні потреби споживачів ремонтного цеху в умовах номінального режиму роботи, становить:

$$\cos \varphi = \frac{74}{95} = 0,79$$

Річне споживання електроенергії:

$$W_p = 148781 \text{ кВт·год.}$$

Річні втрати електроенергії у внутрішній мережі, що живить цех, наведені в узагальненому вигляді у таблиці 3, де зібрано основні техніко-економічні показники.

Таблиця 5.1 - Техніко-економічні показники ремонтного цеху
«Львівелектротранс»

Показники	Одиниці виміру	Значення
Середня потужність споживачів цеху	кВт	74
Пропускна здатність мережі	кВА	95
Мінімальний коефіцієнт потужності		0,79
Річне споживання електроенергії	кВт·год.	148781
Те саме в процентах від річного споживання	%	2,46
Річні втрати електроенергії	кВт·год.	4738
Те саме в процентах від річного споживання	%	3,2
Загальна вартість спожитої за рік енергії (9грн./кВт·год)	грн.	1339029

Вартість дизельної електростанції – 705000 грн.

Передбачувана кількість робочих годин в році ДЕС – 150 год.

Ресурс ДЕС до капітального ремонту передбачений заводом виробником $T_p = 10000$ год.

Амортизаційні відрахування:

$$A = B \cdot \frac{T}{T_p}, \text{ грн/рік};$$

$$A = 705000 \cdot 150 / 10000 = 10575 \text{ грн/рік}.$$

Експлуатаційні відрахування визначаються емпірично, за умови, що установка експлуатується належним чином.

$$E = B \cdot 15\%, \text{ грн/рік};$$

$$E = 705000 \cdot 0.15 = 105750 \text{ грн/рік}.$$

Затрати на пальне:

$$\Pi = T \cdot G \cdot B_G, \text{ грн/рік},$$

де G – годинна витрата пального; для даного ДВЗ $G = 9.91$ л/год;

B_G – вартість пального (соляри), приймаємо $B_G = 56$ грн/л.

$$\Pi = 150 \cdot 9.91 \cdot 56 = 83244 \text{ грн/рік}.$$

Кількість виробленої ДЕС енергії:

$$W = P \cdot T, \text{ кВт год};$$

$$W = 80 \cdot 150 = 12000 \text{ кВт год}$$

Вартість виробленої енергії:

$$B_w = \frac{A + E + \Pi}{W}, \text{ грн/кВт год};$$

$$B = (10575 + 105750 + 83244) / 12000 = 16.6 \text{ грн/кВт год}.$$

Вартість цієї електроенергії вища у 2 раз за ціну енергії, що надходить з основної мережі. Проте з економічної точки зору виправдано використовувати саме цей ресурс у випадках, коли основна мережа пошкоджена аварійно, вимкнена для профілактичних робіт або не здатна забезпечити необхідну для виробництва потужність. В періоди простою підприємство ризикує понести значно більші збитки, ніж ті, що виникають через підвищену вартість електроенергії.

Висновок

У даній роботі було детально досліджено систему електропостачання виробничого цеху КП «Львівелектротранс», розташованого у м. Львові на вулиці Тролейбусній.

З метою забезпечення безперервної роботи підприємства запропоновано впровадити резервне живлення, що дозволить уникнути простоїв у разі аварійних ситуацій або технічного обслуговування основної мережі. Крім того, було розроблено та проаналізовано компенсаційну установку для підвищення коефіцієнта потужності споживачів електроенергії, що сприятиме більш ефективному використанню електричної енергії та зниженню витрат.

В проекті також проведено розрахунки і оцінку системи заземлення та блискавкозахисту цеху, що гарантують безпеку персоналу та надійність експлуатації обладнання.

Було вбрано електро-дизельну установку Konner&Sohnen KS 110-3BE з номінальною потужністю 80кВт, з напругою 380В, середня втрата палва становить 9.91 л/год, вартість ДЕС становить 705000грн.

Вартість електроенергії від ДЕС становить 16.6 грн/кВт год і вища у 2 раз за ціну енергії з мережі, що надходить з основної мережі (9грн./кВт·год).

Проведений аналіз техніко-економічних показників підтвердив доцільність і ефективність запропонованих рішень, що забезпечують стабільність та безперервність роботи виробництва при оптимальних витратах.

Список джерел посилання

1. Алексеев Б.А. Міжнародна конференція по вітроенергетиці / Електричні станції. 1996. №2.
2. Безруких П.П. Економічні проблеми нетрадиційної енергетики / Енергія: Екон., техн., екол. 1995. №8.
3. Богуславский Е.И., Виссарионов В.И., Елистратов В.В., Кузнецов М.В. Умови ефективності і комплексного використання геотермальної сонячної і вітрової енергії // Міжнародний симпозіум "Паливно-енергетичні ресурси країн СНД". Київ, 1995.
4. Дьяков А.Ф., Прокурорів Н.С., Перминов Е.М. Калмицька досвідчена вітрова електростанція / Електричні станції 1995. № 2.
5. Логинов В.Б. Новак Ю.И. Високоєфективні вітроенергетичні установки / Проблеми машинобудування й автоматизації. 1995. №1-8.
6. Селезньов И.С. Стан і перспективи робіт МКБ "Веселка" в області вітроенергетики / Конверсія в машинобудуванні. 1995. №5.
7. Соболев Я.Г. "Вітроенергетика" в умовах ринку (1992-1995 р.) / Енергія: Екон., техн. екол. 1995. №11.
8. Ципльонков П. С. Організація і планування електрифікації сільськогосподарського виробництва / П. С. Ципльонков. – К. : Вища школа 1980. – 544 с.
9. Романюк Ю. В. Електричні системи та мережі : навч. посіб. / Ю. В. Романюк. – Івано-Франківськ : Факел, 1997. – 248 с.
10. Саенко, Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання і нелінійним навантаженням / Ю. Л. Саенко// Автореф. дис. на здобуття наук, ступеня д-ра техн. наук, спец. 05.09.05 - теоретична електротехніка, НУ «Львівська політехніка», Львів, 2003.– 36 с.
11. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник / М. С. Сегеда. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007.– 488 с
12. Костін, М. О. Миттєва реактивна потужність у системах електричного транспорту постійною струму / М. О. Костін, О. І. Саблін, О. Г. Шейкіна,

- А. В. Петров // Гірничі електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб., 2007. – С. 3-8.
13. Щербина О. Енергія для всіх : технічний довідник / О. Щербина – Ужгород, вид-во В. Падяка, 2000. – 200 с.
14. Якимець В. Т. Методичні рекомендації до дипломного проектування для студентів напрямку підготовки “Енергетика та електротехнічні системи в АПК” ОКР ”Бакалавр” / В. Т. Якимець, С. В. Сиротюк. – Львів: Львівський НАУ, 2009. – 40 с.
15. Добровольська Л. Н. Про стан автоматизації компенсувальних установок і перспективи їх оснащення пристроями нового технічного рівня / Л. Н. Добровольська, І. О. Віт, І. П. Сосенко // Промелектро : Пром. електроенергетика та електротехніка. – 2008. – № 4. – С. 26 – 30.