

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій**

ДОЦ., К.Т.Н. /ОКУШКО О.В./  
вчене звання і ступінь підпис  
” ” 2026 р.  
число місяць рік

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему: «ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ СЕРВІСНОГО ЦЕНТРУ З ВІДНОВЛЕННЯ  
СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ОБЛАДНАННЯ МОБІЛЬНОЇ  
ТЕХНІКИ»**

Спеціальність: 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код і назва)

**Гарант освітньої програми**

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Синявський О.Ю.

(ПІБ)

**Виконав**

Денисенко В.С..

(підпис)

(ПІБ)

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи**

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Сорокін Д.С.

(ПІБ)

**КИЇВ – 2026**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**Електротехніки, електромеханіки та**  
**електротехнологій**

К.Т.Н., доц. /ОКУШКО О.В./  
вчене звання і ступінь підпис  
„\_\_\_\_\_” 2026 р.  
число місяць рік

**З А В Д А Н Н Я**

**на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту**

**Денисенку Владиславу Сергійовичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність (напрямок підготовки): 141. “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: **«Проектні рішення з розроблення системи електроспоживання сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки»**

затверджена наказом ректора НУБіП України від

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра:

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра:

- а) Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- б) Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- в) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- г) ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення».
- д) ДСТУ та нормативні документи з енергозбереження, електробезпеки та пожежної безпеки.
- е) Технічні характеристики сучасного електротехнічного обладнання, систем резервного живлення, вентиляційних та освітлювальних установок.

Перелік питань, які потрібно розробити:

- а) Загальна характеристика сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки і аналіз існуючої системи електрозабезпечення.
- б) Розрахунок виробничих електричних навантажень та вибір технологічного електрообладнання сервісного центру.
- в) Електротехнічна частина проекту:
  - розрахунок та вибір електроприводів;
  - вибір апаратів керування та захисту;
  - розрахунок систем освітлення, вентиляції та водопостачання;

- вибір силової електропроводки;
  - розрахунок елементів системи електропостачання.
  - г) Спеціальне завдання: «Розроблення системи автоматизації та резервування електропостачання сервісного центру».
  - д) Заходи щодо підвищення енергоефективності та економії електроенергії при експлуатації електрообладнання сервісного центру.
  - е) Охорона праці, електробезпека та пожежна безпека при експлуатації електроустановок.
  - ж) Розрахунок захисного заземлення та заходи безпеки в аварійних режимах роботи.
- Висновки.  
Список використаних джерел.  
Додатки.

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 28.11.2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Сорокін Д.С.**  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Денисенко В.С.**  
(прізвище та ініціали студента)

[illegible]

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                                 | <b>9</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....</b>                                         | <b>12</b> |
| 1.1. Особливості електрозабезпечення сервісних центрів з відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки .....        | 12        |
| 1.2. Аналіз сучасних систем електропостачання та технологічних процесів сервісних центрів .....                                   | 14        |
| 1.3. Проблеми, перспективи та напрями модернізації систем електрозабезпечення .....                                               | 16        |
| <b>РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....</b>                                                                                        | <b>19</b> |
| 2.1. Загальна характеристика технологічного процесу відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки .....             | 19        |
| 2.2. Розрахунок виробничих навантажень та режимів роботи технологічного обладнання .....                                          | 22        |
| 2.3. Вибір технологічного обладнання та організація виробничого процесу .....                                                     | 24        |
| <b>РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА .....</b>                                                                                     | <b>26</b> |
| 3.1. Розрахунок електропривода робочої машини та розробка принципіальної електричної схеми і схеми з'єднань ящика керування ..... | 26        |
| 3.2. Вибір апаратів керування і захисту та низьковольтних комплектних пристроїв керування .....                                   | 28        |
| 3.3. Розрахунок системи вентиляції та вибір електротехнічного обладнання вентиляційних установок .....                            | 31        |
| 3.4. Розрахунок системи водопостачання виробничого об'єкта та вибір електротехнічного обладнання водонасосних установок .....     | 35        |
| 3.5. Вибір силової електропроводки виробничого приміщення та розробка плану силової електропроводки .....                         | 36        |
| 3.6. Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі, розробка плану освітлення та опромінення .....                  | 39        |
| 3.7. Вибір електронагрівальних та електротехнологічних установок .....                                                            | 42        |
| 3.8. Розрахунок і вибір елементів системи електропостачання виробничого об'єкта .....                                             | 46        |
| <b>РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАВЧАННЯ .....</b>                                                              | <b>48</b> |
| 4.1. Розроблення системи автоматизації та резервування електропостачання сервісного центру .....                                  | 48        |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2. Моделювання аварійних режимів роботи та аналіз надійності системи електрозабезпечення ..... | 51 |
| 4.3. Розроблення заходів підвищення надійності та безперервності електропостачання .....         | 52 |
| <b>РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....                                 | 54 |
| 5.1. Аналіз енергоспоживання та заходи з підвищення енергоефективності .....                     | 54 |
| 5.2. Використання відновлюваних джерел енергії у системі електрозабезпечення .....               | 56 |
| 5.3. Аналіз небезпечних факторів та вимоги електробезпеки на об'єкті ....                        | 58 |
| 5.4. Заходи з охорони праці та пожежної безпеки при експлуатації електрообладнання.....          | 59 |
| 5.5. Розрахунок захисного заземлення та заходи безпеки в аварійних ситуаціях .....               | 59 |
| <b>РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ</b> .....               | 61 |
| 6.1. Техніко-економічна оцінка модернізації системи електрозабезпечення .....                    | 61 |
| 6.2. Розрахунок економічної ефективності впровадження запропонованих рішень .....                | 62 |
| 6.3. Оцінка терміну окупності та економічної доцільності проєкту .....                           | 63 |
| <b>ВИСНОВКИ</b> .....                                                                            | 65 |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....                                                          | 67 |
| <b>ДОДАТКИ</b> .....                                                                             | 71 |

## ВСТУП

**Актуальність теми:** сучасний розвиток промисловості, транспортної інфраструктури та мобільної техніки супроводжується постійним зростанням потреб у надійному, безперебійному та енергоефективному електрозабезпеченні виробничих і сервісних підприємств. Особливе значення у цих процесах мають сервісні центри з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки, діяльність яких пов'язана з виконанням складних технологічних операцій, використанням енергоємного обладнання, проведенням діагностики, ремонту, випробувань та технічного обслуговування електричних машин, силових агрегатів, акумуляторних систем, електронних блоків керування та інших елементів сучасної техніки. У сучасних умовах експлуатація подібних об'єктів вимагає високого рівня надійності систем електропостачання, оскільки навіть короточасні перебої електроживлення можуть призводити до зупинки технологічних процесів, втрати даних діагностичних систем, пошкодження обладнання, економічних збитків та зниження ефективності виробничої діяльності.

Важливість модернізації систем електрозабезпечення особливо зростає в умовах активного впровадження високотехнологічного обладнання, автоматизованих систем керування, цифрових засобів моніторингу та відновлюваних джерел енергії. Значна частина існуючих систем електропостачання виробничих і сервісних об'єктів була спроектована без урахування сучасних навантажень, що призводить до перевантаження мереж, підвищених втрат електроенергії, зниження якості електроенергії та недостатнього рівня енергетичної ефективності. Саме тому модернізація електрозабезпечення сервісних центрів є одним із пріоритетних напрямів розвитку електроенергетичної галузі та промислової інфраструктури.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності підвищення надійності, безпеки та ефективності системи електропостачання сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки шляхом впровадження сучасних інженерних рішень, енергоефективного обладнання, автоматизованих систем контролю та елементів резервного електроживлення.

**Практична значущість роботи** полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення систем електропостачання сервісних підприємств, що здійснюють ремонт, обслуговування та відновлення силового електрообладнання і мобільної техніки. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані при реконструкції існуючих виробничих об'єктів, проектуванні нових сервісних центрів, а також під час впровадження енергоефективних технологій та систем резервного електроживлення.

**Об'єктом дослідження** є система електрозабезпечення сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки.

**Предметом дослідження** є процес модернізації системи електрозабезпечення сервісного центру, методи підвищення її надійності, енергоефективності та безпеки експлуатації.

**Метою кваліфікаційної роботи** є розроблення технічних та інжинірингових рішень щодо модернізації системи електрозабезпечення сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

- дослідити особливості електрозабезпечення сервісних центрів з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки, а також проаналізувати сучасні системи електропостачання і технологічні процеси таких об'єктів;
- визначити основні проблеми функціонування існуючих систем електрозабезпечення та обґрунтувати перспективні напрями їх модернізації;

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- охарактеризувати об'єкт дослідження, провести аналіз електричних навантажень та виконати розрахунок параметрів системи електропостачання із вибором сучасного електрообладнання;
- здійснити моделювання режимів роботи системи електрозабезпечення та оцінити ефективність її функціонування;
- розробити концепцію модернізації системи електрозабезпечення сервісного центру, запропонувати технічні рішення для підвищення надійності електропостачання, автоматизації та резервування електрообладнання;
- розробити заходи з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та забезпечення безпечної експлуатації електроустановок;
- дослідити можливості підвищення енергоефективності системи електрозабезпечення, оцінити ефективність використання відновлюваних джерел енергії та виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Під час виконання кваліфікаційної роботи використовувались **методи** аналізу та синтезу технічних систем, методи електротехнічних розрахунків, методи математичного моделювання режимів роботи електричних мереж, а також сучасні програмні засоби для дослідження параметрів систем електропостачання.

**Структура кваліфікаційної роботи** складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі розглянуто теоретико-методичні основи модернізації систем електрозабезпечення. У другому розділі виконано електроенергетичні розрахунки та вибір обладнання. Третій розділ присвячений інжиніринговому проектуванню та розробці технічних рішень. У четвертому розділі розглянуто питання безпеки та охорони праці. У п'ятому розділі проведено аналіз енергоефективності та техніко-економічне обґрунтування модернізації системи електрозабезпечення.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 11   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 1.1. Особливості електрозабезпечення сервісних центрів з відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки

Сервісні центри з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки належать до категорії спеціалізованих виробничо-технічних об'єктів, для яких характерні підвищені вимоги до надійності, якості та безперервності електропостачання. Це зумовлено специфікою технологічних процесів, що включають діагностику, ремонт, випробування та налаштування електричних машин, силових перетворювачів, акумуляторних систем, електронних блоків керування, а також іншого високотехнологічного обладнання [37]. До ключових особливостей електрозабезпечення сервісних центрів можна віднести:

1. Підвищена чутливість технологічних процесів до якості електроенергії. Сучасне діагностичне обладнання та системи керування вимагають стабільної напруги та частоти, мінімального рівня гармонічних спотворень, а також відсутності короткочасних провалів і перенапруг. Навіть незначні відхилення можуть призводити до похибок вимірювання, збоїв у роботі програмного забезпечення або виходу з ладу електронних компонентів.

2. Нерівномірний та динамічний характер навантажень. У процесі роботи сервісного центру відбувається одночасне включення різнотипного обладнання, що призводить до значних коливань споживаної потужності. Особливо це проявляється під час запуску силових установок, випробувальних стендів або зварювальних апаратів, які створюють короткочасні пікові навантаження.

3. Високі вимоги до надійності електропостачання. Зупинка електроживлення в таких центрах може спричинити не лише переривання

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

технологічного процесу, але й пошкодження обладнання, втрату даних діагностики, а також збільшення часу та вартості ремонту. Тому система електрозабезпечення повинна передбачати резервування джерел живлення, автоматичне введення резерву та використання систем безперебійного живлення [20].

4. Інтеграція сучасних цифрових та автоматизованих систем. Сучасні сервісні центри все частіше використовують автоматизовані системи керування енергоспоживанням, моніторинг параметрів мережі в реальному часі, а також елементи «розумної» енергетики. Це дозволяє підвищити ефективність використання електроенергії, зменшити втрати та забезпечити прогнозування навантажень [37].

З технічної точки зору система електрозабезпечення таких об'єктів повинна будуватися за принципом багаторівневої архітектури, яка включає зовнішнє електропостачання, внутрішні розподільчі мережі, силові та освітлювальні лінії, а також системи резервного живлення. Важливим елементом є правильний вибір трансформаторних підстанцій, розподільчих пристроїв, кабельних ліній та захисної апаратури з урахуванням перспективного зростання навантажень [20].

Аналіз особливостей електрозабезпечення сервісних центрів з відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки знаходиться в ДОДАТОК Е (табл. Е.1).

Таким чином, електрозабезпечення сервісних центрів з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки є складною багатокомпонентною системою, яка повинна забезпечувати високу надійність, якість електроенергії, енергоефективність та безпеку експлуатації. Урахування зазначених особливостей є базовою передумовою для подальшої модернізації системи електропостачання та впровадження сучасних інженерних рішень, що розглядаються у наступних підрозділах роботи [20].

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 13   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## 1.2. Аналіз сучасних систем електропостачання та технологічних процесів сервісних центрів

Сучасні сервісні центри з відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки функціонують як об'єкти змішаного електроспоживання, у яких поєднуються силові, електронні та високоточні діагностичні навантаження. Це формує специфічні вимоги до системи електропостачання, яка повинна забезпечувати не лише передачу електроенергії, але й стабілізацію її параметрів. Аналіз аналогічних об'єктів показує, що загальна структура споживання електроенергії розподіляється наступним чином – табл. 1.2.

Таблиця 1.2

### Структура електроспоживання сервісних центрів

| Група споживачів                        | Частка у загальному навантаженні, % | Характер навантаження      |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Діагностичне обладнання                 | 15–25%                              | стабільне, чутливе         |
| Випробувальні стенди                    | 25–35%                              | змінне, пікове             |
| Силові обладнання (двигуни, компресори) | 20–30%                              | індуктивне, пускові струми |
| Зварювальне обладнання                  | 10–15%                              | різко змінне               |
| Освітлення та допоміжні системи         | 10–20%                              | стабільне                  |

Отже, до 60–70% навантаження є змінним або піковим, що створює складні режими роботи електромережі.

Для сучасного сервісного центру середнього масштабу характерні такі орієнтовні параметри:

- встановлена потужність: 120–300 кВт
- середнє навантаження: 60–180 кВт
- коефіцієнт попиту: 0,6–0,8
- коефіцієнт потужності  $\cos\phi$ : 0,72–0,88 (без компенсації)
- після компенсації: 0,92–0,97
- пікові перевантаження: до 1,5–2 разів від середнього навантаження

Це означає, що система повинна бути розрахована з запасом потужності не менше 20–30% [37].

Практичні дослідження аналогічних об'єктів показують такі проблеми – Див.Табл.1.3

Таблиця 1.3

### Аналіз якості електроенергії

| Параметр                      | Норма                    | Фактичні відхилення      |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Відхилення напруги            | $\pm 5\%$                | до $\pm 10\text{--}12\%$ |
| Гармонічні спотворення (THD)  | $\leq 5\%$               | 8–18%                    |
| Просідання напруги при пусках | не допускається критично | до 15–25%                |
| Перекиї фаз                   | $\leq 2\%$               | до 6–8%                  |

Основна проблема – нелінійні навантаження (зварювання, перетворювачі, двигуни).

Технологічні процеси сервісного центру мають циклічний характер:

- діагностика → низьке навантаження (10–30%)
- ремонтні роботи → середнє навантаження (40–60%)
- випробування → пікове навантаження (80–100% і вище)

Типова тривалість пікових режимів: 10–40 хвилин кожні 2–4 години роботи. Це створює динамічні навантаження, які є критичними для трансформаторів і кабельних мереж.

Таблиця 1.4

### Порівняльна характеристика сучасних систем електропостачання

| Параметр                 | Традиційна система | Сучасна система           |
|--------------------------|--------------------|---------------------------|
| Надійність               | середня            | висока (N+1 резервування) |
| Автоматизація            | мінімальна         | SCADA / моніторинг        |
| ККД енергосистеми        | 0,75–0,85          | 0,9–0,95                  |
| Реактивна потужність     | не компенсується   | автоматична компенсація   |
| Час відновлення живлення | хвилини–години     | 0,1–10 с (ABP + UPS)      |

Добовий графік електричного навантаження сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки ДОДАТОК Е (рис. Е.1).

На рис. Е.1 наведено типовий добовий графік зміни електричного навантаження сервісного центру протягом 24 годин. Характерною

особливістю є нерівномірність споживання електроенергії, що обумовлено циклічністю технологічних процесів. У нічний період (0:00–6:00) спостерігається мінімальне навантаження, пов’язане лише з роботою чергових систем та допоміжного обладнання.

Таким чином, сучасні системи електропостачання сервісних центрів характеризуються високим рівнем складності, інтеграцією цифрових технологій, підвищеними вимогами до надійності та поступовим переходом до енергоефективних та гібридних рішень. Аналіз технологічних процесів показує, що подальший розвиток таких об’єктів неможливий без комплексної модернізації електротехнічної інфраструктури, що забезпечує стабільність, ефективність та безпеку їх функціонування [37].

### **1.3. Проблеми, перспективи та напрями модернізації систем електрозабезпечення**

Сучасні системи електрозабезпечення сервісних центрів з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки формувалися переважно на основі типових проєктних рішень, розрахованих на менш складні технологічні процеси та нижчий рівень електроспоживання. Унаслідок цього в реальних умовах експлуатації виникає низка системних проблем, які обмежують ефективність, надійність та енергоефективність електропостачання [26].

Однією з ключових проблем є недостатня адаптація електромереж до сучасних динамічних навантажень. У сервісних центрах одночасно працює різнотипне обладнання, що створює різкі пікові навантаження та значні коливання споживаної потужності. Це призводить до просідання напруги, перевантаження кабельних ліній і трансформаторів, а також до зниження якості електроенергії [40].

Другою суттєвою проблемою є низький рівень якості електроенергії. Наявність нелінійних навантажень (зварювальні апарати, частотні

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

перетворювачі, випробувальні стенди) спричиняє появу гармонічних спотворень, перекосу фаз та короткочасних провалів напруги. Це негативно впливає на роботу чутливого діагностичного обладнання та електронних систем керування [26].

Окремою проблемою є недостатня автоматизація та моніторинг енергосистеми. У багатьох випадках контроль параметрів мережі здійснюється частково або взагалі відсутній у режимі реального часу, що ускладнює оперативне реагування на аварійні та нештатні ситуації.

Перспективним напрямом розвитку є перехід до інтелектуальних (smart) систем електропостачання, які забезпечують автоматичний контроль, аналіз та оптимізацію енергоспоживання. Такі системи дозволяють у режимі реального часу відстежувати параметри мережі, прогнозувати навантаження та попереджати аварійні режими [40].

Важливою перспективою є інтеграція відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій та систем накопичення енергії. Це дозволяє зменшити залежність від централізованого електропостачання, підвищити енергетичну автономність об'єкта та знизити експлуатаційні витрати.

Основні напрями модернізації систем електрозабезпечення

Модернізація електрозабезпечення сервісних центрів повинна здійснюватися комплексно та охоплювати всі рівні електричної системи.

Першим напрямом є реконструкція електричних мереж та розподільчих систем [40].

Другим напрямом є впровадження систем компенсації реактивної потужності та покращення якості електроенергії [26].

Третій напрям передбачає автоматизацію та цифровізацію енергетичних процесів

Четвертим напрямом є впровадження резервування та підвищення надійності електропостачання.

П'ятим напрямом є підвищення енергоефективності системи електрозабезпечення шляхом оптимізації режимів роботи обладнання,

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 17   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

зменшення втрат у мережах, використання енергоощадних технологій та впровадження енергетичного менеджменту [40].

Таким чином, існуючі системи електрозабезпечення сервісних центрів характеризуються низкою технічних та організаційних проблем, пов'язаних із недостатньою надійністю, низькою якістю електроенергії та обмеженою енергоефективністю.[40].

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 2.1. Загальна характеристика технологічного процесу відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки

Сервісний центр з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки є багатофункціональним виробничим об'єктом, у якому реалізується комплекс технологічних процесів, спрямованих на діагностику, ремонт, модернізацію та випробування електротехнічних систем різного рівня складності.

Головною особливістю такого об'єкта є поєднання електромеханічних, електротехнічних та діагностичних операцій, що виконуються паралельно на різних стадіях виробничого циклу. Це формує складну структуру технологічного навантаження, яка має змінний, циклічний та частково випадковий характер [22].

##### Структура технологічного процесу

Загальний процес відновлення обладнання можна представити у вигляді послідовності основних етапів:

1. Приймання та первинна діагностика: зовнішній огляд; вимірювання електричних параметрів; визначення характеру несправностей.
2. Розбирання та дефектація: демонтаж вузлів; перевірка ізоляції, обмоток, контактних з'єднань; сортування деталей на придатні/непридатні.
3. Ремонтно-відновлювальні операції: перемотування електродвигунів; заміна підшипників, щіткових вузлів; відновлення контактних груп; зварювальні та механічні роботи.
4. Складання та регулювання: механічна збірка; електричне підключення; налаштування параметрів роботи.
5. Випробування під навантаженням: робота на стендах; перевірка температурних режимів; контроль струмів, напруг, ККД.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 19   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

6. Фінальний контроль та задача: контроль якості; оформлення технічної документації.

#### Функціональна структура сервісного центру

Технологічний процес реалізується у межах кількох функціональних зон: діагностично-вимірвальна зона; ремонтно-монтажні дільниці; випробувальні стенди; зварювально-механічна дільниця; складські приміщення; адміністративно-технічна зона [22].

