

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва, транспорту та енергетики  
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”  
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ  
к.т.н., професор  
\_\_\_\_\_ П. Пешков  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ**  
**ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**Розроблення системи електропостачання заводу з  
виробництва сільськогосподарської колісної техніки**

Виконав здобувач вищої освіти  
IV курсу, групи ЕЕ23мб  
ОПП «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_ Андрій БАРКАРЬ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Керівник роботи  
доцент, канд. техн. наук  
\_\_\_\_\_ Руслан ТЕЛЮТА  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Рецензент \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

м. Кропивницький

# Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ П. Плешков

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Баркаря Андрія Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Розроблення системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Development of a power supply system for a plant producing agricultural wheeled machinery

2. Керівник роботи

Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 12.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи електропостачання підприємства з виробництва сільськогосподарської колісної техніки. Завдання: дати коротку характеристику електротехнологічного процесу. Розрахунок силових електричних навантажень. Побудова графіків електричних навантажень підприємства з виробництва сільськогосподарської колісної техніки. Побудова картограм електричних навантажень. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Режим реактивної потужності системи електропостачання. Вибір кількості та потужності трансформаторів. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. Вимірювання режимних параметрів системи електропостачання. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань.

## 5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №<br>з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                      | Строк<br>виконання<br>етапів<br>роботи | Примітка |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------|
| 1        | <i>Видача завдання</i>                                                   | <i>08.05.26</i>                        |          |
| 2        | <i>Вступ</i>                                                             | <i>09.05.26</i>                        |          |
| 3        | <i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>               | <i>10.05.26</i>                        |          |
| 4        | <i>Побудова картограми електричних навантажень</i>                       | <i>15.05.26</i>                        |          |
| 5        | <i>Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання</i>           | <i>18.05.26</i>                        |          |
| 6        | <i>Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів</i> | <i>22.05.26</i>                        |          |
| 7        | <i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>            | <i>25.05.26</i>                        |          |
| 8        | <i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>                            | <i>29.05.26</i>                        |          |
| 9        | <i>Вибір обладнання електропостачання</i>                                | <i>31.05.26</i>                        |          |
| 10       | <i>Спеціальний розділ</i>                                                | <i>05.06.26</i>                        |          |
| 11       | <i>Висновки</i>                                                          | <i>10.06.26</i>                        |          |
| 12       | <i>Список літератури</i>                                                 | <i>10.06.26</i>                        |          |
| 13       | <i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>                     | <i>11.06.26</i>                        |          |
| 14       | <i>Оформлення графічної частини</i>                                      | <i>12.06.26</i>                        |          |

Дата видачі завдання

« 08 » травня 20 26 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Руслан ТЕЛЮТА

Завдання прийнято до виконання

« 08 » травня 20 26 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Андрій БАРКАРЬ

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 79 с.; 13 рис.; 36 табл.; 8 джерел

**Баркарь А.О. Розроблення системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки. – Рукопис.**

Бакалаврську роботу виконано за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

Пояснювальна записка присвячена створенню надійної, безпечної та енергоефективної системи розподілу енергії для умов машинобудівного комплексу. У межах проекту реалізовано розрахунок силових електричних навантажень об'єктів за допомогою методу впорядкованих діаграм. Визначено просторові координати центра навантажень підприємства та проведено детальний аналіз балансу реактивної потужності.

Шляхом техніко-економічного порівняння конкурентних інженерних рішень обґрунтовано доцільність схеми зовнішнього живлення на напрузі 110 кВ повітряною лінією (система глибокого вводу) та радіальну структуру розподілу енергії всередині заводу. На основі обчислення струмів короткого замикання підібрано силові трансформатори ГПП і цехових ТП, марки кабельних ліній, комутаційну й захисну апаратуру середньої та високої напруги. Усе обладнання перевірено за критеріями тривалого теплового нагріву, динамічної та термічної стійкості.

Особливу увагу приділено спеціальному розділу, де розраховано геометричні, теплові та електричні параметри індукційної тигельної печі ИТПЭ-0,03/0,05ТГ1