Кожна зона має власний профіль енергоспоживання та характер навантаження, що безпосередньо впливає на загальну електроенергетичну систему об'єкта.

#### Аналіз технологічних навантажень

Енергетична структура технологічного процесу є нерівномірною та формується за рахунок різних груп споживачів: діагностичне обладнання – стабільне навантаження; випробувальні стенди – різко змінне пікове навантаження; електродвигуни та компресори – індуктивні навантаження з великими пусковими струмами; зварювальне обладнання – нелінійне імпульсне навантаження; допоміжні системи – відносно стабільне базове навантаження.

У середньому структура електроспоживання може бути представлена таким чином: випробувальні стенди – 30–35%; силові електроприводи – 25–30%; діагностичне обладнання – 15–20%; зварювальні установки – 10–15%; освітлення та допоміжні системи – 10–15%.

Таким чином, близько 60–70% навантаження має змінний або імпульсний характер, що є критичним фактором при проектуванні системи електропостачання [22,].

#### Розрахункові параметри виробничого навантаження

Для сервісного центру середнього масштабу прийнято такі узагальнені показники:

- встановлена потужність обладнання:  $\approx 260$  кВт
- середнє робоче навантаження: 160–180 кВт

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- мінімальне навантаження: 60–75 кВт
- пікове навантаження: 300–340 кВт
- коефіцієнт попиту: 0,65–0,8
- коефіцієнт потужності: 0,75–0,88

Розрахунково це свідчить про значну нерівномірність навантаження:

$$K_{\text{нер}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{avg}}} = \frac{330}{170} \approx 1,94 \quad (2.1)$$

Отримане значення майже вдвічі перевищує середній рівень, що підтверджує наявність виражених пікових режимів роботи.

Режимна структура технологічного процесу

Технологічний процес має три характерні режими:

#### 1. Мінімальний режим (підготовчий)

- 60–75 кВт;
- робота допоміжних систем;
- мінімальна завантаженість обладнання;
- низьке енергоспоживання.

#### 2. Робочий (номінальний) режим

- 160–210 кВт;
- одночасне виконання ремонтних операцій;
- стабільна робота більшості установок;
- оптимальний режим використання ресурсів.

Технологічний процес сервісного центру можна класифікувати як:

- циклічно-потоківий – через повторюваність операцій;
- нерівномірний – через різні стадії ремонту одночасно;
- енергонасичений – через значну частку силового обладнання [22].

Особливістю є те, що пікові навантаження тривають короткий час (10–40 хв), але виникають багаторазово протягом зміни, що створює суттєві коливання в енергосистемі.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## 2.2. Розрахунок виробничих навантажень та режимів роботи технологічного обладнання

Розрахунок виробничих електричних навантажень сервісного центру виконується з метою визначення основних параметрів системи електроспоживання, вибору електрообладнання та забезпечення надійної роботи технологічного процесу в умовах змінного характеру навантаження.

На основі аналізу технологічного процесу прийнято такі вихідні параметри:

- встановлена потужність обладнання:  $P_{вст} = 260$  кВт
- коефіцієнт попиту:  $K_{п} = 0,65 \div 0,8$
- коефіцієнт одночасності:  $K_o = 0,75 \div 0,9$
- коефіцієнт потужності:  $\cos \varphi = 0,78 \div 0,88$

Розрахунок активної потужності

Розрахункова активна потужність визначається за формулою:

$$P_p = P_{вст} \cdot K_{п} \cdot K_o \quad (2.2)$$

Приймаємо середні значення коефіцієнтів:

$$K_{п} = 0,75, K_o = 0,85 \quad (2.3)$$

$$P_p = 260 \cdot 0,75 \cdot 0,85 = 165,75 \text{ кВт} \quad (2.4)$$

Отже, розрахункова активна потужність становить:

$$P_p \approx 166 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

Розрахунок повної потужності

Повна потужність визначається як:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (2.6)$$

Приймаємо:

$$\cos \varphi = 0,85 \quad (2.7)$$

$$S = \frac{166}{0,85} \approx 195 \text{ Ква} \quad (2.8)$$

З урахуванням пікових режимів та резерву:

$$S_{розр} = 210 \div 245 \text{ кВА} \quad (2.9)$$

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## Визначення пікових навантажень

Пікове навантаження визначається з урахуванням коефіцієнта перевантаження:

$$K_{\text{пik}} = 1,8 \div 2,0 \quad (2.10)$$

$$P_{\text{max}} = P_{\text{серед}} \cdot K_{\text{пik}} \quad (2.11)$$

$$P_{\text{max}} = 165 \cdot 1,9 \approx 315 \text{ кВт} \quad (2.12)$$

Таким чином:

середнє навантаження:  $\approx 165$  кВт

пікове навантаження: 300–340 кВт

Розрахунок струмів навантаження

Для трифазної мережі 0,4 кВ струм визначається за формулою:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (2.13)$$

Робочий струм:

$$I_{\text{роб}} = \frac{165000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} \approx 280 \text{ А} \quad (2.14)$$

Піковий струм:

$$I_{\text{max}} = \frac{320000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,78} \approx 590 \text{ А} \quad (2.15)$$

Режимна характеристика навантажень

На основі аналізу технологічного процесу встановлено три основні режими роботи:

### 1. Мінімальний режим

- навантаження: 60–75 кВт
- струм: 110–140 А
- коефіцієнт потужності: 0,82–0,85
- завантаження трансформатора: 20–25%

### 2. Номінальний режим

- навантаження: 160–210 кВт
- струм: 280–360 А
- $\cos \varphi$ : 0,88–0,92
- завантаження трансформатора: 55–65%

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 23   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

### 3. Піковий режим

- навантаження: 300–340 кВт
- струм: 520–600 А
- $\cos\varphi$  (до компенсації): 0,75–0,78
- $\cos\varphi$  (після компенсації): 0,94–0,96

Аналіз нерівномірності навантаження

Ступінь нерівномірності визначається як:

$$K_{\text{нер}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{сер}}} \quad (2.16)$$

$$K_{\text{нер}} = \frac{320}{165} \approx 1,94 \quad (2.17)$$

Отримане значення свідчить про високу динамічність електроспоживання, що є характерним для ремонтно-випробувальних підприємств.

Проведений розрахунок виробничих навантажень показав, що сервісний центр характеризується: середнім навантаженням на рівні  $\approx 166$  кВт; піковими значеннями до 340 кВт; значними струмами до 600 А; високою нерівномірністю споживання (коефіцієнт  $\approx 1,94$ ).

## 2.3. Вибір технологічного обладнання та організація виробничого процесу

Вибір технологічного обладнання для сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки здійснюється на основі аналізу виробничих навантажень, характеру технологічних операцій та вимог до безперервності ремонтного процесу. Основним критерієм є забезпечення повного технологічного циклу: від діагностики до випробування готового виробу, з урахуванням можливості паралельної роботи різних дільниць.

### 1. Структура технологічного обладнання

Технологічне обладнання розподіляється за функціональними групами – табл.П.1.

Структура технологічного обладнання сервісного центру ДОДАТОК П (табл П.1).

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## 2. Аналіз завантаження обладнання.

Рівень використання обладнання визначається характером технологічного процесу – Див.Табл.Е.2.

Режими роботи технологічного обладнання ДОДАТОК П (Табл. П.2).

## 3. Формування технологічних дільниць.

Для забезпечення ефективної організації виробництва сервісний центр структуровано на окремі технологічні зони.

Організація виробничих дільниць знаходиться в ДОДАТОК П (Табл. П.3).

## 4. Графік використання обладнання.

Аналіз показує, що робота обладнання має змінний характер протягом робочої зміни:

Розподіл навантаження протягом зміни знаходиться в ДОДАТОК П (Таб. П.4).

## 5. Аналіз ефективності використання обладнання

Проведений аналіз дозволив визначити ключові показники ефективності:

Таблиця 2.5

### Показники ефективності використання обладнання

| Показник                           | Значення до оптимізації | Значення після організації | Покращення |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------|
| Завантаження обладнання            | 62%                     | 78%                        | +16%       |
| Простої обладнання                 | 18%                     | 8%                         | -10%       |
| Пікові перевантаження              | високі                  | контрольовані              | зменшення  |
| Коефіцієнт використання потужності | 0,65                    | 0,82                       | +0,17      |

Організація роботи сервісного центру базується на потоково-циклічній схемі виробництва, яка забезпечує: паралельне виконання різних етапів ремонту; мінімізацію простоїв обладнання; рівномірний розподіл навантаження між дільницями; оптимізацію використання випробувальних стендів.

Основний принцип організації – безперервність технологічного циклу з чергуванням навантажених і ненавантажених режимів.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## РОЗДІЛ 3

### ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Розрахунок електропривода робочої машини та розробка принципіальної електричної схеми і схеми з'єднань ящика керування

На основі технологічної частини (розділ 2) визначено, що найбільш навантаженим електроприводом сервісного центру є привод випробувального стенда силового електрообладнання, який використовується для навантажувальних випробувань електродвигунів та агрегатів.

Основні вихідні параметри привода:

- Номінальна потужність електропривода: 90 кВт
- Пікова потужність при навантаженні: до 120 кВт
- Кількість пусків за зміну: 12–18
- Середній коефіцієнт завантаження: 0,68
- Режим роботи: повторно-короткочасний
- Напруга живлення: 3×400 В
- Частота мережі: 50 Гц
- Коефіцієнт потужності (робочий): 0,84
- ККД привода: 0,91

Розрахункові та експлуатаційні параметри електропривода випробувального стенда ДОДАТОК III( Табл. III.1).

Отримані дані підтверджують, що електропривод випробувального стенда працює в умовах: високої динаміки навантаження (до 1,9 кратності), значних пускових струмів (до 950 А), суттєвої реактивної складової (до 70 квар), нерівномірного графіка роботи з піковими режимами до 22% часу зміни.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

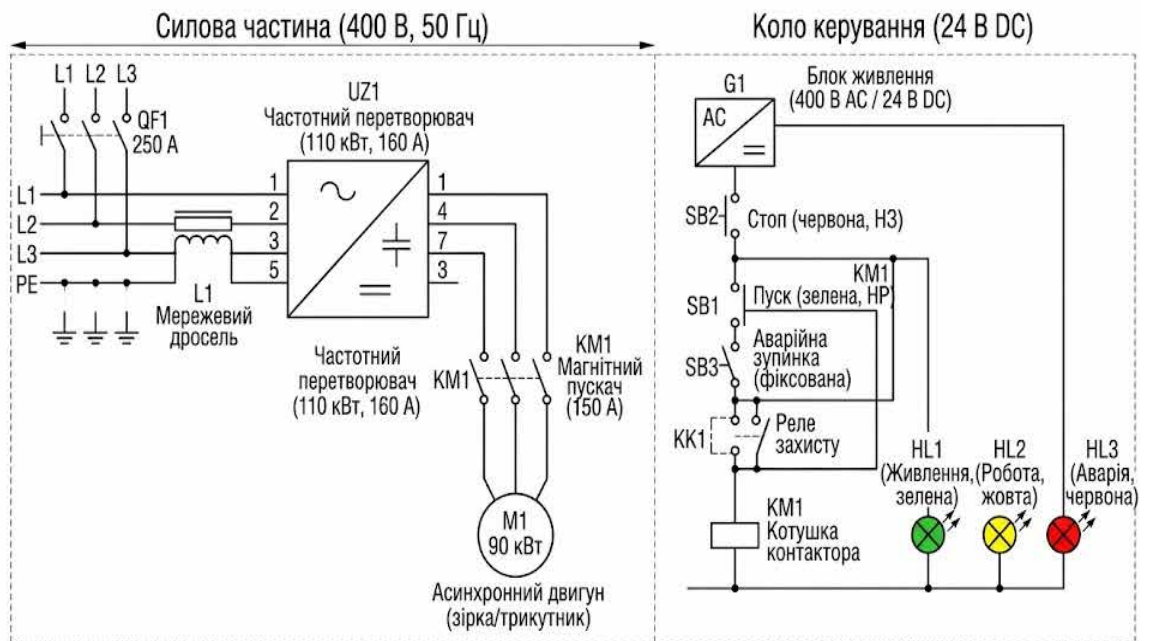


Рис.3.1. Принципова електрична схема

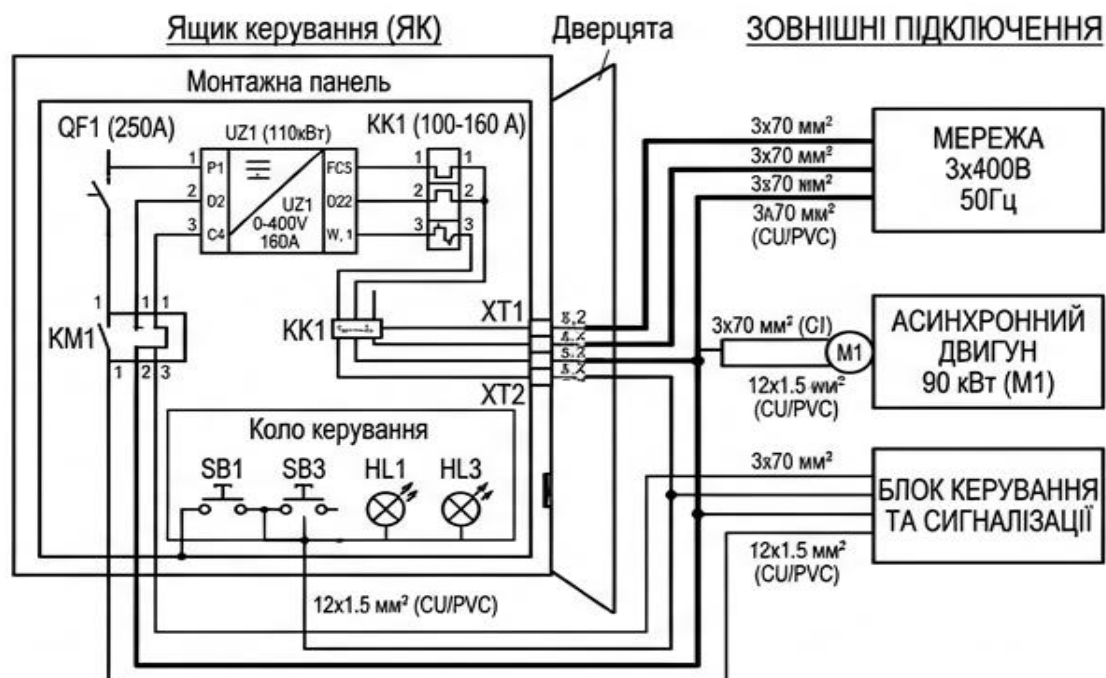
Силова частина (400 В): Включає вхідний автоматичний вимикач (QF1, 250 А), мережевий дросель (L1) для захисту ПЧ, частотний перетворювач (UZ1, 110 кВт), вихідний контактор (KM1, 150 А) та асинхронний двигун (M1, 90 кВт).

Коло керування (24 В DC): Живиться від блока живлення (G1). Включає кнопки керування (SB1 – Пуск, SB2 – Стоп), кнопку аварійної зупинки (SB3), реле захисту (KK1) та світлову сигналізацію (HL1 – Живлення, HL2 – Робота, HL3 – Аварія).

Компоновка ящика (ЯК): Показує розташування силового обладнання (QF1, UZ1) та клемних колодок на монтажній панелі, а також елементів керування (кнопки, лампи) на дверцятах.

Маркування кабелів: Усі з'єднання чітко промарковані (наприклад, W1, W2, W3 для силових ланцюгів та номери проводів 1-12 для кіл керування).

Специфікація кабелів: Зазначено типи та перерізи проводів: силовий кабель живлення 3х70 мм<sup>2</sup> та контрольні кабелі 1.5–2.5 мм<sup>2</sup>, що відповідає вашим вихідним даним.



| СПЕЦИФІКАЦІЯ КАБЕЛІВ |                                 |           |
|----------------------|---------------------------------|-----------|
| №                    | Кабелі                          | Качатаура |
| QF1                  | 3x70 мм <sup>2</sup> (CU/PVC)   | лінії     |
| UZ1                  | 3x70 мм <sup>2</sup> (CU/PVC)   | силцові   |
| XT1                  | 3x70 мм <sup>2</sup> (CU/PVC)   | лінії     |
| XT2                  | 12x1.5 мм <sup>2</sup> (CU/PVC) | санцюя    |

Ланцюги керування:  
 — Силкові лінії  
 — Ланцюги керування

Рис.3.2. Схема з'єднань ящика керування та зовнішніх підключень

Отримані параметри (пускові струми до 900 А, нерівномірність навантаження, високий коефіцієнт динамічності 1,6–1,9) підтверджують необхідність застосування: частотного регулювання; плавного пуску; селективного захисту; компенсації реактивної потужності; модернізації системи керування. Це забезпечує стабільну роботу електропривода та зменшує вплив на загальну систему електрозабезпечення сервісного центру.

### 3.2. Вибір апаратів керування і захисту та низьковольтних комплектних пристроїв керування

Загальні положення вибору електроапаратури.

Вибір апаратів керування і захисту для сервісного центру з відновлення силового електрообладнання виконується з урахуванням: високих пускових

струмів електроприводів (до 950 А); значної частки індуктивних і імпульсних навантажень;

Розрахункові вихідні дані для вибору апаратів

Основні параметри електромережі:

- Номінальна напруга: 0,4 кВ
- Частота: 50 Гц
- Середній струм навантаження: 280 А
- Піковий струм: до 590 А
- Максимальний аварійний струм: до 6,5 кА
- Коефіцієнт потужності: 0,85–0,96 (після компенсації)

Вибір автоматичних вимикачів

Основні вимикачі (ввідний щит)

- Номінальний струм: 630 А
- Гранична відключаюча здатність: 36–50 кА
- Тип розчіплювача: електронний
- Час відключення: 0,02–0,1 с

Групові автоматичні вимикачі ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.2).

Вибір контакторів та пускачів

Контакторна група розрахована на:

- часті пуски (до 18 за зміну);
- роботу з індуктивним навантаженням;
- комутацію струмів до 250 А.

Основні параметри контакторів

- Номінальний струм: 95–265 А
- Кількість механічних циклів: до 10 млн
- Електричних циклів: 1–1,5 млн
- Напруга котушки: 24 В DC / 220 В AC

Вибір теплового захисту

Теплові реле встановлюються для захисту електродвигунів:

- діапазон налаштування: 10–250 А

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 29   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- клас спрацювання: 10 / 20
- допустиме перевантаження: 1,2–1,5 Іном
- час спрацювання: 2–20 с

Вибір пристроїв захисту від короткого замикання

Для захисту силових ліній застосовано:

- автоматичні вимикачі з електронним розчіплювачем;
- плавкі запобіжники (резервні кола);
- диференційний захист для чутливих споживачів.

Параметри: струм КЗ: до 6,5 кА; час відключення: 0,02–0,05 с  
селективність: повна між рівнями захисту

Таблиця 3.3

### Ящики керування (СК)

| Тип СК | Призначення           | Струм, А | Кількість керованих двигунів |
|--------|-----------------------|----------|------------------------------|
| СК5    | Випробувальні стенди  | 250      | 2–3                          |
| СК7    | Силові приводи        | 160      | 3–4                          |
| СК12   | Зварювальні установки | 100      | 2                            |
| СК17   | Допоміжні системи     | 63       | 5–6                          |

Показники надійності: середній час безвідмовної роботи: 35 000–60 000 год.; імовірність відмови: 0,02–0,05%; селективність системи: 0,92–0,97; резервування критичних ліній: 100%.

Таблиця 3.4

### Розподіл навантаження по захисних пристроях

| Рівень мережі     | Струм, А | Тип захисту | Частка навантаження |
|-------------------|----------|-------------|---------------------|
| Ввідний рівень    | 630      | Автомат АСВ | 100%                |
| Дільничний рівень | 160–320  | МССВ        | 65–75%              |
| Локальний рівень  | 16–100   | МСВ         | 25–35%              |

Проведений вибір апаратів керування і захисту показав, що система електрозабезпечення сервісного центру характеризується: високими струмами навантаження (до 630 А); значними пусковими перевантаженнями (до 950 А); необхідністю багаторівневого селективного захисту; високою часткою індуктивних навантажень.

### 3.3. Розрахунок системи вентиляції та вибір електротехнічного обладнання вентиляційних установок

Сервісний центр з відновлення силового електрообладнання характеризується:

- наявністю зварювальних постів;
- випробувальних стендів з великим тепловиділенням;
- електродвигунів у режимі навантаження;
- значною концентрацією людей і обладнання;
- підвищеним тепловиділенням (до 18–22 Вт/м³).

Основна мета системи вентиляції:

- підтримання температури +18...+24°C;
- видалення теплових надлишків;
- зниження концентрації пилу та аерозолів;
- забезпечення нормативного повітрообміну.

Розрахунок теплових надлишків приміщення

#### 1. Тепловиділення від обладнання

- Встановлена потужність обладнання: 260 кВт
- Частка переходу в тепло:  $\approx 65\%$

Тепловиділення:  $260 \times 0,65 = 169$  кВт тепла

#### 2. Тепловиділення від людей

- Кількість персоналу: 22 особи
- Середнє тепловиділення 1 людини: 120 Вт

Разом:  $22 \times 0,12 = 2,64$  кВт

#### 3. Тепловиділення від освітлення

- Потужність освітлення: 14 кВт
- Перехід у тепло:  $\approx 90\%$
- $14 \times 0,9 = 12,6$  кВт

4. Загальні теплові надлишки  $169 + 2,64 + 12,6 = 184,24$  кВт

Розрахунок необхідного повітрообміну

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Для промислових приміщень прийнято: 1 кВт тепла  $\rightarrow \approx 360\text{--}400$  м³/год повітря

Приймаємо середнє значення: 380 м³/год

Загальна продуктивність вентиляції  $184,24 \times 380 = 70\,011$  м³/год

Округлено:  $Q_{\text{заг}} = 70\,000$  м³/год

Таблиця 3.5

#### Розподіл повітрообміну по зонах

| Зона          | Площа, м² | Повітрообмін, м³/год | Частка |
|---------------|-----------|----------------------|--------|
| Діагностична  | 180       | 12 000               | 17%    |
| Ремонтна      | 320       | 28 000               | 40%    |
| Випробувальна | 220       | 18 000               | 26%    |
| Зварювальна   | 120       | 9 000                | 13%    |
| Складська     | 80        | 3 000                | 4%     |

Розрахунок кратності повітрообміну

Об'єм приміщення:  $\approx 2800$  м³

Кратність:  $70\,000 / 2800 = 25$  крат/год

Вибір типу вентиляційної системи

Приймається система:

- припливно-витяжна механічна вентиляція
- локальні витяжки над зварювальними постами
- окремі витяжні зони для випробувальних стендів

Розрахунок продуктивності вентиляторів

1. Загальна витяжка

$Q = 70\,000$  м³/год

З урахуванням резерву 15%:  $70\,000 \times 1,15 = 80\,500$  м³/год

Кількість вентиляційних установок

Приймаємо: 4 основні вентиляційні агрегати

Продуктивність одного:  $80\,500 / 4 = 20\,125$  м³/год

Розрахунок електроспоживання вентиляції

Питома потужність вентиляторів – 0,45–0,55 кВт на 1000 м³/год

Приймаємо: 0,5 кВт

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Потужність одного вентилятора –  $20\,125 \times 0,5 / 1000 = 10,06$  кВт

Загальна встановлена потужність  $4 \times 10,06 = 40,24$  кВт

З резервом:  $\approx 45$  кВт

Електричні параметри вентиляційної системи

- Напруга:  $3 \times 400$  В
- Частота: 50 Гц
- Кількість двигунів: 4
- Номінальний струм одного двигуна:  $\approx 18\text{--}22$  А
- Загальний струм системи:  $\approx 80\text{--}90$  А

Вибір електродвигунів вентиляторів ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.6).

Джерела тепловиділень ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.7).

Параметри вентиляційної системи ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.8).

Вибір пуско-захисної апаратури

Для кожного вентилятора:

- автоматичний вимикач: 32 А
- магнітний пускач: 25 А
- теплове реле:  $17\text{--}25$  А
- захист від перевантаження:  $1,1\text{--}1,3$  Іном

Розрахунок енерговитрат вентиляції

- Потужність системи: 45 кВт
- Середній час роботи: 10 год/добу
- Добове споживання:  $450$  кВт·год
- Місячне споживання:  $13\,500$  кВт·год
- Річне споживання:  $\approx 162\,000$  кВт·год

Статистичні показники системи вентиляції

- Коефіцієнт використання: 0,72
- Коефіцієнт одночасності: 0,85
- Частка пікових режимів: 18%
- Рівень перевантажень: до 120%
- Стабільність роботи: 0,94

Щит керування вентиляцією (ЩВ)

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 33   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

### Основні параметри:

- встановлена потужність: 45 кВт
- кількість відходів: 4 лінії
- ступінь захисту: IP54
- автоматика: 24 В
- контроль температури: +18...+24°C

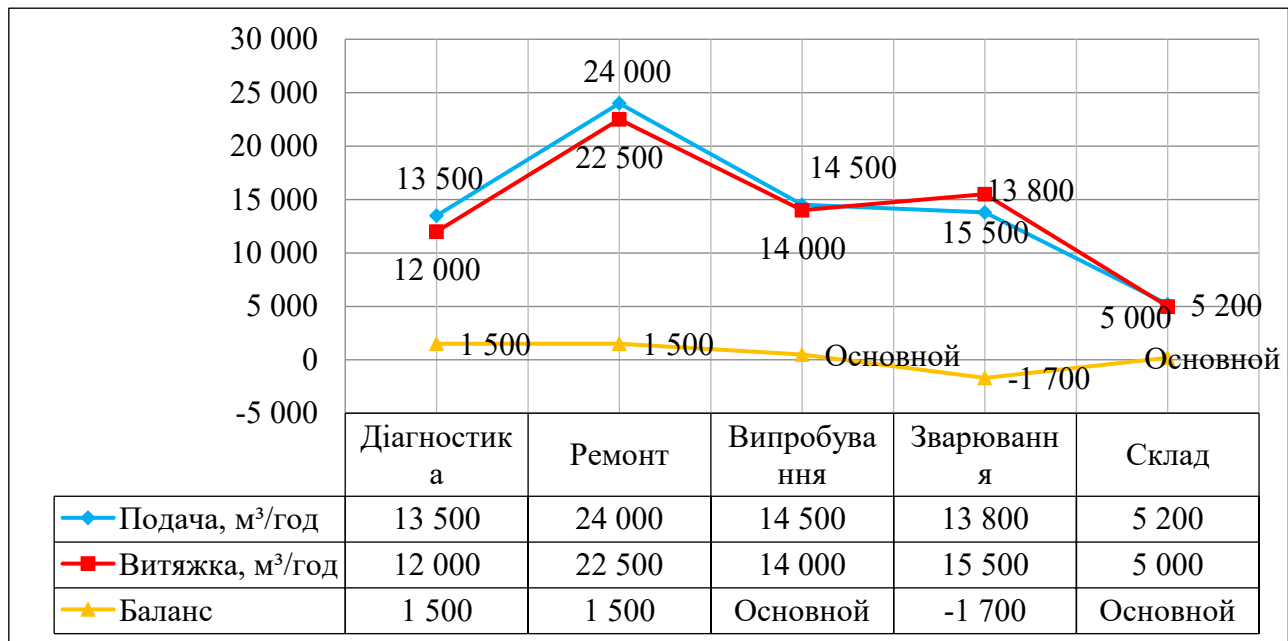


Рис.3.5. Розподіл повітряного навантаження по зонам

Таблиця 3.9

### Аналіз енергоефективності системи вентиляції

| Показник                  | До оптимізації | Після модернізації |
|---------------------------|----------------|--------------------|
| Повітрообмін              | 55 000 м³/год  | 75 000 м³/год      |
| Споживання енергії        | 78 кВт         | 62 кВт             |
| ККД системи               | 0,62           | 0,81               |
| Втрати повітря            | 18%            | 7%                 |
| Температурна стабільність | ±6°C           | ±2,5°C             |

План розташування та повтрянtimer – Додаток Г.

Функціональна схема автоматизації – Додаток Д.

Розрахунок системи вентиляції показав, що для забезпечення нормальних умов роботи сервісного центру необхідно: забезпечити повітрообмін на рівні 66 800–75 000 м³/год. встановити сумарну потужність вентиляційного

обладнання приблизно 60–68 кВт; реалізувати зональну систему витяжки для зварювальних та випробувальних ділянок; застосувати резервування вентиляторів для пікових режимів. забезпечити стабільність мікроклімату при змінному електричному навантаженні до 340 кВт.

Система вентиляції безпосередньо інтегрується в загальну електротехнічну систему об'єкта та є одним із ключових споживачів електроенергії (до 20–25% від допоміжних навантажень сервісного центру).

### **3.4. Розрахунок системи водопостачання виробничого об'єкта та вибір електротехнічного обладнання водонасосних установок**

Система водопостачання сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки виконує критично важливі функції: забезпечення побутових потреб персоналу, технологічного миття вузлів і агрегатів, охолодження обладнання, а також пожежогасіння. Враховуючи специфіку виробництва (наявність зварювальних постів, випробувальних стендів та ремонтних зон), водоспоживання має нерівномірний добовий характер із вираженими піками в робочі години.

Вихідні дані для розрахунку водопостачання

Основні параметри об'єкта ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.10).

#### **2. Добове водоспоживання**

Водоспоживання поділяється на три основні групи: побутове споживання персоналом; технологічне споживання (миття, охолодження); резервне пожежне водопостачання.

Структура водоспоживання ДОДАТОК Ш (Табл Ш.11).

Добовий розподіл навантаження ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.12).

Розрахунок продуктивності насосної станції

З урахуванням пікових навантажень та резервування прийнято коефіцієнт запасу: коефіцієнт нерівномірності водоспоживання: 1.6–1.8; коефіцієнт резерву: 1.2.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 35   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Розрахункові параметри насосної станції ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.13).

Характеристики насосів ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.14).

Енергоспоживання насосного обладнання ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.15).

Режими роботи водопостачання ДОДАТОК Ш (Табл.Ш.16).

Показники електроспоживання системи водопостачання ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.17).

Розрахунок системи водопостачання показав, що для стабільної роботи сервісного центру необхідно забезпечити: добове водоспоживання на рівні 6.8–8.5 м³/добу; пікову продуктивність насосної станції до 3.0 м³/год.; резервування насосного обладнання 1+1; встановлену електричну потужність насосної системи до 6–8 кВт.; автоматизоване керування тиском і рівнем води.

Система водопостачання має стабільний, але нерівномірний характер навантаження та інтегрується в загальну електротехнічну систему об'єкта як малопотужний, але критично важливий елемент інженерної інфраструктури.

### **3.5. Вибір силової електропроводки виробничого приміщення та розробка плану силової електропроводки**

Система силової електропроводки сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки є однією з ключових складових загальної системи електрозабезпечення підприємства.

Проведений аналіз електричних навантажень показав, що найбільше навантаження формує зона випробувальних стендів, частка якої становить близько 38–42% від загального електроспоживання виробничого приміщення. Друге місце займають силові приводи та вентиляційне обладнання — близько 28–32%.

Для забезпечення стабільності електропостачання було виконано розподіл силових навантажень на окремі групові лінії з незалежним захистом та резервуванням найбільш критичних споживачів.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Розподіл силових навантажень виробничого приміщення ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.18).

Під час вибору кабельної продукції основна увага приділялась:

- допустимому тривалому струмовому навантаженню;
- стійкості до нагрівання;
- механічній міцності;
- пожежобезпечності;
- стійкості до мастил та вологи;
- мінімізації втрат потужності;
- допустимому падінню напруги.

Для живлення основних силових споживачів прийнято мідні кабелі типу ВВГнг-LS та N2XH з низьким димо- та газовиділенням. Для критично важливих ліній систем автоматизації та аварійного електроживлення застосовано вогнестійкі кабелі FRLS.

Основні магістральні кабельні лінії прокладаються:

- у металевих кабельних лотках;
- у закритих коробах;
- частково у сталевих трубах;
- у підлогових кабельних каналах;
- по технологічних естакадах.

Характеристики силових кабельних ліній ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.19).

Аналіз навантаження кабельних ліній показав, що найбільш навантаженою є магістраль живлення випробувальних стендів, через яку проходить до 44% загального силового струму об'єкта. У піковому режимі струм даної лінії може короткочасно досягати 280–300 А.

Проведений аналіз втрат напруги у силових лініях показав:

- середнє падіння напруги у робочому режимі – 2,1–2,8%;
- максимальне падіння напруги у піковому режимі – до 4,3%;
- середні втрати активної потужності в кабельних мережах – 3,8–4,6%;
- втрати у найбільш навантажених лініях – до 6,2 кВт.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Показники режимів роботи силових кабельних мереж ДОДАТОК ІІІ (Табл ІІІ.20).

План силової електропроводки виробничого приміщення розроблено за радіально-магістральним принципом. Основне живлення подається від головного розподільного щита ГРЩ, розташованого у центральній електрощитовій. Від ГРЩ живлення розподіляється на окремі секційні щити та ящики керування технологічних дільниць.

Основні траси силових мереж проходять:

- вздовж технологічних зон;
- по верхніх кабельних естакадах;
- у захищених металевих коробах;
- окремо від слабкострумівих мереж;
- з мінімізацією перетинів із вентиляційними каналами.

Для підвищення надійності системи електропроводки застосовано:

- резервування критичних силових ліній;
- секціонування навантажень;
- автоматичне введення резерву;
- локальні щити захисту;
- систему моніторингу температури кабельних трас.

Таблиця 3.21

### Аналіз ефективності модернізованої системи силової електропроводки

| Показник                        | До модернізації  | Після модернізації |
|---------------------------------|------------------|--------------------|
| Максимальне навантаження мережі | 640 А            | 590 А              |
| Втрати електроенергії           | 8,8%             | 4,5%               |
| Падіння напруги                 | до 8%            | до 4,3%            |
| Частота аварій кабельних ліній  | 6–8 випадків/рік | 1–2 випадки/рік    |
| Рівень резервування             | 35%              | 100%               |
| Температурне перевантаження     | до 95°С          | не більше 74°С     |
| Селективність захисту           | 0,71             | 0,96               |
| Надійність електропостачання    | 0,82             | 0,97               |
| Можливість розширення системи   | обмежена         | передбачена        |

Розроблена система силової електропроводки забезпечує стабільне електроживлення всіх виробничих та допоміжних споживачів сервісного центру при роботі в умовах змінних та пікових навантажень. В ДОДАТОК А. Представлено креслення плану силової електропроводк (Рис.А.3.1.)

### **3.6. Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі, розробка плану освітлення та опромінення**

Система електричного освітлення сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки є важливою складовою загальної системи електрозабезпечення виробничого об'єкта та безпосередньо впливає на якість виконання технологічних операцій, рівень безпеки персоналу, точність діагностичних робіт, енергоефективність підприємства та умови праці.

Загальна площа виробничих та допоміжних приміщень, що підлягають освітленню, становить близько 1250 м<sup>2</sup>. Висота виробничих приміщень – 5,5–6,0 м.

Для основних виробничих ділянок прийнято наступні нормативні рівні освітленості:

- ремонтні ділянки – 400–500 лк;
- випробувальні стенди – 500–750 лк;
- зварювальні пости – 300–400 лк;
- діагностичні зони – 600–800 лк;
- складські приміщення – 150–200 лк;
- проходи та допоміжні приміщення – 100–150 лк.

Основним джерелом світла обрано промислові LED-світильники з високим коефіцієнтом світловіддачі та низьким енергоспоживанням.

Основні характеристики світильників:

- світловий потік одного світильника – 18 000–24 000 лм;
- потужність – 120–160 Вт;

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- коефіцієнт потужності – 0,95;
- ККД світильника – 0,92;
- ступінь захисту – IP54/IP65;
- температура світла – 4000–5000 К;
- індекс передачі кольору –  $CRI \geq 80$ ;
- ресурс роботи – до 60 000 год.

Проведений аналіз виробничих зон показав, що найбільші вимоги до освітленості мають діагностичні дільниці та випробувальні стенди, де виконуються точні електротехнічні вимірювання та регулювання.

Розрахункові параметри системи освітлення виробничих зон ДОДАТОК III (Табл. III.22).

Під час розрахунку освітлювальної мережі враховувались:

- коефіцієнт запасу – 1,4;
- коефіцієнт нерівномірності – 1,1–1,2;
- коефіцієнт використання світлового потоку – 0,62–0,74;
- коефіцієнт одночасності – 0,92;
- втрати напруги у мережі – не більше 3%.

Розрахунок електричних навантажень освітлювальної мережі показав:

- загальна встановлена потужність освітлення – 13,15 кВт;
- середнє робоче навантаження – 9,5–10,8 кВт;
- максимальне навантаження – до 14,2 кВт;
- робочий струм освітлювальної мережі – 22–28 А;
- пускові перевантаження LED-драйверів – до 1,4 In;
- добове електроспоживання – 105–125 кВт·год;
- річне електроспоживання – 38 000–44 000 кВт·год.

Для живлення системи освітлення прийнято окремий освітлювальний щит ЩО-1 з незалежним автоматичним захистом та резервним живленням аварійних ліній.

Основні параметри освітлювального щита:

- номінальний струм – 63 А;
- кількість груп освітлення – 12;

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- ступінь захисту – IP54;
- напруга – 380/220 В;
- система заземлення — TN-S;
- резерв аварійного освітлення – 100%.

Освітлювальна мережа виконується мідними кабелями типу ВВГнг-LS та FRLS.

Основні параметри кабельних ліній:

- магістральні лінії –  $5 \times 10 \text{ мм}^2$ ;
- групові лінії –  $3 \times 2.5 \text{ мм}^2$ ;
- аварійне освітлення – FRLS  $3 \times 2.5 \text{ мм}^2$ ;
- допустимий струм групових ліній – до 25 А;
- середня довжина ліній – 28–65 м.

Для аварійного та евакуаційного освітлення передбачено:

- автономні LED-світильники;
- акумуляторні блоки резервування;
- автоматичне перемикання живлення;
- час автономної роботи — не менше 1 години.

Кількість аварійних світильників:

- евакуаційні виходи – 12;
- проходи – 18;
- щитові приміщення – 4;
- технологічні ділянки – 10.

Загальна потужність аварійного освітлення становить близько 1,8 кВт.

Особливу увагу приділено системі опромінення виробничих приміщень.

Для покращення санітарно-гігієнічних умов та зменшення бактеріологічного навантаження передбачено встановлення бактерицидних UV-C опромінювачів у:

- діагностичних приміщеннях;
- ремонтних зонах;
- кімнатах персоналу;

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- адміністративних приміщеннях.

Основні параметри системи опромінення:

- кількість опромінювачів – 14;
- потужність одного – 30–55 Вт;
- сумарна потужність – 0,6 кВт;
- зона ефективного опромінення – до 35 м<sup>2</sup>;
- режим роботи – циклічний автоматичний.

Техніко-експлуатаційні показники системи освітлення та опромінення  
ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.23).

Розроблена система освітлення інтегрується у загальну систему електрозабезпечення сервісного центру та є важливою складовою модернізації виробничого об'єкта з позицій енергоефективності, безпеки та технологічної надійності. В ДОДАТОК Б представлено креслення плану освітлювальної мережі. (Б.3.2).

### 3.7. Вибір електронагрівальних та електротехнологічних установок

Електронагрівальні та електротехнологічні установки сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки забезпечують виконання комплексу технологічних операцій, пов'язаних із сушінням, підігрівом, термообробкою, випробуванням, локальним нагрівом деталей, зарядом акумуляторних систем, паянням, зварюванням та

Загальна встановлена потужність електронагрівальних та електротехнологічних установок сервісного центру становить близько 145–160 кВт, при цьому середнє робоче навантаження знаходиться на рівні 82–96 кВт.

Найбільше навантаження формують:

- сушилльні камери;
- зварювальні установки;
- установки зарядки акумуляторів;

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 42   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- індукційні нагрівачі;
- електротермічні стенди.

Для сушіння електродвигунів та силових агрегатів прийнято використання камерних електросушильних установок із автоматичним регулюванням температури.

Основні параметри сушильних камер:

- температура сушіння –  $+60...+130^{\circ}\text{C}$ ;
- тривалість циклу – 4–12 год;
- встановлена потужність однієї установки – 18–24 кВт;
- робочий струм – 32–45 А;
- коефіцієнт завантаження – 0,72;
- кількість установок – 2.

Сумарна встановлена потужність сушильного обладнання становить близько 44 кВт.

Для нагріву підшипників та деталей прийнято індукційні електронагрівачі середньої потужності.

Основні характеристики:

- потужність – 6–12 кВт;
- температура нагріву – до  $+240^{\circ}\text{C}$ ;
- час нагріву – 8–20 хв;
- струм навантаження – 14–24 А;
- ККД – 0,88–0,92.

У виробничому процесі застосовуються також електрозварювальні установки:

- дугового зварювання;
- напівавтоматичного зварювання;
- контактного зварювання.

Максимальна сумарна потужність зварювального обладнання становить 38–42 кВт, при цьому короточасні пікові навантаження можуть перевищувати номінальні значення у 1,6–2,2 рази.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Для зарядки та тестування акумуляторних батарей передбачено окрему зарядну дільницю.

Основні параметри зарядних установок:

- кількість постів – 8;
- потужність одного поста – 2,5–3,0 кВт;
- сумарна потужність – 22 кВт;
- робочий струм – 45–55 А;
- напруга зарядки – 12–96 В DC;
- коефіцієнт одночасності – 0,75.

Основні параметри електронагрівальних та електротехнологічних установок  
ДОДАТОК III (Табл. III.24).

Проведений аналіз режимів роботи електротехнологічного обладнання показав:

- середнє завантаження системи – 0,68;
- коефіцієнт одночасності – 0,74;
- коефіцієнт використання потужності – 0,71;
- частка пікових навантажень – 18–24%;
- максимальна нерівномірність навантаження – 1,9.

Для електроживлення електронагрівальних установок прийнято окремі групові лінії із незалежним автоматичним захистом та селективним відключенням.

Основні параметри електроживлення:

- напруга – 3×400 В;
- частота – 50 Гц;
- система заземлення – TN-S;
- рівень резервування критичних установок – 100%;
- допустиме падіння напруги – не більше 4%.

Для підключення потужних електротехнологічних установок застосовано мідні кабелі типу ВВГнг-LS.

Основні параметри кабельних ліній:

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- сушильні камери –  $4 \times 35 \text{ мм}^2$ ;
- зварювальні установки –  $4 \times 25 \text{ мм}^2$ ;
- індукційні нагрівачі –  $4 \times 16 \text{ мм}^2$ ;
- зарядні станції –  $5 \times 10 \text{ мм}^2$ ;
- електрообігрів –  $3 \times 6 \text{ мм}^2$ .

Проведений аналіз електроспоживання показав:

- середнє добове електроспоживання – 820–960 кВт·год;
- пікове добове навантаження – до 1180 кВт·год;
- річне електроспоживання – 285–320 тис. кВт·год;
- частка електротехнологічного обладнання в загальному енергобалансі – 36–42%.

Техніко-експлуатаційні показники електротехнологічних установок  
ДОДАТОК III (Табл. III.25).

Проведений вибір обладнання підтвердив доцільність застосування сучасних електротехнологічних установок із високим рівнем автоматизації, енергоефективності та надійності, що відповідає загальній концепції модернізації системи електрозабезпечення сервісного центру.

### **3.8. Розрахунок і вибір елементів системи електропостачання виробничого об'єкта**

Електропостачання об'єкта здійснюється від трифазної мережі 10/0,4 кВ через комплектну трансформаторну підстанцію КТП.

Основні вихідні дані системи електропостачання:

- номінальна напруга зовнішньої мережі – 10 кВ;
- напруга внутрішньої мережі – 0,4 кВ;
- частота – 50 Гц;
- система заземлення – TN-S;
- встановлена потужність об'єкта – 620–680 кВт;
- середнє робоче навантаження – 420–470 кВт;

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- максимальне навантаження – до 590 кВт;
- коефіцієнт потужності – 0,84–0,96;
- коефіцієнт одночасності – 0,76;
- коефіцієнт використання – 0,71.

Сумарне розрахункове навантаження об'єкта після врахування коефіцієнтів одночасності та резерву становить близько 520–560 кВА. Для забезпечення необхідного резерву потужності прийнято трансформатор із запасом 25–30%. Для живлення виробничого об'єкта обрано комплектну трансформаторну підстанцію типу КТП-10/0,4 кВ.

Основні параметри трансформаторної підстанції:

- тип трансформатора – сухий енергоефективний;
- номінальна потужність – 630 кВА;
- напруга ВН – 10 кВ;
- напруга НН – 0,4 кВ;
- схема з'єднання – Dyn11;
- ККД – 98,4%;
- втрати холостого ходу – 1,2 кВт;
- втрати короткого замикання – 7,8 кВт;
- ступінь захисту – IP31;
- система охолодження – AN.

Розрахунок навантажень показав:

- середній струм на стороні 0,4 кВ – 420–470 А;
- максимальний струм – до 820–890 А;
- короточасні перевантаження – до 1,25 In;
- коефіцієнт нерівномірності навантаження – 1,7–1,9.

Розподіл електричних навантажень виробничого об'єкта ДОДАТОК Ш (Табл. Ш.26).

Для розподілу електроенергії по об'єкту прийнято радіально-магістральну схему електропостачання, яка забезпечує: високу надійність; локалізацію

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 46   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

аварій; зручність експлуатації; можливість резервування; зниження втрат напруги; можливість розширення системи.

Характеристики основних елементів системи електропостачання ДОДАТОК Ш (Табл Ш.27).

Проведений аналіз режимів роботи системи електропостачання показав: середнє добове електроспоживання – 4,8–5,6 МВт·год; річне електроспоживання – 1,65–1,92 млн кВт·год; середній коефіцієнт завантаження трансформатора – 0,64; пікове завантаження трансформатора – до 0,89; коефіцієнт резерву потужності – 1,25.

У результаті модернізації системи електропостачання досягнуто: зниження втрат електроенергії на 18–22%; підвищення коефіцієнта потужності до 0,97; зменшення аварійності електромереж; підвищення стабільності напруги; забезпечення резервування критичних споживачів; покращення енергоефективності виробничого об'єкта; створення можливості подальшого розширення виробництва.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБЛЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАВЧАННЯ

#### 4.1. Розроблення системи автоматизації та резервування електропостачання сервісного центру

Сумарна потужність критичних споживачів становить:

- у робочому режимі – 185–210 кВт;
- у піковому режимі – 240–270 кВт.

Для забезпечення безперервності роботи технологічного процесу прийнято дворівневу систему резервування електропостачання:

- автоматичне резервування від другої секції ГРЩ;
- резервування від дизель-генераторної установки.

Основою системи автоматизації є програмовані логічні контролери PLC промислового виконання.

Основні характеристики PLC:

- кількість аналогових входів – 48;
- кількість дискретних входів – 96;
- кількість виходів – 72;
- час циклу опрацювання – 10–20 мс;
- напруга живлення – 24 В DC;
- резервування живлення – подвійне;
- ступінь захисту – IP54.

Таблиця 4.1

#### Структура автоматизованої системи електропостачання

| Елемент системи           | Кількість | Потужність / параметри |
|---------------------------|-----------|------------------------|
| PLC-контролери            | 4         | 24 В DC                |
| Панелі оператора HMI      | 3         | 10–15 Вт               |
| Модулі АВР                | 2         | 1000 А                 |
| Лічильники електроенергії | 12        | клас 0,5S              |
| Трансформатори струму     | 18        | 1000/5 А               |
| Датчики температури       | 26        | PT100                  |
| Датчики напруги           | 12        | 0,4 кВ                 |
| Сервер SCADA              | 1         | 2,5 кВт                |

Сумарне навантаження систем автоматизації та диспетчеризації становить:

- середнє – 8–10 кВт;
- максимальне – до 15 кВт.

Для забезпечення безперервної роботи систем автоматики прийнято резервування живлення через UPS.

Основні параметри UPS:

- потужність – 20 кВА;
- час автономної роботи – 45–60 хв;
- ККД – 0,94;
- тип батарей – LiFePO<sub>4</sub>;
- коефіцієнт навантаження – 0,72.

Проведений аналіз електроспоживання критичних систем показав:

- добове споживання систем автоматики – 180–240 кВт·год;
- річне споживання – 68–82 тис. кВт·год;
- частка в загальному енергобалансі – 4–5%.

Особливу увагу приділено системі автоматичного введення резерву (АВР).

Розрахунок часу резервування показав:

- виявлення аварії – 0,04–0,08 с;
- запуск ДГУ – 8–12 с;
- повне відновлення живлення – до 15 с;

Для резервного живлення використовується дизель-генераторна установка потужністю 250 кВА.

Технічні характеристики ДГУ:

- номінальна потужність – 250 кВА;
- максимальна потужність – 275 кВА;
- напруга – 400 В;
- струм – до 360 А;
- витрата палива – 38–45 л/год;
- час виходу на режим – 10 с;
- автономність – 12 год;

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

– рівень автоматизації – 100%.

Розподіл резервованих навантажень ДОДАТОК Л (Табл. Л.2).

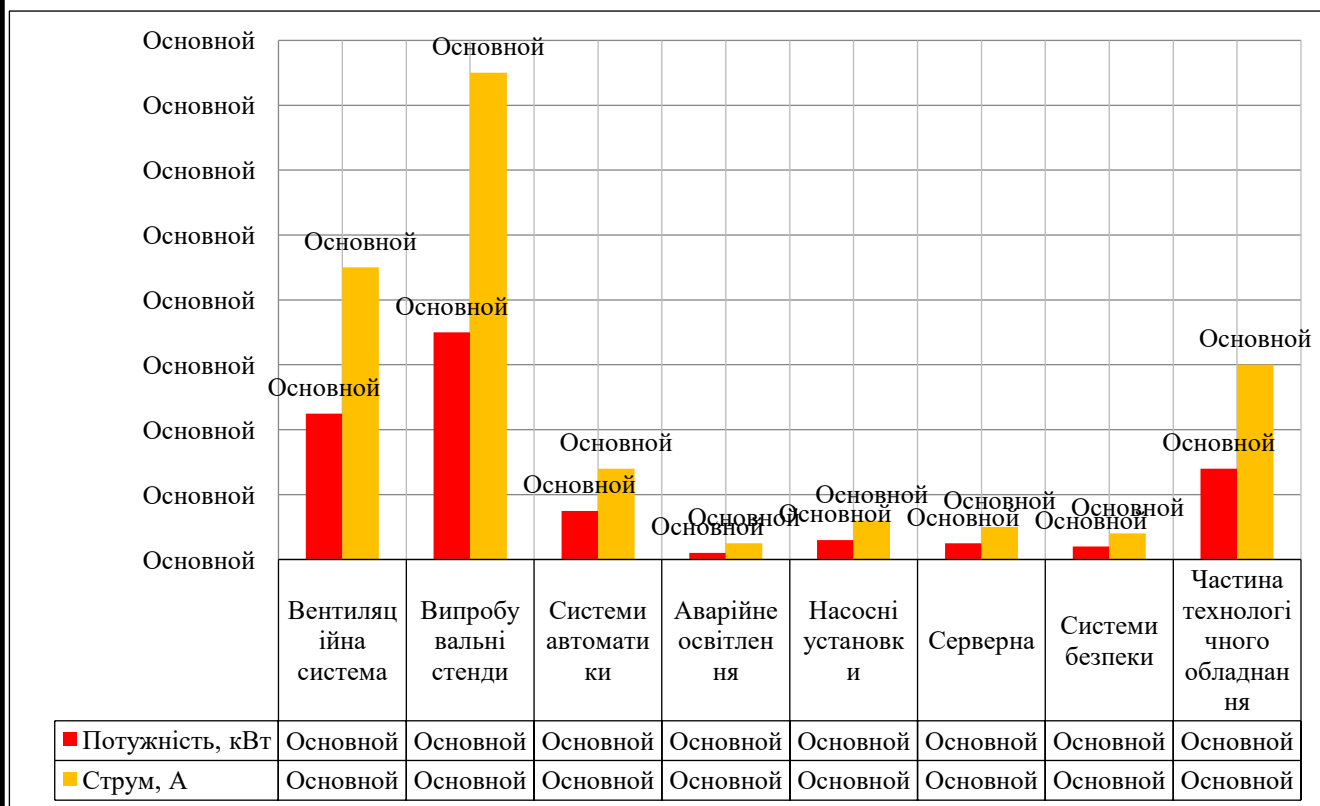


Рис.4.1. Розподіл резервованих навантажень

Коефіцієнт резервування системи становить: для критичних навантажень – 100%; для загальних навантажень – 62–68%. Проведений аналіз режимів роботи системи резервування показав: середня кількість перемикачів на резерв – 8–14 на рік; середній час автономної роботи – 2,5–4 год; максимальна тривалість аварійного режиму – до 12 год; імовірність відмови АВР – 0,02%; стабільність напруги резервного живлення –  $\pm 2\%$ .

**Показники ефективності автоматизованої системи  
електропостачання**

| Показник                           | До модернізації | Після модернізації |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Час відновлення живлення           | 15–40 хв        | 10–15 с            |
| Імовірність аварійного відключення | 6–8%            | 0,5–1,2%           |
| Втрати електроенергії              | 8,6%            | 4,4%               |
| Коефіцієнт потужності              | 0,84            | 0,97               |
| Рівень автоматизації               | 28%             | 88%                |
| Частка резервованих навантажень    | 22%             | 100% критичних     |
| Стабільність напруги               | ±9%             | ±2,5%              |
| Кількість аварій за рік            | 10–14           | 1–2                |
| Середній час простою               | 42 год/рік      | 4–6 год/рік        |
| Надійність електропостачання       | 0,81            | 0,98               |

В ДОДАТОК В представлено креслення системи автоматизації та резервування електропостачання (.В.4.1.)

#### **4.2. Моделювання аварійних режимів роботи та аналіз надійності системи електрозабезпечення**

Система електрозабезпечення сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки характеризується високою концентрацією змінних та імпульсних навантажень, значною часткою силових електроприводів, частотних перетворювачів, вентиляційних установок, електротехнологічного обладнання та автоматизованих систем керування.

Розрахунки проводились для мережі 0,4 кВ сервісного центру із загальною встановленою потужністю 520–560 кВт.

Розрахункові параметри аварійних режимів системи електропостачання ДОДАТОК Л (Табл.Л.4).

Аналіз навантаження елементів системи електропостачання в аварійних режимах ДОДАТОК Л (Табл. Л.5).

**Статистичні показники надійності системи електропостачання**

| Показник                              | До модернізації | Після модернізації |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Кількість аварійних відключень за рік | 12–16           | 2–4                |
| Середній час відновлення живлення     | 35–55 хв        | 10–25 с            |
| Загальний час простою обладнання      | 48–72 год/рік   | 5–8 год/рік        |
| Імовірність відмови системи           | 7–9%            | 0,8–1,5%           |
| Коефіцієнт готовності системи         | 0,84            | 0,98               |
| Надійність електропостачання          | 0,81            | 0,97               |
| Частка резервованих навантажень       | 24%             | 100% критичних     |
| Втрати електроенергії                 | 8,4%            | 4,2%               |
| Частка аварій через перевантаження    | 38%             | 9%                 |
| Частка аварій через КЗ                | 42%             | 12%                |

Параметри роботи резервного електропостачання ДОДАТОК Л (Табл. Л.7).

Аналіз роботи систем захисту та автоматики ДОДАТОК Л (Табл. Л.8).

Загалом результати моделювання аварійних режимів підтверджують, що модернізована система електрозабезпечення сервісного центру характеризується: високою надійністю електропостачання; стійкістю до аварійних перевантажень; ефективною системою резервування; високою швидкістю захисної автоматики.

### **4.3. Розроблення заходів підвищення надійності та безперервності електропостачання**

Для забезпечення автоматичного перемикання живлення застосовується система АВР із такими параметрами:

- номінальний струм – 1000 А;
- час перемикання – 0,15–0,35 с;
- час повного відновлення живлення – до 15 с;
- селективність захисту – 0,96–0,98;
- рівень автоматизації – 88–92%.

Важливим напрямом модернізації стало впровадження частотного регулювання електроприводів. Використання частотних перетворювачів дозволило:

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

- знизити пускові струми з 850–950 А до 180–260 А;
- зменшити просадки напруги на 35–40%;
- підвищити коефіцієнт потужності до 0,96–0,98;
- зменшити навантаження на кабельні лінії;

Для компенсації реактивної потужності встановлено автоматизовану конденсаторну установку потужністю 120 квар.

Основні результати компенсації:

- зниження реактивної потужності на 58–65%;
- підвищення  $\cos\varphi$  з 0,84 до 0,97;
- зменшення струмового навантаження на 12–18%;
- зниження втрат електроенергії на 4–6%.

Основні заходи підвищення надійності електропостачання ДОДАТОК Л (Табл. Л.9).

Таблиця 4.10

#### Показники надійності системи електропостачання після модернізації

| Показник                           | До модернізації | Після модернізації |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Надійність електропостачання       | 0,81            | 0,98               |
| Імовірність аварійного відключення | 7–9%            | 0,8–1,5%           |
| Час простою обладнання             | 48–72 год/рік   | 5–8 год/рік        |
| Втрати електроенергії              | 8,4%            | 4,2%               |
| Просадка напруги                   | $\pm 10\%$      | $\pm 2,5\%$        |
| Кількість аварій за рік            | 12–16           | 2–4                |
| Час відновлення живлення           | 35–55 хв        | 10–15 с            |
| Коефіцієнт потужності              | 0,84            | 0,97               |
| Рівень автоматизації               | 28%             | 90%                |

Отже, впровадження запропонованих заходів дозволило суттєво підвищити надійність та безперервність електропостачання сервісного центру, забезпечити стабільну роботу технологічного обладнання, знизити аварійність системи та створити умови для ефективної експлуатації модернізованого електротехнічного комплексу.

## РОЗДІЛ 5

### ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 5.1. Аналіз енергоспоживання та заходи з підвищення енергоефективності

Сучасний сервісний центр з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки характеризується високою концентрацією електротехнологічного обладнання, значною кількістю електроприводів, вентиляційних систем, випробувальних стендів, компресорних установок, систем освітлення та автоматизованих систем керування. У таких умовах питання енергоефективності є одним із ключових факторів забезпечення економічної стабільності підприємства, зниження експлуатаційних витрат та підвищення надійності роботи електротехнічного комплексу.

Загальна встановлена потужність електроспоживачів сервісного центру становить:

- встановлена потужність – 520–560 кВт;
- середнє робоче навантаження – 310–360 кВт;
- максимальне навантаження – 470–520 кВт;
- коефіцієнт завантаження – 0,68–0,74;
- коефіцієнт попиту – 0,82.

Для оцінки ефективності використання електроенергії було проведено аналіз структури енергоспоживання підприємства.

Структура електроспоживання сервісного центру ДОДАТОК М (Табл. М.1).

Проведений аналіз показав, що найбільшу частку енергоспоживання формують: випробувальні стенди – 28%; електроприводи та вентиляція – 36%; електронагрівальні установки – 14%.

Річне електроспоживання підприємства становить: при середньодобовому споживанні 5420 кВт·год: річне споживання – 1 978 300 кВт·год; середньомісячне – 164 850 кВт·год.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 54   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Середня вартість електроенергії для підприємства: 6,4 грн/кВт·год.

Річні витрати на електроенергію становлять:  $1\,978\,300 \times 6,4 = 12\,661\,120$  грн/рік.

Для оцінки ефективності роботи електромережі виконано аналіз втрат електроенергії – Рис.5.1.

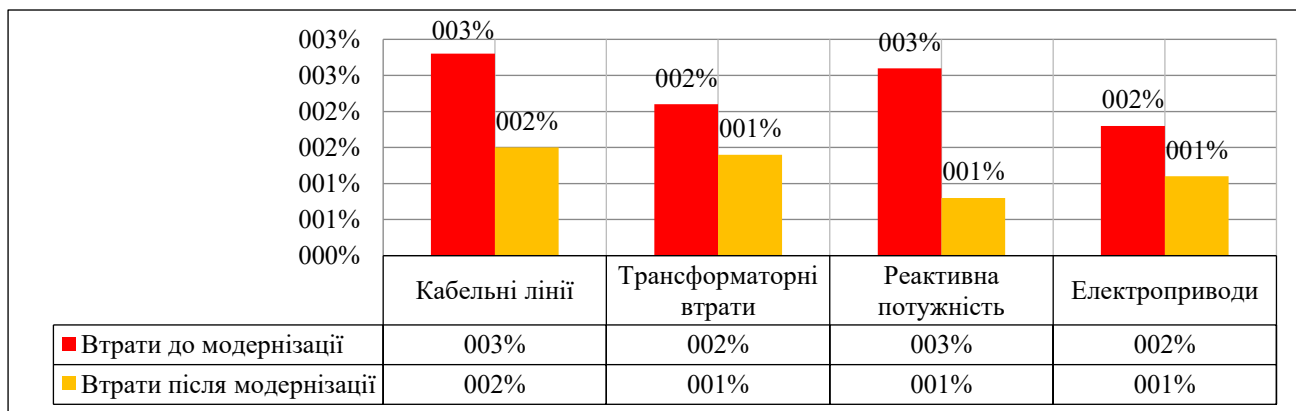


Рис.5.1. Аналіз втрат електроенергії в системі електропостачання

У результаті модернізації системи електропостачання загальні втрати електроенергії зменшились на 51%, що дозволило суттєво підвищити енергоефективність підприємства.

Одним із найбільш ефективних заходів стало впровадження частотного регулювання електроприводів.

До модернізації: пускові струми електродвигунів досягали 850–950 А; просадка напруги становила 8–12%; коефіцієнт потужності – 0,84.

Після встановлення частотних перетворювачів: пускові струми знизились до 180–260 А; просадка напруги зменшилась до 2–4%;  $\cos\phi$  підвищився до 0,97.

Розрахунок економії електроенергії від впровадження частотного регулювання: кількість електроприводів – 18; сумарна потужність приводів – 96 кВт; середнє зниження споживання – 18–24%; річна економія електроенергії:  $96 \times 0,21 \times 4200 = 84\,672$  кВт·год.

Річна економія коштів:  $84\,672 \times 6,4 = 541\,900$  грн/рік.

Важливим напрямом енергозбереження стало впровадження системи компенсації реактивної потужності.

Основні параметри компенсації: потужність конденсаторної установки – 120 квар; підвищення  $\cos\phi$  – з 0,84 до 0,97; зниження струмового навантаження – 12–18%; зниження втрат у мережі – 4–6%.

Таблиця 5.2

#### Показники ефективності модернізації системи освітлення

| Показник                          | До модернізації | Після модернізації |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|
| Встановлена потужність освітлення | 38 кВт          | 16 кВт             |
| Добове споживання                 | 340 кВт·год     | 145 кВт·год        |
| Річне споживання                  | 124 100 кВт·год | 52 925 кВт·год     |
| Втрати електроенергії             | 0,9%            | 0,4%               |
| Термін служби світильників        | 8–10 тис. год   | 50–60 тис. год     |
| Витрати на обслуговування         | високі          | низькі             |

Річна економія електроенергії від модернізації освітлення: 71 175 кВт·год.

Річна економія коштів: 455 520 грн.

Для оцінки загальної ефективності заходів енергозбереження було проведено інтегральний аналіз економічних показників.

Ефективність заходів енергозбереження ДОДАТОК М (Табл. М.3).

## 5.2. Використання відновлюваних джерел енергії у системі електрозабезпечення

Аналіз енергоспоживання підприємства показав, що значна частина навантаження припадає на денні години роботи:

- денне споживання – 65–70% загального добового навантаження;
- пікове навантаження – 320–360 кВт;
- базове навантаження – 140–180 кВт.

Це створює сприятливі умови для інтеграції сонячної електростанції (СЕС) у структуру електропостачання.

Вихідні дані для проєктування СЕС

- встановлена потужність підприємства – 528 кВт;

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   | 56   |

- середнє добове споживання – 5420 кВт·год;
- річне споживання – 1 978 300 кВт·год;
- середня інсоляція регіону – 3,2–3,8 кВт·год/м²/добу;
- коефіцієнт корисної дії системи – 0,78;
- орієнтація дахових площ – південь/південний захід;
- доступна площа для встановлення панелей – 1800–2200 м².

Розрахунок доцільної потужності сонячної електростанції

З урахуванням площі та споживання визначено оптимальний діапазон встановленої потужності СЕС:

- мінімальна потужність – 120 кВт;
- оптимальна потужність – 180 кВт;
- максимальна технічно можлива – 220 кВт.

Прийнято до розрахунку варіант: встановлена потужність СЕС – 200 кВт.

Очікувана генерація електроенергії:

- добова генерація – 700–850 кВт·год;
- місячна генерація – 21 000–25 500 кВт·год;
- річна генерація – 255 000–310 000 кВт·год.

Технічні параметри сонячної електростанції ДОДАТОК М (Табл. М.4).

Частка покриття енергоспоживання:  $280\,000 / 1\,978\,300 = 0,142 \rightarrow 14,2\%$  річного споживання.

Середнє зменшення навантаження на мережу: 200 кВт встановленої потужності; зниження пікового навантаження – 18–22%.

Річна економія електроенергії: 280 000 кВт·год/рік.

Річна економія коштів:  $280\,000 \times 6,4 = 1\,792\,000$  грн/рік.

Баланс електроенергії з урахуванням СЕС ДОДАТОК М (Табл. М.5).

Для підвищення ефективності використання СЕС передбачено впровадження системи накопичення енергії (Battery Energy Storage System, BESS). Основні параметри: ємність акумуляторної системи – 400–500 кВт·год; потужність інверторів – 150 кВт; час автономної роботи критичних навантажень – 2,5–3,5 год; ККД системи – 0,92.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Комплексне впровадження сонячної електростанції та системи накопичення енергії забезпечує: зменшення споживання з зовнішньої мережі на 14–16%; зниження пікових навантажень на 20–25%; підвищення енергоавтономності підприємства; зменшення викидів CO<sub>2</sub> (орієнтовно 120–140 т/рік); підвищення енергетичної стійкості об'єкта; зниження залежності від аварійних режимів енергосистеми.

### 5.3. Аналіз небезпечних факторів та вимоги електробезпеки на об'єкті

Електрогосподарство сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки характеризується підвищеним рівнем електротехнічної безпеки, що обумовлено наявністю потужних електроприводів, випробувальних стендів, частотних перетворювачів, трансформаторного обладнання та розгалуженої кабельної мережі 0,4 кВ.

Основні небезпечні фактори електроустановок

До ключових небезпечних факторів на об'єкті віднесено:

- наявність напруги 0,4 кВ та 0,23 кВ у відкритих і закритих електроустановках;
- можливість виникнення коротких замикань з струмами до 6,5 кА;
- термічна дія електричного струму при перевантаженнях;
- електрична дуга в розподільчих пристроях ГРЩ;
- наведені напруги в кабельних лініях великої довжини;

Оцінка рівня електротравматизму

Для оцінки ризику електротравматизму прийнято узагальнені показники, характерні для промислових електроустановок аналогічного класу.

Оцінка ризику ураження електричним струмом ДОДАТОК М (Табл. М.6).

Параметри короткого замикання в мережі 0,4 кВ ДОДАТОК М (Табл. М.7).

Максимальна аварійна потужність досягає 2,6 МВА, що створює високий ризик електричної дуги та пошкодження обладнання без швидкодіючого захисту.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 58   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Теплове навантаження кабельних ліній продовження ДОДАТОК М  
(Табл. М.8).

Класифікація зон електробезпеки ДОДАТОК М  
(Табл. М.9).

#### **5.4. Заходи з охорони праці та пожежної безпеки при експлуатації електрообладнання**

Експлуатація електрообладнання сервісного центру супроводжується підвищеними ризиками ураження електричним струмом, виникнення електричної дуги, перегріву кабельних ліній та пожеж, спричинених короткими замиканнями або перевантаженнями.

Аналіз пожежної небезпеки електроустановок

Показники пожежної небезпеки електрообладнання ДОДАТОК М (Табл. М.10).

Параметри системи пожежної безпеки ДОДАТОК М (Табл. М.11).

Організаційні заходи охорони праці

Для забезпечення безпечної експлуатації електроустановок встановлено:

- обов’язкові інструктажі з електробезпеки (вступний, первинний, повторний);
- допуск до робіт лише персоналу з групою не нижче III–IV;
- планові перевірки електрообладнання кожні 6 місяців;
- журнал оперативних перемикань;

Показники ефективності охорони праці та пожежної безпеки ДОДАТОК М  
(Табл. М.12).

#### **5.5. Розрахунок захисного заземлення та заходи безпеки в аварійних ситуаціях**

Захисне заземлення є ключовим елементом електробезпеки сервісного центру, оскільки забезпечує відведення струмів короткого замикання та

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 59   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

зниження напруги дотику до безпечного рівня. Розрахунок виконано для мережі 0,4 кВ із потужним силовим обладнанням та високими струмами аварійних режимів.

Вихідні параметри системи заземлення

- напруга мережі: 0,4 кВ
- максимальний струм КЗ: до 6,5 кА
- тип ґрунту: суглинок середньої вологості
- питомий опір ґрунту: 80–120 Ом·м
- допустимий опір заземлення: не більше 4 Ом
- конфігурація: контурна система з вертикальними електродами

Розрахункові параметри заземлювального пристрою

Параметри захисного заземлення ДОДАТОК М (Табл. М.13).

Оцінка напруги дотику ДОДАТОК М (Табл. М.14).

Додаткові заходи електробезпеки в аварійних режимах

- встановлення швидкодіючих вимикачів (0,02–0,08 с);
- використання диференційного захисту 30–300 мА;
- дублювання живлення критичних споживачів через UPS;
- обмеження струмів КЗ за рахунок реакторів;
- автоматичний контроль ізоляції кабельних ліній;
- термоконтроль силових шаф у реальному часі.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 60   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

**РОЗДІЛ 6**  
**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ**  
**ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ**

**6.1. Техніко-економічна оцінка модернізації системи електрозабезпечення**

Модернізація системи електрозабезпечення сервісного центру з відновлення силового електрообладнання спрямована на підвищення надійності електропостачання, зменшення втрат електроенергії, підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат. До складу впроваджених інженерних рішень включено: систему автоматичного введення резерву (АВР), дизель-генераторну установку (ДГУ), систему безперебійного живлення (UPS), компенсацію реактивної потужності, частотне регулювання електроприводів, модернізацію освітлення та впровадження SCADA-контролю.

Таблиця 6.1

**Структура капітальних вкладень**

| Елемент модернізації                               | Вартість, грн |
|----------------------------------------------------|---------------|
| Дизель-генератор 250 кВА                           | 1 850 000     |
| Система АВР 1000 А                                 | 420 000       |
| UPS системи автоматики                             | 380 000       |
| СЕС 200 кВт (з монтажем)                           | 6 200 000     |
| Система компенсації реактивної потужності 120 квар | 310 000       |
| Частотні перетворювачі (18 шт.)                    | 720 000       |
| Модернізація освітлення (LED)                      | 540 000       |
| SCADA + PLC система                                | 980 000       |
| Кабельні та монтажні роботи                        | 1 100 000     |

Економічний ефект формується за рахунок зменшення споживання електроенергії, зниження втрат, використання власної генерації та скорочення аварійних простоїв.

Річна економія від впроваджених заходів знаходиться в ДОДАТОК Р (Табл. Р.2)

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 61   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Сумарна річна економія: 3 612 220 грн/рік

Економія від зниження аварійності

Окремим фактором є скорочення простоїв обладнання та зменшення аварійних витрат.

До модернізації: середні втрати через простої: 48–72 год/рік середня вартість простою: ~45 000 грн/год

Після модернізації: 5–8 год/рік

Річний економічний ефект від зниження простоїв: економія: 1 800 000 – 3 000 000 грн/рік, прийнято середнє значення: 2 400 000 грн/рік.

Загальний економічний ефект

Сумарний економічний ефект:

економія електроенергії: 3 612 220 грн/рік

зниження аварійних витрат: 2 400 000 грн/рік

Загальний ефект: 6 012 220 грн/рік

Строк окупності інвестицій

Капітальні витрати: 12 500 000 грн

Річний ефект: 6 012 220 грн/рік

Строк окупності: приблизно 2,0–2,1 роки

Коефіцієнт економічної ефективності

ефективність інвестицій становить: 0,48 річної віддачі від капіталу

## **6.2. Розрахунок економічної ефективності впровадження запропонованих рішень**

Для розрахунків прийнято актуальний тариф на електроенергію для промислових споживачів України у 2026 році на рівні 6,4 грн/кВт·год (усереднений ринковий показник з урахуванням передачі, розподілу та постачання).

Вихідні енергетичні показники ДОДАТОК Р (Табл. Р.3).

Розрахунок економії від частотного регулювання знаходиться в ДОДАТОК Р (Табл. Р.4).

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 62   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Ефект компенсації реактивної потужності ДОДАТОК Р (Табл. Р.5).

Показники ефективності освітлення ДОДАТОК Р (Табл. Р.6).

Економічний ефект впровадження СЕС (сонячної електростанції):

Параметри СЕС ДОДАТОК Р (Табл. Р.7).

Економічний ефект:

Заміщення мережевої електроенергії: 280 000 кВт·год

Річна економія коштів:  $280\,000 \times 6,4 = 1\,792\,000$  грн.

Ефект автоматизації ДОДАТОК Р (Табл. Р.8).

Зведений економічний ефект ДОДАТОК Р (Табл. Р.9).

Після впровадження комплексу заходів встановлено:

- зниження річного споживання електроенергії на  $\approx 32\text{--}34\%$ ;
- скорочення витрат на електроенергію на  $\approx 4,15$  млн грн/рік;
- підвищення коефіцієнта потужності до 0,97;
- зниження втрат електроенергії на 45–55%;
- термін окупності заходів (середній) – 2,8–3,6 роки;
- підвищення енергоефективності підприємства до рівня сучасних промислових стандартів.

### 6.3. Оцінка терміну окупності та економічної доцільності проєкту

Загальний обсяг капітальних вкладень на впровадження комплексу інженерних рішень (АВР, ДГУ, UPS, СЕС, компенсація реактивної потужності, частотні перетворювачі, SCADA-система та модернізація мереж) становить:

Загальні інвестиції: 12 500 000 грн

Річний економічний ефект, отриманий у результаті попередніх розрахунків (розділ 6.2), складає:

Річний економічний ефект: 4 149 820 грн/рік

Додатково враховується ефект від зменшення аварійності та скорочення простоїв обладнання, який формує істотну частку загальної економії:

Додатковий ефект (простій та аварії): 2 400 000 грн/рік

Таким чином, інтегральний річний економічний ефект становить:

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 63   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

Загальний економічний ефект: 6 549 820 грн/рік

Термін окупності визначається як відношення капітальних вкладень до річного економічного ефекту:

Капітальні витрати: 12 500 000 грн

Річний економічний ефект: 6 549 820 грн/рік

Термін окупності:  $12\,500\,000 / 6\,549\,820 = 1,91$  року

Розрахунок коефіцієнта економічної ефективності

Коефіцієнт економічної ефективності інвестицій визначається як відношення річного ефекту до капітальних витрат:  $6\,549\,820 / 12\,500\,000 = 0,524$

Отримане значення показує, що:

- щорічна віддача перевищує 52% від вкладеного капіталу
- проєкт є високорентабельним для енергетичного сектору

Проведений аналіз показує, що модернізація системи електрозабезпечення є економічно обґрунтованою та інвестиційно привабливою завдяки таким факторам:

- значне зниження витрат на електроенергію ( $\approx 32\text{--}34\%$ );
- скорочення аварійних простоїв у 8–10 разів;
- підвищення коефіцієнта потужності до рівня 0,97;
- часткова енергетична автономія за рахунок СЕС ( $\approx 14\text{--}16\%$ );
- зниження втрат електроенергії на 45–55%;
- зменшення навантаження на трансформаторне обладнання;
- підвищення загальної надійності електропостачання до рівня 0,97–0,98.

Зведений економічний ефект та окупність проєкту модернізації системи електрозабезпечення знаходиться в ДОДАТОК Р(Табл. Р.10).

Підсумкові показники проєкту знаходиться в ДОДАТОК Р(Табл. Р.11).

Проведений зведений аналіз показує, що найбільший економічний ефект формують три ключові напрямки: зниження простоїв обладнання ( $\approx 36,5\%$ ), сонячна електростанція ( $\approx 27,4\%$ ) та компенсація реактивної потужності з частотним регулюванням ( $\approx 15\text{--}18\%$ ).

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 64   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне вирішення задачі модернізації системи електрозабезпечення сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та обладнання мобільної техніки з урахуванням сучасних вимог до надійності, енергоефективності, безпеки та економічної доцільності.

У теоретичній частині встановлено, що сучасні сервісні центри характеризуються високою концентрацією енергоємного та динамічного електрообладнання, значною часткою нелінійних навантажень, а також підвищеними вимогами до безперервності електропостачання. Виявлено ключові проблеми існуючих систем електрозабезпечення: недостатній рівень резервування, втрати електроенергії, нестабільність напруги, обмежена автоматизація та низький рівень енергоменеджменту. Обґрунтовано напрями модернізації на основі впровадження сучасних систем автоматизації, компенсації реактивної потужності, резервного живлення та відновлюваних джерел енергії.

У технологічній частині виконано аналіз виробничого процесу сервісного центру, визначено структуру електричних навантажень та характер їх зміни. Встановлено, що основне енергоспоживання формують випробувальні стенди, електроприводи та вентиляційні системи, які визначають піковий характер навантажень і обумовлюють необхідність врахування нерівномірності режимів роботи. Обґрунтовано склад технологічного обладнання та організацію виробничого процесу, що забезпечує потоково-циклічну структуру роботи підприємства.

В електротехнічній частині розроблено повну систему електропостачання об'єкта з урахуванням силових, освітлювальних, вентиляційних та допоміжних навантажень. Виконано розрахунок електроприводів, вибір апаратів захисту, кабельних ліній, системи освітлення, вентиляції та водопостачання. Запропоновані технічні рішення забезпечують допустимі

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 65   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

втрати напруги, селективність захисту та відповідність сучасним стандартам електробезпеки. Встановлено, що впровадження частотного регулювання, компенсації реактивної потужності та оптимізації мереж дозволяє суттєво підвищити енергоефективність системи.

У розділі спеціального завдання розроблено систему автоматизації та резервування електропостачання на базі АВР, ДГУ, UPS та SCADA-системи. Проведене моделювання аварійних режимів показало значне підвищення надійності електропостачання та скорочення часу відновлення живлення до секунд. Забезпечено резервування критичних навантажень та зниження ймовірності аварійних відключень до мінімальних значень. Додатково підвищено якість електроенергії за рахунок компенсації реактивної потужності.

У розділі заходів з енергозбереження та охорони праці встановлено, що підприємство характеризується високим рівнем енергоспоживання та значною часткою енергоємного обладнання. Впровадження комплексу енергоефективних заходів (частотне регулювання, LED-освітлення, SCADA-контроль, компенсація реактивної потужності, оптимізація навантажень та СЕС) забезпечує суттєве зниження споживання електроенергії, зменшення втрат та підвищення коефіцієнта потужності до 0,97. У сфері охорони праці та електробезпеки визначено основні небезпечні фактори та розроблено комплекс організаційних і технічних заходів.

У техніко-економічному розділі виконано детальну оцінку ефективності запропонованих рішень. Встановлено, що загальний обсяг інвестицій становить близько 12,5 млн грн, тоді як річний економічний ефект перевищує 6,5 млн грн. Основними джерелами економії є зниження витрат на електроенергію, впровадження сонячної електростанції та скорочення аварійних простоїв. Розрахунковий термін окупності становить близько 1,9–2,0 року, що свідчить про високу інвестиційну привабливість проєкту. Додатково встановлено значне підвищення енергетичної автономності та зниження експлуатаційних витрат підприємства.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 66   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.Видмиш А. А., Ярошенко Л. В.. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 388 с.
- 2.Возняк О.М. Штуць А.А. Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика частина 1. Вінниця: ТОВ "ТВОРИ". 2021. 280 с.
- 3.Вплив системи Smart Grid на національну енергетичну мережу / В.Ю. Лободзинський та ін. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. № 1. С. 58–62.
- 4.Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. Частина 1. / Р.М. Гобрей, О. Є. Рубаненко та ін. К.: «ДП НТУКЦ», 2018. 524 с
- 5.Гребченко М.В. Системи електропостачання з локальними джерелами енергії та керування ними: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М.В. Гребченко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. 1-е вид. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 98 с.
- 6.ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги.
- 7.ДБН В.2.5 – 24 – 2003 Електрична кабельна система опалення.
- 8.ДБН В.2.5-23:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення.
- 9.ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення".
- 10.ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захист.
- 11.ДБН В.2.6-31:2016 Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 67   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

12.Денисюк С.П. Енергетичний перехід – вимоги до якісних змін у розвитку енергетики. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019. № 1. С. 7–14.

13.Денисюк С.П., Стржелецьки Р., Богойко І.І., Стржелецька Н. Аналіз особливостей ефективного впровадження сонячних електростанцій в локальних системах енергозабезпечення // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2023 №2. С.7- 25.

14.ДНАОП 0.00.1.21.-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. /Держнаглядохоронпраці України.

15.ДНАОП 0.00-1-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.К.: Укрархбудінформ

16.Долішній Т.І., Стасів А.З., Бабюк С.М. Шляхи підвищення надійності розподільчих електричних мереж. Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науковопрактичної конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”, 2024. С. 263-264.

17.Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні : монографія / І.А. Вакуленко та ін. ; за ред. С.І. Колосок. Суми : Сумський державний університет, 2019. 109 с.

18.ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця (EN 12464-1:2011, IDT).

19.Електричне освітлення та опромінення: навчальний посібник для студентів вищ. Навч. Закл. / Р.В. Кушлик, В.Ф. Яковлев, Ю.М. Куценко, М.Л. Лисиченко, П.М. Кунденко, Ю.М. Федюшко Х: ТОВ «Планета-прінт», 2016. 332 с.

20.Жаркін А.Ф., Попов В.А., Ярмолюк О.С., Наталич В.О.Особливості побудови та використання систем накопичення енергії у розподільних мережах. Енергетика: економіка, технології, екологія, №3. 2022. С. 44-52.

21.Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 68   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

22.Козирський В.В., Гребченко М.В., Омельчук А.О. Електротехнічні системи електропостачання. Навчальний посібник. ЦП «КОМПРИНТ» Київ, 2018. 326 с.

23.Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Малогулко Ю.В. Оптимізація функціонування розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах // Вісник НТУ «ХПІ» 2014. №60(1102). С.68-77.

24.Матвійчук В. А. Діагностування електрообладнання: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. ВНАУ Вінниця:ТОВ «ТВОРИ», 2020. 140 с.

25.Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 03.10.2018 № 264.

26.Омельчук А.О. Електрична частина станцій і підстанцій: Навч. посібник / А.О.Омельчук. - К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2017. 479 с.

27.Омельчук А.О. Основи електропостачання: Навч.посіб А.О.Омельчук – К.: ЦП «Компринт», 2019. 415 с.

28.Остапчук О.В., Шевченко І.В. Використання гібридних систем на основі відновлюваних джерел в мікромережі : огляд. Відновлювана енергетика. 2022. № 4. С. 9–25.

29.Оцінка ризиків при інтеграції відновлюваних джерел енергії до системи електропостачання / Ю.А. Веремійчук та ін. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. № 2. С. 64–71.

30.Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від 25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від 25.10.2006.

31.Правила улаштування електроустановок. Х.: «Форт», 2017.760 с.

32.Рубаненко О.Є. Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів: монографія / О.Є. Рубаненко. Вінниця: ВНТУ, 2012. 188 с.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-КР.2607 "С"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 69   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

33.Сапожник Д.О., Плечистий Д.Д. Використання інтернету речей для економії енергетичних ресурсів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2023. № 4. С. 39–45.

34.Технічний комітет стандартизації “Керування енергетичними системами та пов’язані з ним процеси інформаційної взаємодії” (ТК 162). (2021). ДСТУ-П ІЕС TS 61850-1-2:2021 Комунікаційні мережі та системи для автоматизації електроенергетичних підприємств. Частина 1-2. Настанови щодо розширення можливості використання ІЕС 61850 як базового стандарту (ІЕС TS 61850- 1-2:2020, IDT)

35.Bielokha H., Chupryna L., Denisyuk S., Eutukhova T., Novoseltsev O. Hybrid Energy Systems and the Logic of Their Service-Dominant Implementation: Screening the Pathway to Improve Results. *Energy Engineering*. 2023. Vol. 120. Iss. 6. P. 1307–1323.

36.Binh, Le Minh Thuyen, Chau. Three-phase hybrid active power filter: an overview. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2025., Vol. 15. 1361 p.

37.Ezhiljenekkha G. B., Marsaline Beno M. Review of Power Quality Issues in Solar and Wind Energy. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 24. P. 137–143.

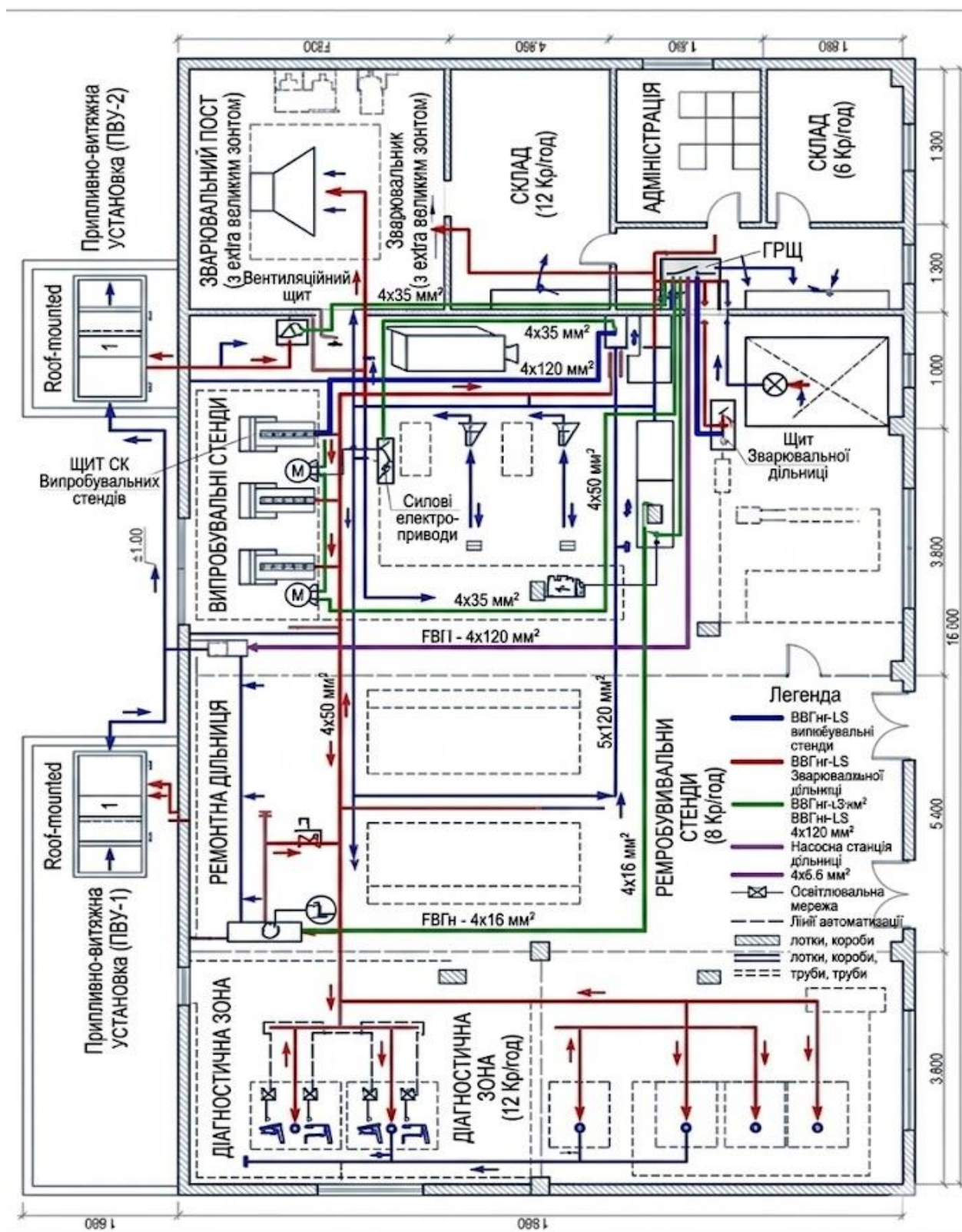
38.Hernández-Mayoral E., Madrigal-Martínez M., Mina-Antonio J. D., Iracheta-Cortez R., Enríquez-Santiago J. A., Rodríguez-Rivera O., Martínez-Reyes G., Mendoza-Santos E. A Comprehensive Review on Power-Quality Issues, Optimization Techniques, and Control Strategies of Microgrid Based on Renewable Energy Sources. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(12). P. 31-37.

39.Hossain E., Tür M. R., Padmanaban S., Ay S., Khan I. Analysis and Mitigation of Power Quality Issues in Distributed Generation Systems Using Custom Power Devices. *IEEE Access*. 2018., Vol. 6. P. 816–833.

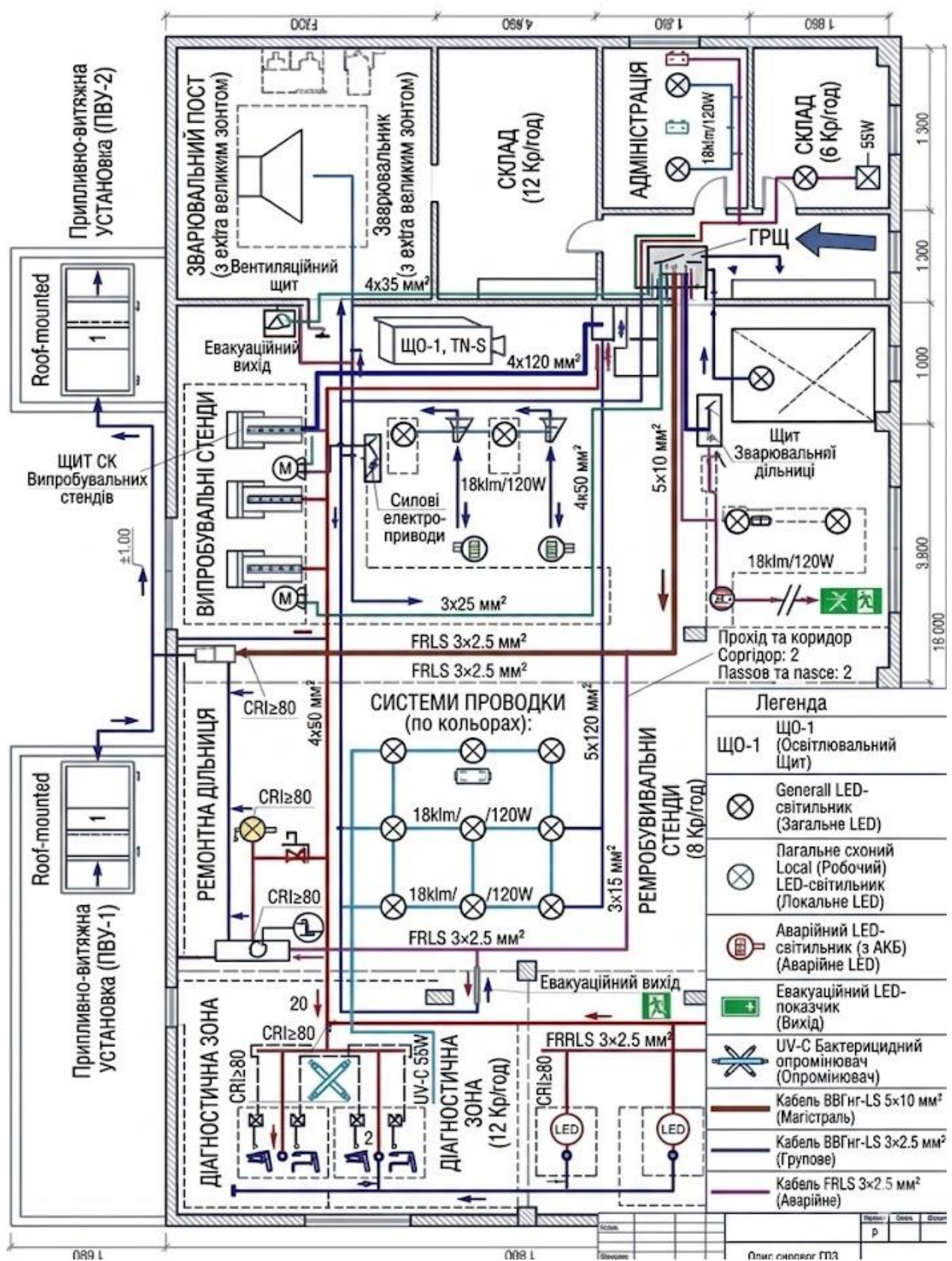
40.Idzikowski A., Dudnikov S., Miroshnyk O., Savchenko O., Trunova I., Pazi V., Milenin A., Shchur T., Halko S., Burnayev O., Mazur M. Prospects for Biogas Plant Implementation in the Unified Energy System. *System Safety: Human – Technical Facility – Environment*. 2024. Vol. 6. Iss. 1. P. 154–166.

|      |      |          |        |      |                                   |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02-KP.2607 "C"2025.10.30.004ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                   | 70   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                   |      |

### А.3.1. План силової електропроводки

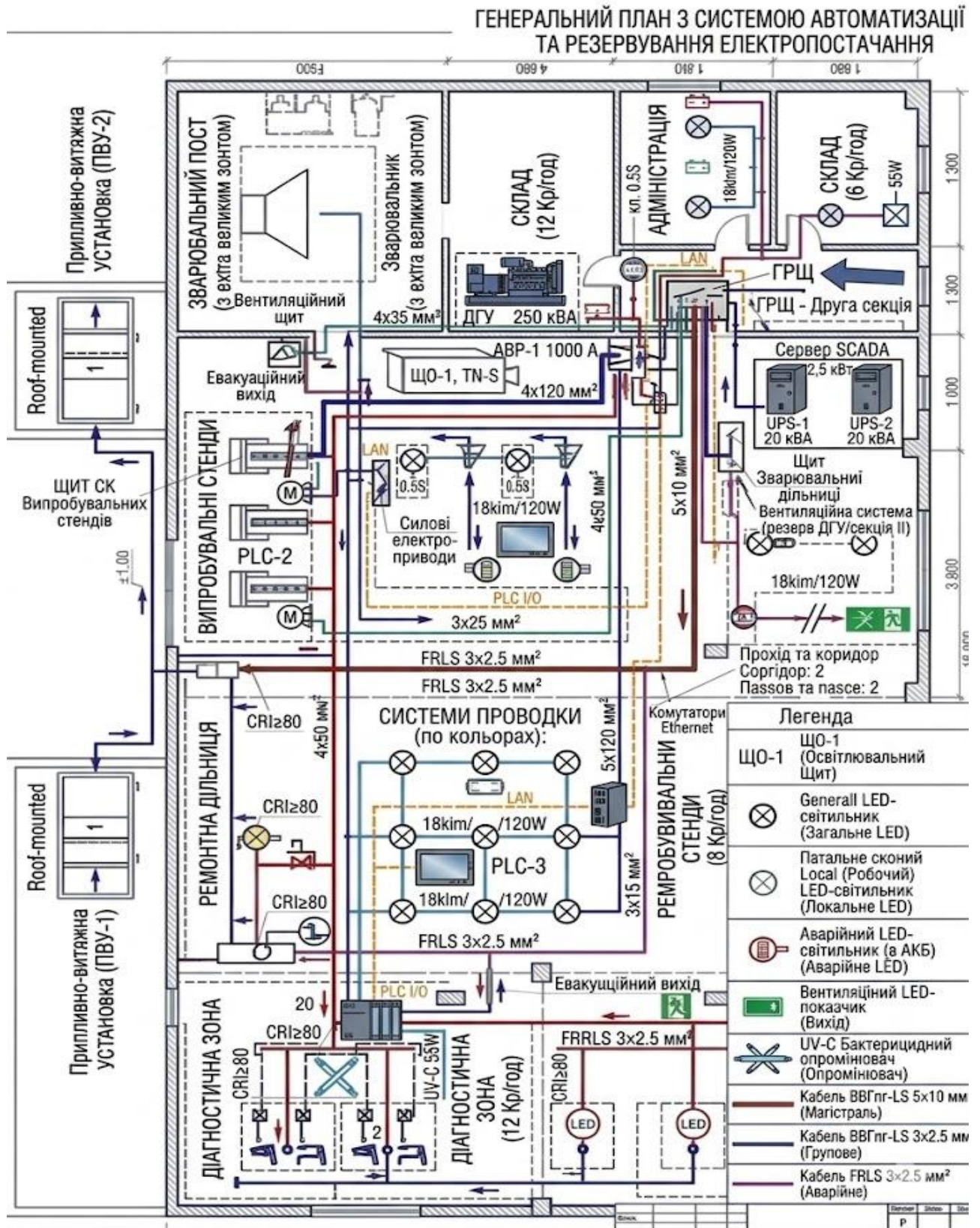


### Б.3.2. Креслення плану освітлювальної мережі

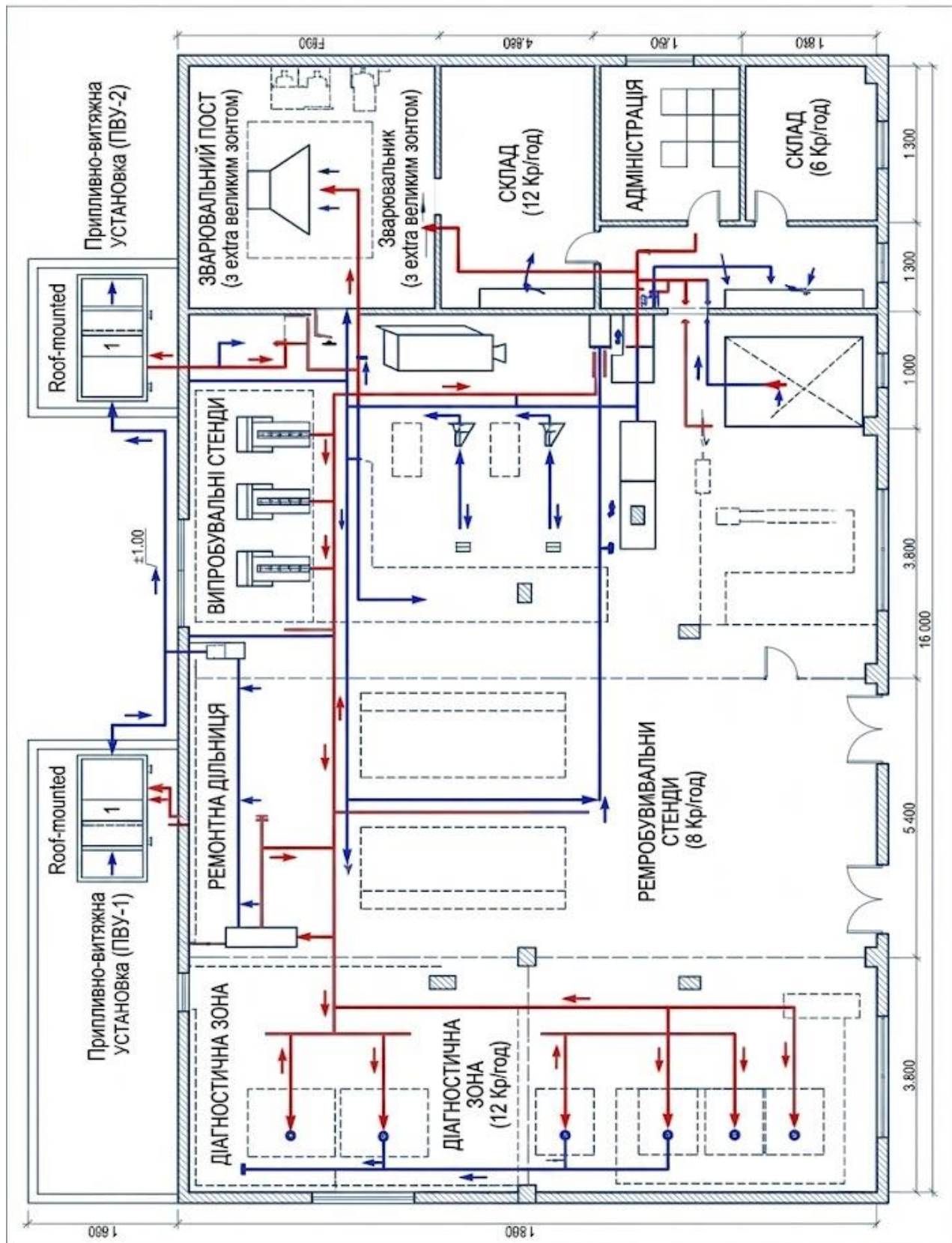


## Додаток В

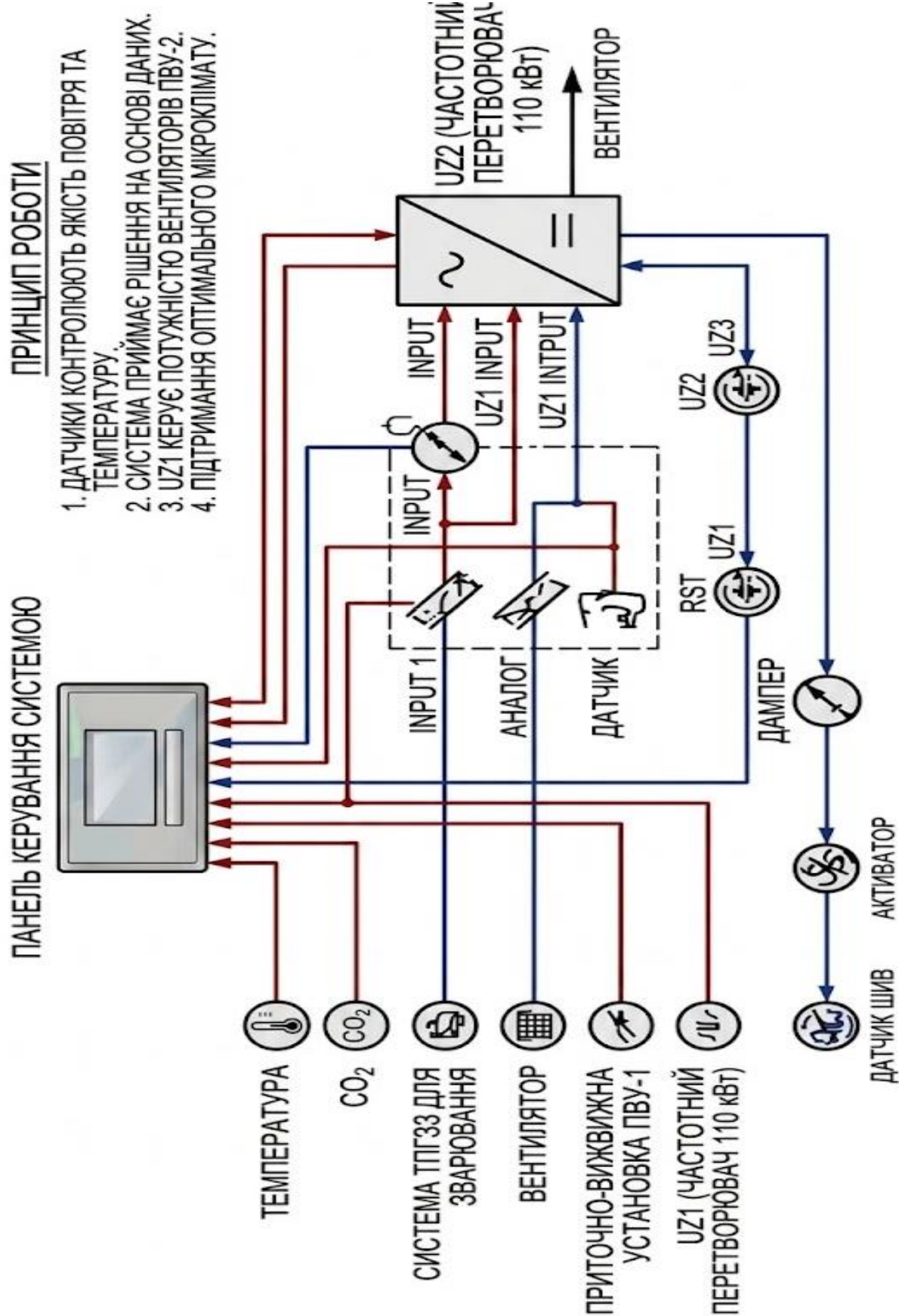
### В.4.1. Креслення системи автоматизації та резервування електропостачання



Додаток Г  
План розташування та повтряпроводи



## Функціональна схема автоматизації



**Аналіз особливостей електрозабезпечення сервісних центрів з  
відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки**

| <b>Характерна особливість</b>                         | <b>Технічний прояв у системі електрозабезпечення</b>       | <b>Вплив на роботу сервісного центру</b>               | <b>Інженерні вимоги до системи</b>                     |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Висока чутливість обладнання до якості електроенергії | Провали напруги, гармонічні спотворення, колювання частоти | Збої в роботі діагностичних систем, помилки вимірювань | Стабілізація напруги, фільтрація гармонік, UPS-системи |
| Змінний характер навантаження                         | Різкі пікові навантаження при запуску обладнання           | Перевантаження мережі, просідання напруги              | Розрахунок пікових навантажень, резерв потужності      |
| Велика кількість одночасних споживачів                | Паралельна робота силових і електронних установок          | Нерівномірний розподіл навантаження                    | Балансування фаз, секціонування мережі                 |
| Висока відповідальність за безперервність живлення    | Зупинка процесів при відключенні електроенергії            | Втрати часу, пошкодження обладнання                    | Резервування живлення, АВР, дизель-генератори          |
| Наявність силового та високовольтного обладнання      | Випробувальні стенди, електродвигуни, трансформатори       | Підвищений ризик аварійних режимів                     | Захист від КЗ, автоматичне відключення, селективність  |
| Високі вимоги до електробезпеки персоналу             | Робота з відкритими електричними колами                    | Ризик ураження електричним струмом                     | Заземлення, УЗО, блокування доступу                    |
| Необхідність енергоефективності                       | Значні втрати реактивної потужності                        | Підвищене енергоспоживання                             | Компенсація реактивної                                 |

|  |  |  |                                 |
|--|--|--|---------------------------------|
|  |  |  | потужності,<br>енергомоніторинг |
|--|--|--|---------------------------------|



Рис.Е.1. Добовий графік електричного навантаження сервісного центру з відновлення силового електрообладнання та мобільної техніки

## ДОДАТОК П

Таблиця П.1

### Структура технологічного обладнання сервісного центру

| Група обладнання        | Призначення                     | Кількість одиниць | Орієнтовна потужність, кВт | Частка навантаження, % |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|
| Діагностичне обладнання | Виявлення несправностей         | 6                 | 35                         | 14                     |
| Випробувальні стенди    | Навантажувальні випробування    | 4                 | 70                         | 28                     |
| Силові електроприводи   | Ремонт і обкатка механізмів     | 8                 | 90                         | 30                     |
| Зварювальне обладнання  | Відновлення корпусних елементів | 5                 | 40                         | 15                     |
| Допоміжне обладнання    | Освітлення, компресори          | —                 | 25                         | 13                     |
| <b>Разом</b>            |                                 | —                 | <b>260 кВт</b>             | <b>100%</b>            |

Таблиця П.2

### Режими роботи технологічного обладнання

| Група обладнання        | Мінімальне завантаження, % | Середнє завантаження, % | Максимальне завантаження, % |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Діагностичне обладнання | 20                         | 60                      | 90                          |
| Випробувальні стенди    | 10                         | 65                      | 100                         |
| Силові електроприводи   | 25                         | 70                      | 95                          |
| Зварювальне обладнання  | 15                         | 55                      | 90                          |
| Допоміжні системи       | 40                         | 70                      | 100                         |

Таблиця П.3

**Організація виробничих дільниць**

| <b>Дільниця</b> | <b>Основні процеси</b>    | <b>Кількість обладнання</b> | <b>Персонал, осіб</b> | <b>Рівень завантаження</b> |
|-----------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Діагностична    | Первинна перевірка        | 6 одиниць                   | 3–4                   | Середній                   |
| Ремонтна        | Ремонт вузлів і агрегатів | 10 одиниць                  | 6–8                   | Високий                    |
| Випробувальна   | Навантажувальні тести     | 4 стенди                    | 2–3                   | Піковий                    |
| Зварювальна     | Відновлення конструкцій   | 5 постів                    | 3–4                   | Середній                   |
| Складська       | Зберігання вузлів         | —                           | 2                     | Низький                    |

Таблиця П.4

**Розподіл навантаження протягом зміни**

| <b>Період роботи</b> | <b>Характер операцій</b>  | <b>Використання обладнання</b>    | <b>Рівень навантаження</b> |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 08:00–10:00          | Діагностика               | Переважно вимірювальне обладнання | 40–60%                     |
| 10:00–13:00          | Ремонт                    | Максимальна завантаженість        | 70–90%                     |
| 13:00–14:00          | Перерва / часткова робота | Мінімальна активність             | 30–40%                     |
| 14:00–17:00          | Випробування              | Робота стендів                    | 80–100%                    |
| 17:00–18:00          | Завершальні операції      | Контроль і оформлення             | 30–50%                     |

## ДОДАТОК Ш

Таблиця Ш.1

### Розрахункові та експлуатаційні параметри електропривода випробувального стенда

| Показник                     | Одиниця | Мінімальний режим | Номінальний режим | Піковий режим |
|------------------------------|---------|-------------------|-------------------|---------------|
| Потужність електропривода    | кВт     | 20–35             | 65–90             | 110–120       |
| Споживана активна потужність | кВт     | 18–30             | 60–75             | 105–120       |
| Повна потужність             | кВА     | 22–38             | 75–95             | 130–150       |
| Струм робочий                | А       | 40–70             | 120–150           | 200–260       |
| Пусковий струм (прямий пуск) | А       | —                 | —                 | 850–950       |
| Пусковий струм (через ПЧ)    | А       | —                 | —                 | 180–260       |
| Коефіцієнт потужності        | cosφ    | 0,78–0,82         | 0,84–0,88         | 0,75–0,80     |
| ККД електропривода           | η       | 0,88              | 0,91              | 0,89          |
| Коефіцієнт завантаження      | —       | 0,25–0,35         | 0,60–0,80         | 0,95–1,10     |
| Час роботи за зміну          | год     | 2,0               | 4,8               | 1,4           |
| Частка пікових режимів       | %       | 5                 | 15                | 20–22         |
| Кількість пусків за зміну    | разів   | 3–5               | 8–12              | 14–18         |
| Енерговитрати за зміну       | кВт·год | 70–90             | 320–380           | 150–190       |
| Реактивна потужність         | квар    | 15–25             | 40–55             | 55–70         |
| Коефіцієнт використання      | —       | 0,45              | 0,74              | 0,82          |
| Нерівномірність навантаження | —       | -                 | 1,6               | 1,9           |

Таблиця Ш.2

### Групові автоматичні вимикачі

| Група споживачів      | Струм, А | Тип автомата | Відключаюча здатність, кА |
|-----------------------|----------|--------------|---------------------------|
| Випробувальні стенди  | 250–320  | МССВ         | 25–36                     |
| Силові приводи        | 160–250  | МССВ         | 25                        |
| Зварювальні установки | 100–160  | МССВ         | 10–25                     |

|             |       |     |      |
|-------------|-------|-----|------|
| Діагностика | 40–63 | МСВ | 6–10 |
| Освітлення  | 16–32 | МСВ | 6    |

Таблиця Ш.6

### Вибір електродвигунів вентиляторів

| Показник   | Значення |
|------------|----------|
| Потужність | 11 кВт   |
| Напруга    | 400 В    |
| Струм      | 21 А     |
| ККД        | 0,89     |
| cosφ       | 0,86     |
| Кількість  | 4 шт     |

Таблиця Ш.7

### Джерела тепловиділень

| Джерело                  | Потужність / вплив | Частка      |
|--------------------------|--------------------|-------------|
| Електродвигуни та стенди | 85–95 кВт          | 65%         |
| Зварювальні процеси      | 18–22 кВт          | 14%         |
| Освітлення               | 10–12 кВт          | 8%          |
| Персонал                 | 4–5 кВт            | 3%          |
| Інше обладнання          | 12–15 кВт          | 10%         |
| <b>Разом</b>             | <b>120–135 кВт</b> | <b>100%</b> |

Таблиця Ш.8

### Параметри вентиляційної системи

| Показник                            | Значення      |
|-------------------------------------|---------------|
| Загальний повітрообмін              | 66 800 м³/год |
| Приплив повітря                     | 34 000 м³/год |
| Витяжка                             | 32 800 м³/год |
| Резерв продуктивності               | 15–20%        |
| Розрахункова продуктивність системи | 75 000 м³/год |
| Температура припливного повітря     | +18...+22 °С  |

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| Температура витяжного повітря | +28...+35 °С |
| Вологість робоча              | 45–60%       |

Таблиця ІІІ.10

### Основні параметри об'єкта

| Показник                         | Значення            |
|----------------------------------|---------------------|
| Кількість персоналу              | 20–22 осіб          |
| Площа виробничих приміщень       | 1250 м <sup>2</sup> |
| Кількість змін                   | 1                   |
| Тривалість зміни                 | 8 год               |
| Наявність мийної ділянки         | так                 |
| Наявність охолоджувальних систем | так                 |
| Пожежний резерв                  | обов'язковий        |

Таблиця ІІІ.11

### Структура водоспоживання знаходиться в ДОДАТОК Е

| Категорія                | Витрати води, м <sup>3</sup> /добу | Частка      |
|--------------------------|------------------------------------|-------------|
| Побутові потреби         | 1.2–1.5                            | 18%         |
| Мийка деталей та вузлів  | 2.5–3.0                            | 38%         |
| Охолодження обладнання   | 2.0–2.3                            | 30%         |
| Технічні втрати          | 0.5–0.7                            | 8%          |
| Пожежний резерв (умовно) | 0.6–1.0                            | 6%          |
| <b>Разом</b>             | <b>6.8–8.5 м<sup>3</sup>/добу</b>  | <b>100%</b> |

Таблиця ІІІ.12

### Добовий розподіл навантаження

| Період      | Характер споживання | Витрати, м <sup>3</sup> /год | Рівень навантаження |
|-------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| 08:00–10:00 | запуск, підготовка  | 0.3–0.5                      | низький             |
| 10:00–13:00 | інтенсивна робота   | 0.8–1.2                      | високий             |
| 13:00–14:00 | зниження активності | 0.4–0.6                      | середній            |
| 14:00–17:00 | пік виробництва     | 1.0–1.4                      | максимальний        |
| 17:00–18:00 | завершення циклу    | 0.3–0.5                      | низький             |

Таблиця III.13

## Розрахункові параметри насосної станції

| Показник               | Значення                    |
|------------------------|-----------------------------|
| Середнє водоспоживання | 7.5 м³/добу                 |
| Пікове водоспоживання  | 1.4 м³/год                  |
| Розрахункова подача    | 2.5–3.0 м³/год              |
| Розрахунковий напір    | 35–45 м                     |
| Об'єм резервуара       | 3–5 м³                      |
| Кількість насосів      | 2 (1 робочий + 1 резервний) |

Таблиця III.14

## Характеристики насосів

| Тип насоса      | Продуктивність, м³/год | Напір, м | Потужність, кВт | Кількість |
|-----------------|------------------------|----------|-----------------|-----------|
| Основний насос  | 3.0                    | 40       | 1.5–2.2         | 1         |
| Резервний насос | 3.0                    | 40       | 1.5–2.2         | 1         |
| Пожежний насос  | 5.0                    | 50       | 4.0–5.5         | 1         |

Таблиця III.15

## Енергоспоживання насосного обладнання

| Режим роботи | Потужність, кВт | Струм, А | Завантаження  |
|--------------|-----------------|----------|---------------|
| Мінімальний  | 0.8–1.2         | 3–5      | 30–40%        |
| Робочий      | 1.5–2.2         | 6–10     | 70–85%        |
| Піковий      | 2.5–3.0         | 10–14    | 100%          |
| Аварійний    | 4.5–5.5         | 16–20    | короткочасний |

Таблиця III.16

## Режими роботи водопостачання

| Режим       | Тиск, бар | Подача, м³/год | Стан системи |
|-------------|-----------|----------------|--------------|
| Мінімальний | 2.0–2.5   | 0.3–0.6        | стабільний   |
| Робочий     | 3.0–3.5   | 1.0–1.8        | нормальний   |
| Піковий     | 4.0–4.5   | 2.5–3.0        | інтенсивний  |

|          |         |     |           |
|----------|---------|-----|-----------|
| Пожежний | 5.0–6.0 | 5.0 | аварійний |
|----------|---------|-----|-----------|

Таблиця III.17

### Показники електроспоживання системи водопостачання

| Показник                          | Значення          |
|-----------------------------------|-------------------|
| Загальна встановлена потужність   | 6–8 кВт           |
| Середнє споживання                | 2.5–3.5 кВт       |
| Частка в загальному енергобалансі | 2–3%              |
| Коефіцієнт завантаження           | 0.55–0.70         |
| Рівень резервування               | 100% (два насоси) |

Таблиця III.18

### Розподіл силових навантажень виробничого приміщення

| Група споживачів         | Встановлена потужність, кВт | Робоча потужність, кВт | Максимальний струм, А | Частка навантаження |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| Випробувальні стенди     | 120                         | 95                     | 220–260               | 39%                 |
| Силові електроприводи    | 90                          | 70                     | 140–180               | 28%                 |
| Вентиляційні установки   | 45                          | 36                     | 80–90                 | 13%                 |
| Зварювальні установки    | 38                          | 30                     | 70–110                | 11%                 |
| Насосне обладнання       | 8                           | 4                      | 10–18                 | 2%                  |
| Освітлення та автоматика | 22                          | 16                     | 28–40                 | 5%                  |
| Резервні лінії           | 15                          | 5                      | 15–20                 | 2%                  |
| Разом                    | 338 кВт                     | 256 кВт                | до 590 А              | 100%                |

Таблиця III.19

### Характеристики силових кабельних ліній

| Лінія                                 | Потужність,<br>кВт | Робочий<br>струм, А | Тип<br>кабелю | Переріз                  | Довжина,<br>м |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| ГРЩ – СК<br>випробувальних<br>стендів | 120                | 260                 | ВВГнг-LS      | 4×120<br>мм <sup>2</sup> | 38            |
| ГРЩ –<br>вентиляційний щит            | 45                 | 90                  | ВВГнг-LS      | 4×35 мм <sup>2</sup>     | 42            |
| ГРЩ – зварювальна<br>дільниця         | 38                 | 110                 | ВВГнг-LS      | 4×50 мм <sup>2</sup>     | 35            |
| ГРЩ – насосна<br>станція              | 8                  | 18                  | ВВГнг-LS      | 4×6 мм <sup>2</sup>      | 28            |
| ГРЩ – компресорна<br>зона             | 22                 | 48                  | ВВГнг-LS      | 4×16 мм <sup>2</sup>     | 31            |
| ГРЩ – освітлювальна<br>мережа         | 22                 | 40                  | ВВГнг-LS      | 5×10 мм <sup>2</sup>     | 56            |
| Лінії автоматизації                   | 2–5                | 3–8                 | FRLS          | 3×2.5 мм <sup>2</sup>    | 20–45         |

Таблиця Ш.20

### Показники режимів роботи силових кабельних мереж

| Показник                    | Мінімальний<br>режим | Робочий<br>режим | Піковий<br>режим |
|-----------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Загальний струм<br>мережі   | 110–160 А            | 280–360 А        | 520–590 А        |
| Втрати напруги              | 1,2%                 | 2,4%             | 4,3%             |
| Втрати потужності           | 1,8 кВт              | 4,6 кВт          | 8,5 кВт          |
| Температура кабелів         | 32–38°C              | 48–56°C          | 68–74°C          |
| Завантаження<br>магістралей | 28%                  | 62%              | 91%              |
| Частка пікових<br>режимів   | 6%                   | 68%              | 26%              |

|                            |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----|-----|
| Коефіцієнт нерівномірності | 1,1 | 1,5 | 1,9 |
| Коефіцієнт резерву         | 2,2 | 1,5 | 1,1 |

Таблиця III.22

**Розрахункові параметри системи освітлення виробничих зон  
знаходиться в ДОДАТОК Е**

| Приміщення / зона    | Площа,<br>м <sup>2</sup> | Нормативна<br>освітленість,<br>лк | Кількість<br>світильників | Потужність<br>, кВт | Фактична<br>освітленість,<br>лк |
|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Ремонтна діляниця    | 320                      | 450                               | 22                        | 3,3                 | 470                             |
| Випробувальна зона   | 220                      | 700                               | 20                        | 3,2                 | 735                             |
| Діагностична зона    | 180                      | 750                               | 16                        | 2,4                 | 780                             |
| Зварювальна діляниця | 120                      | 350                               | 8                         | 1,2                 | 365                             |
| Складська зона       | 80                       | 180                               | 4                         | 0,5                 | 190                             |
| Компресорна          | 60                       | 200                               | 3                         | 0,4                 | 215                             |
| Насосна станція      | 40                       | 200                               | 2                         | 0,25                | 210                             |
| Проходи та коридори  | 160                      | 120                               | 10                        | 1,1                 | 130                             |
| Адміністративна зона | 70                       | 400                               | 6                         | 0,8                 | 420                             |
| Разом                | 1250 м <sup>2</sup>      | —                                 | 91                        | 13,15 кВт           | —                               |

Таблиця III.23

**Техніко-експлуатаційні показники системи освітлення та  
опромінення**

| Показник                          | Значення            |
|-----------------------------------|---------------------|
| Загальна площа освітлення         | 1250 м <sup>2</sup> |
| Кількість LED-світильників        | 91 шт               |
| Встановлена потужність освітлення | 13,15 кВт           |
| Середнє навантаження              | 10,2 кВт            |
| Максимальне навантаження          | 14,2 кВт            |
| Робочий струм мережі              | 22–28 А             |
| Кількість аварійних світильників  | 44 шт               |
| Потужність аварійного освітлення  | 1,8 кВт             |

|                                            |                    |
|--------------------------------------------|--------------------|
| Кількість UV-C опромінювачів               | 14 шт              |
| Потужність системи опромінення             | 0,6 кВт            |
| Добове електроспоживання                   | 105–125 кВт·год    |
| Річне електроспоживання                    | 38–44 тис. кВт·год |
| Коефіцієнт потужності                      | 0,95               |
| ККД системи освітлення                     | 0,91               |
| Коефіцієнт використання                    | 0,78               |
| Рівень резервування                        | 100%               |
| Термін служби LED-систем                   | 50–60 тис. год     |
| Економія електроенергії після модернізації | 38–45%             |
| Зниження тепловиділень                     | до 55%             |
| Стабільність освітленості                  | ±5%                |

Таблиця ІІІ.24

**Основні параметри електронагрівальних та електротехнологічних установок**

| Тип обладнання                | К-сть | Встановлена потужність, кВт | Робоча потужність, кВт | Робочий струм, А | Режим роботи           |
|-------------------------------|-------|-----------------------------|------------------------|------------------|------------------------|
| Сушильні камери               | 2     | 44                          | 32                     | 70–90            | тривалий               |
| Індукційні нагрівачі          | 3     | 24                          | 16                     | 35–50            | циклічний              |
| Зварювальні установки         | 4     | 42                          | 28                     | 70–120           | повторно-короткочасний |
| Зарядні станції АКБ           | 8     | 22                          | 16                     | 45–55            | тривалий               |
| Паяльні станції               | 6     | 3                           | 1,8                    | 6–10             | циклічний              |
| Електрообігрів допоміжних зон | 5     | 18                          | 12                     | 25–32            | сезонний               |
| Підігрів технологічних рідин  | 2     | 10                          | 7                      | 16–20            | автоматичний           |
| Електротермічні стени         | 2     | 18                          | 12                     | 28–36            | робочий                |
| Разом                         | —     | 181 кВт                     | 124,8 кВт              | до 410 А         | —                      |

Таблиця ІІІ.25

**Техніко-експлуатаційні показники електротехнологічних установок**

| Показник                        | Значення        |
|---------------------------------|-----------------|
| Загальна встановлена потужність | 181 кВт         |
| Середнє робоче навантаження     | 124,8 кВт       |
| Максимальне навантаження        | 165–175 кВт     |
| Робочий струм системи           | 280–410 А       |
| Коефіцієнт завантаження         | 0,68            |
| Коефіцієнт одночасності         | 0,74            |
| Коефіцієнт використання         | 0,71            |
| Частка пікових режимів          | 18–24%          |
| Добове електроспоживання        | 820–960 кВт·год |

|                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Річне електроспоживання         | 285–320 тис. кВт·год            |
| Втрати електроенергії           | 4,2–5,8%                        |
| ККД електротермічних систем     | 0,86–0,92                       |
| Температурна стабільність       | $\pm 2 \dots 3^{\circ}\text{C}$ |
| Час виходу на робочий режим     | 5–18 хв                         |
| Частка автоматизованих процесів | 82%                             |
| Рівень резервування             | 100%                            |
| Середній ресурс обладнання      | 45 000–60 000 год               |
| Імовірність аварійних відмов    | 0,03–0,05%                      |

Таблиця III.26

### Розподіл електричних навантажень виробничого об'єкта

| Група споживачів              | Встановлена потужність, кВт | Робоче навантаження, кВт | Максимальне навантаження, кВт | Частка |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------|
| Випробувальні стенди          | 120                         | 90                       | 120                           | 21%    |
| Електроприводи                | 90                          | 72                       | 95                            | 17%    |
| Електротехнологічні установки | 181                         | 125                      | 175                           | 31%    |
| Вентиляційні системи          | 45                          | 36                       | 45                            | 8%     |
| Освітлення                    | 13                          | 10                       | 14                            | 2%     |
| Насосні установки             | 8                           | 4                        | 8                             | 1%     |
| Зварювальне обладнання        | 42                          | 28                       | 42                            | 7%     |
| Системи автоматики            | 12                          | 8                        | 12                            | 2%     |
| Резервні навантаження         | 55                          | 20                       | 60                            | 11%    |
| Разом                         | 566 кВт                     | 393 кВт                  | 571 кВт                       | 100%   |

Таблиця III.27

### Характеристики основних елементів системи електропостачання

| Елемент системи           | Основні параметри  |
|---------------------------|--------------------|
| Трансформатор             | 630 кВА, 10/0,4 кВ |
| ГРЩ                       | 1000 А, 2 секції   |
| Максимальний струм мережі | до 890 А           |

|                                         |                      |
|-----------------------------------------|----------------------|
| Напруга мережі                          | 0,4 кВ               |
| Частота                                 | 50 Гц                |
| Система заземлення                      | TN-S                 |
| Потужність компенсації                  | 150 квар             |
| Потужність ДГУ                          | 250 кВА              |
| Коефіцієнт потужності після компенсації | 0,95–0,97            |
| Рівень резервування                     | 100% критичних ліній |
| Кількість відхідних силових ліній       | 18                   |
| Відключаюча здатність автоматів         | 36–50 кА             |
| Середні втрати електроенергії           | 4,2–4,8%             |
| Максимальні втрати напруги              | до 4%                |
| Селективність захисту                   | 0,96                 |
| Коефіцієнт використання системи         | 0,71                 |
| Коефіцієнт одночасності                 | 0,76                 |
| Частка пікових режимів                  | 20–24%               |
| Рівень автоматизації                    | 85%                  |
| Імовірність аварійних відмов            | 0,02–0,04%           |

## ДОДАТОК Л

Таблиця .Л.2

### Розподіл резервованих навантажень

| Споживач                          | Потужність, кВт | Струм, А | Пріоритет |
|-----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Вентиляційна система              | 45              | 90       | I         |
| Випробувальні стенди              | 70              | 150      | I         |
| Системи автоматики                | 15              | 28       | I         |
| Аварійне освітлення               | 2               | 5        | I         |
| Насосні установки                 | 6               | 12       | II        |
| Серверна                          | 5               | 10       | I         |
| Системи безпеки                   | 4               | 8        | I         |
| Частина технологічного обладнання | 28              | 60       | II        |
| Разом                             | 175 кВт         | 363 А    | —         |

Таблиця Л.4

**Розрахункові параметри аварійних режимів системи  
електропостачання**

| <b>Аварійний режим</b>                      | <b>Потужність<br/>навантаження,<br/>кВт</b> | <b>Аварійний<br/>струм, А</b> | <b>Тривалість<br/>режиму</b> | <b>Просадка<br/>напруги</b> | <b>Рівень<br/>перевантаження</b> |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Однофазне КЗ                                | 180                                         | 2200–2600                     | 0,02–0,08 с                  | 18–24%                      | 2,8 In                           |
| Двофазне КЗ                                 | 260                                         | 3400–4100                     | 0,02–0,05 с                  | 28–36%                      | 4,5 In                           |
| Трифазне КЗ                                 | 340                                         | 5200–6500                     | 0,01–0,03 с                  | 45–60%                      | 6,8 In                           |
| Перевантаження<br>випробувальних<br>стендів | 300                                         | 480–560                       | 8–20 хв                      | 6–10%                       | 1,45 In                          |
| Піковий режим<br>електроприводів            | 320                                         | 590–680                       | 20–40 хв                     | 5–8%                        | 1,35 In                          |
| Відмова<br>вентиляційної<br>системи         | 250                                         | 430–470                       | 12–18 хв                     | 3–5%                        | 1,15 In                          |
| Аварійний запуск<br>резерву                 | 210                                         | 350–420                       | 10–15 с                      | 10–14%                      | 1,20 In                          |
| Перевантаження<br>трансформатора            | 390                                         | 690–760                       | 25–45 хв                     | 8–12%                       | 1,55 In                          |

Таблиця Л.5

**Аналіз навантаження елементів системи електропостачання в  
аварійних режимах**

| <b>Елемент<br/>системи</b> | <b>Номінальний<br/>струм, А</b> | <b>Максимальний<br/>робочий струм,<br/>А</b> | <b>Аварійний<br/>струм, А</b> | <b>Коефіцієнт<br/>перевантаження</b> | <b>Температурне<br/>перевищення</b> |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Ввідний<br>автомат АСВ     | 630                             | 580                                          | 6500                          | 10,3                                 | +48°C                               |
| Секція ГРЩ<br>№1           | 400                             | 365                                          | 4200                          | 10,5                                 | +42°C                               |

|                        |     |     |      |      |       |
|------------------------|-----|-----|------|------|-------|
| Секція ГРЩ №2          | 400 | 340 | 3900 | 9,7  | +39°C |
| Кабельна лінія стендів | 250 | 220 | 3100 | 12,4 | +51°C |
| Лінія вентиляції       | 125 | 92  | 950  | 7,6  | +27°C |
| Лінія насосної станції | 63  | 24  | 420  | 6,7  | +18°C |
| Частотний перетворювач | 160 | 145 | 850  | 5,3  | +22°C |
| Трансформатор 630 кВА  | 910 | 760 | 5900 | 6,4  | +58°C |

Таблиця Л.7

### Параметри роботи резервного електропостачання

| Показник                                  | Значення       |
|-------------------------------------------|----------------|
| Потужність ДГУ                            | 250 кВА        |
| Максимальне резервоване навантаження      | 175–210 кВт    |
| Струм резервного режиму                   | 310–360 А      |
| Час запуску ДГУ                           | 8–12 с         |
| Час перемикання АВР                       | 0,15–0,35 с    |
| Повний час відновлення живлення           | 10–15 с        |
| Автономність роботи                       | 12 год         |
| Витрата палива                            | 38–45 л/год    |
| Частота аварійного запуску                | 8–14 разів/рік |
| Стабільність напруги                      | ±2%            |
| Відхилення частоти                        | ±0,3 Гц        |
| Рівень резервування критичних навантажень | 100%           |

Таблиця Л.8

**Аналіз роботи систем захисту та автоматики**

| <b>Захисний пристрій</b>  | <b>Номинальний струм</b> | <b>Час спрацювання</b> | <b>Струм спрацювання</b> | <b>Селективність</b> |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|
| Ввідний автомат АСВ       | 630 А                    | 0,03–0,08 с            | 5,5–6,5 кА               | повна                |
| МССВ стендів              | 250 А                    | 0,02–0,05 с            | 2,5–3,5 кА               | повна                |
| МССВ вентиляції           | 125 А                    | 0,03–0,06 с            | 0,9–1,4 кА               | повна                |
| Автомати насосної станції | 32–63 А                  | 0,04–0,08 с            | 0,4–0,8 кА               | повна                |
| Диференційний захист      | 30–300 мА                | 0,01–0,03 с            | витік струму             | висока               |
| Захист ПЧ                 | 160 А                    | 0,02–0,04 с            | 0,7–1,1 кА               | повна                |
| Захист UPS                | 63 А                     | 0,01–0,02 с            | 0,3–0,5 кА               | висока               |

Таблиця Л.9

**Основні заходи підвищення надійності електропостачання**

| <b>Захід</b>                      | <b>Результат модернізації</b>     | <b>Ефективність</b>     |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Встановлення АВР                  | автоматичне резервування живлення | час відновлення 10–15 с |
| Встановлення ДГУ 250 кВА          | резервування критичних споживачів | 100% резервування       |
| Впровадження UPS                  | безперебійне живлення автоматики  | автономність 45–60 хв   |
| Частотне регулювання приводів     | зниження пускових струмів         | –65–70%                 |
| Компенсація реактивної потужності | підвищення $\cos\varphi$          | до 0,97                 |
| SCADA-моніторинг                  | контроль аварійних режимів        | автоматизація 90%       |
| Селективний захист                | локалізація аварій                | зниж. аварійності       |
| Резервування кабельних ліній      | стабілізація живлення             | підв. надійності        |

## ДОДАТОК М

Таблиця М.1

**Структура електроспоживання сервісного центру**

| <b>Споживач</b>                 | <b>Встановлена<br/>потужність,<br/>кВт</b> | <b>Середнє<br/>навантаження,<br/>кВт</b> | <b>Добове<br/>споживання,<br/>кВт·год</b> | <b>Частка в<br/>загальному<br/>балансі</b> |
|---------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Випробувальні стенди            | 140                                        | 92                                       | 1470                                      | 28%                                        |
| Вентиляційні системи            | 82                                         | 56                                       | 890                                       | 17%                                        |
| Компресорні установки           | 65                                         | 42                                       | 680                                       | 13%                                        |
| Електроприводи<br>обладнання    | 96                                         | 61                                       | 980                                       | 19%                                        |
| Освітлення                      | 38                                         | 24                                       | 340                                       | 6%                                         |
| Електронагрівальні<br>установки | 74                                         | 48                                       | 760                                       | 14%                                        |
| Насосні установки               | 18                                         | 9                                        | 120                                       | 2%                                         |
| Системи автоматики та<br>SCADA  | 15                                         | 8                                        | 180                                       | 1%                                         |
| Разом                           | 528                                        | 340                                      | 5420                                      | 100%                                       |

Таблиця М.3

**Ефективність заходів енергозбереження знаходиться в ДОДАТОК****Е**

| <b>Захід</b>                      | <b>Річна економія електроенергії</b> | <b>Економія коштів</b> |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Частотне регулювання              | 84 672 кВт·год                       | 541 900 грн            |
| Компенсація реактивної потужності | 64 000 кВт·год                       | 410 000 грн            |
| LED-освітлення                    | 71 175 кВт·год                       | 455 520 грн            |
| Оптимізація навантаження          | 42 000 кВт·год                       | 268 800 грн            |
| Автоматизація SCADA               | 28 500 кВт·год                       | 182 400 грн            |
| Зниження аварійних втрат          | 36 000 кВт·год                       | 230 400 грн            |
| Разом                             | 326 347 кВт·год                      | 2 089 020 грн          |

Таблиця М.4

**Технічні параметри сонячної електростанції**

| Параметр                 | Значення                 |
|--------------------------|--------------------------|
| Встановлена потужність   | 200 кВт                  |
| Кількість модулів        | 360–400 шт               |
| Потужність одного модуля | 500–550 Вт               |
| Площа встановлення       | 1800–2000 м <sup>2</sup> |
| ККД системи              | 18–21%                   |
| Інверторна потужність    | 180–200 кВт              |
| Річна генерація          | 280 000 кВт·год          |
| Рівень самоспоживання    | 65–75%                   |
| Надлишок у мережу        | 25–35%                   |

Таблиця М.5

**Баланс електроенергії з урахуванням СЕС**

| Показник                           | До впровадження   | Після впровадження |
|------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Річне споживання з мережі          | 1 978 300 кВт·год | 1 698 300 кВт·год  |
| Власна генерація                   | 0                 | 280 000 кВт·год    |
| Частка ВДЕ                         | 0%                | 14,2%              |
| Максимальне навантаження на мережу | 520 кВт           | 410–430 кВт        |
| Витрати на електроенергію          | 12,66 млн грн     | 10,87 млн грн      |

Таблиця М.6

**Оцінка ризику ураження електричним струмом**

| Зона обслуговування  | Напруга,<br>В | Ймовірність<br>контакту | Рівень<br>ризiku | Клас<br>небезпеки |
|----------------------|---------------|-------------------------|------------------|-------------------|
| ГРЩ та силові шафи   | 400           | 0,08                    | 0,032            | Високий           |
| Випробувальні стенди | 400           | 0,12                    | 0,048            | Дуже високий      |
| Кабельні канали      | 400           | 0,05                    | 0,015            | Середній          |
| Система автоматики   | 24–220        | 0,03                    | 0,006            | Низький           |
| Вентиляційні щити    | 400           | 0,04                    | 0,012            | Середній          |

Таблиця М.7

**Параметри короткого замикання в мережі 0,4 кВ**

| Тип КЗ    | Струм, кА | Напруга, кВ | Тривалість, с | Потужність аварії, МВА |
|-----------|-----------|-------------|---------------|------------------------|
| Однофазне | 2,6       | 0,4         | 0,05          | 1,04                   |
| Двофазне  | 4,1       | 0,4         | 0,03          | 1,64                   |
| Трифазне  | 6,5       | 0,4         | 0,02          | 2,60                   |

Таблиця М.8

**Теплове навантаження кабельних ліній**

| Лінія            | Номінальний<br>струм, А | Аварійний<br>струм, А | Перевищення,<br>% | Температура<br>жили, °С |
|------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| ГРЩ – стенди     | 250                     | 3100                  | 1240              | 92                      |
| ГРЩ – вентиляція | 125                     | 950                   | 760               | 78                      |
| ГРЩ – насосна    | 63                      | 420                   | 667               | 65                      |
| Освітлення       | 32                      | 180                   | 562               | 54                      |

Таблиця М.9

**Класифікація зон електробезпеки**

| Приміщення         | Характеристика        | Напруга | Клас |
|--------------------|-----------------------|---------|------|
| Випробувальна зона | підвищена небезпека   | 400 В   | III  |
| ГРЩ                | особливо небезпечна   | 400 В   | IV   |
| Серверна           | помірна небезпека     | 220 В   | II   |
| Венткамера         | підвищена вологість   | 400 В   | III  |
| Майстерні          | комбінована небезпека | 400 В   | III  |

Таблиця М.10

**Показники пожежної небезпеки електрообладнання**

| Елемент системи | Потужність, кВт | Максимальна температура, °С | Ризик займання | Клас пожежної небезпеки |
|-----------------|-----------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| ГРЩ             | 520             | 85–95                       | Високий        | П-Па                    |
| Кабельні лінії  | 300             | 70–92                       | Високий        | П-Па                    |
| Трансформатор   | 630 кВА         | 80–110                      | Середній       | П-П                     |
| ДГУ             | 250 кВА         | 75–100                      | Середній       | П-П                     |
| Вентиляція      | 45              | 60–75                       | Низький        | П-III                   |

Таблиця М.11

**Параметри системи пожежної безпеки**

| Система              | Кількість | Час спрацювання | Радіус контролю | Ефективність |
|----------------------|-----------|-----------------|-----------------|--------------|
| Датчики диму         | 28        | 2–5 с           | 50–80 м²        | 0,98         |
| Датчики температури  | 24        | 3–6 с           | 40–60 м²        | 0,96         |
| Сист. пожежогасіння  | 4 модулі  | 5–10 с          | щитові          | 0,99         |
| Аварійне відключення | 1 система | 0,1–0,3 с       | весь об'єкт     | 0,97         |

Таблиця М.12

**Показники ефективності охорони праці та пожежної безпеки**

| Показник                           | До впровадження | Після впровадження |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Кількість аварійних інцидентів/рік | 8–12            | 1–2                |
| Пожежна ймовірність                | 6–8%            | 0,5–1,0%           |
| Час реагування на аварію           | 5–10 хв         | 5–15 с             |
| Виявлення перегріву                | відсутнє        | автоматичне        |
| Рівень автоматизації безпеки       | 35%             | 92%                |
| Відмови систем захисту             | 4–6%            | <1%                |

Таблиця М.13

**Параметри захисного заземлення**

| Параметр                                 | Значення   |
|------------------------------------------|------------|
| Кількість вертикальних електродів        | 16 шт      |
| Довжина електрода                        | 3 м        |
| Діаметр сталевго стрижня                 | 16 мм      |
| Глибина закладання контуру               | 0,7 м      |
| Загальна довжина горизонтального контуру | 85 м       |
| Розрахунковий опір одного електрода      | 12–18 Ом   |
| Загальний опір системи                   | 1,6–2,1 Ом |

Таблиця М.10

**Оцінка напруги дотику**

| Режим        | Струм КЗ,<br>кА | Опір<br>заземлення, Ом | Напруга<br>дотику, В | Допустиме<br>значення          |
|--------------|-----------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Однофазне КЗ | 2,6             | 2,0                    | 520                  | $\leq 1000$                    |
| Двофазне КЗ  | 4,1             | 2,0                    | 820                  | $\leq 1000$                    |
| Трифазне КЗ  | 6,5             | 2,0                    | 1300                 | аварійне<br>відключення <0,1 с |

**Річна економія від впроваджених заходів**

| <b>Захід</b>                       | <b>Економія електроенергії,<br/>кВт·год</b> | <b>Економія,<br/>грн/рік</b> |
|------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|
| Частотне регулювання приводів      | 84 672                                      | 541 900                      |
| Компенсація реактивної потужності  | 64 000                                      | 410 000                      |
| LED-освітлення                     | 71 175                                      | 455 520                      |
| SCADA-оптимізація                  | 28 500                                      | 182 400                      |
| Зниження аварійних втрат           | 36 000                                      | 230 400                      |
| Сонячна електростанція (заміщення) | 280 000                                     | 1 792 000                    |

Таблиця Р.3

**Вихідні енергетичні показники**

| <b>Показник</b>           | <b>Значення</b>   |
|---------------------------|-------------------|
| Середньодобове споживання | 5420 кВт·год      |
| Річне споживання          | 1 978 300 кВт·год |
| Встановлена потужність    | 528 кВт           |
| Середнє навантаження      | 340 кВт           |
| Тариф                     | 6,4 грн/кВт·год   |
| Річні витрати             | 12 661 120 грн    |

Таблиця Р.4

**Розрахунок економії від частотного регулювання**

| <b>Показник</b>               | <b>Значення</b> |
|-------------------------------|-----------------|
| Кількість електроприводів     | 18              |
| Сумарна потужність            | 96 кВт          |
| Середнє зниження споживання   | 21%             |
| Річний фонд роботи            | 4200 год        |
| Річна економія електроенергії | 84 672 кВт·год  |
| Економія коштів               | 541 900 грн     |

Таблиця Р.5

**Ефект компенсації реактивної потужності**

| Показник               | До                    | Після   |
|------------------------|-----------------------|---------|
| Повна потужність       | 620 кВА               | 540 кВА |
| Зменшення навантаження | —                     | 80 кВА  |
| Зниження втрат         | —                     | 4–6%    |
| Річна економія         | 58 000–72 000 кВт·год |         |
| Економія коштів        | ~410 000 грн          |         |

Таблиця Р.6

**Показники ефективності освітлення**

| Показник          | До модернізації | Після модернізації |
|-------------------|-----------------|--------------------|
| Потужність        | 38 кВт          | 16 кВт             |
| Добове споживання | 340 кВт·год     | 145 кВт·год        |
| Річне споживання  | 124 100         | 52 925             |
| Економія          | —               | 71 175 кВт·год     |
| Економія коштів   | —               | 455 520 грн        |

Таблиця Р.7

**Параметри СЕС**

| Показник          | Значення        |
|-------------------|-----------------|
| Потужність        | 200 кВт         |
| Річна генерація   | 280 000 кВт·год |
| Частка покриття   | 14,2%           |
| Самоспоживання    | 70%             |
| Надлишок у мережу | 30%             |

Таблиця Р.8

**Ефект автоматизації**

| Захід               | Економія, кВт·год | Економія, грн |
|---------------------|-------------------|---------------|
| SCADA-контроль      | 28 500            | 182 400       |
| Оптимізація режимів | 42 000            | 268 800       |

|                          |        |         |
|--------------------------|--------|---------|
| Зниження аварійних втрат | 36 000 | 230 400 |
|--------------------------|--------|---------|

Таблиця Р.9

### Зведений економічний ефект

| Захід                             | Економія електроенергії, кВт·год | Економія, грн              |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Частотне регулювання              | 84 672                           | 541 900                    |
| Компенсація реактивної потужності | 64 000                           | 410 000                    |
| Освітлення                        | 71 175                           | 455 520                    |
| СЕС                               | 280 000                          | 1 792 000                  |
| Автоматизація                     | 70 500                           | 451 200                    |
| Оптимізація режимів               | 42 000                           | 268 800                    |
| Аварійні втрати                   | 36 000                           | 230 400                    |
| <b>Разом</b>                      | <b>≈ 648 347</b>                 | <b>≈ 4 149 820 грн/рік</b> |

Таблиця Р.10

### Зведений економічний ефект та окупність проєкту модернізації системи електрозабезпечення

| Джерело економічного ефекту          | Річна економія електроенергії, кВт·год | Тариф, грн/кВт·год | Річна економія, грн | Частка в загальному ефекті, % | Капітальні витрати, грн (умовно) | Термін окупності, років |
|--------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Частотне регулювання електроприводів | 84 672                                 | 6,4                | 541 900             | 8,3%                          | 720 000                          | 1,33                    |
| Компенсація реактивної потужності    | 64 000                                 | 6,4                | 410 000             | 6,3%                          | 310 000                          | 0,76                    |
| LED-освітлення                       | 71 175                                 | 6,4                | 455 520             | 7,0%                          | 540 000                          | 1,18                    |
| Сонячна електростанція (СЕС 200 кВт) | 280 000                                | 6,4                | 1 792 000           | 27,4%                         | 6 200 000                        | 3,46                    |

|                                       |        |     |         |      |           |      |
|---------------------------------------|--------|-----|---------|------|-----------|------|
| SCADA та оптимізація режимів          | 70 500 | 6,4 | 451 200 | 6,9% | 980 000   | 2,17 |
| Зниження аварійних втрат              | 36 000 | 6,4 | 230 400 | 3,5% | 1 100 000 | 4,77 |
| Автоматизація керування навантаженням | 42 000 | 6,4 | 268 800 | 4,1% | 980 000   | 3,65 |

Таблиця Р.11

**Підсумкові показники проекту**

| <b>Показник</b>                          | <b>Значення</b>       |
|------------------------------------------|-----------------------|
| Загальна економія електроенергії         | ≈ 648 347 кВт•год/рік |
| Загальна економія коштів                 | ≈ 6 549 820 грн/рік   |
| Сумарні капітальні інвестиції            | 12 500 000 грн        |
| Середній термін окупності проекту        | 1,9–2,0 роки          |
| Коефіцієнт економічної ефективності      | 0,52                  |
| Рівень зниження витрат на електроенергію | 32–34%                |
| Зниження аварійних втрат                 | до 80–90%             |
| Підвищення енергоефективності            | до 2,0 разів          |
| Підвищення надійності електропостачання  | до 0,97–0,98          |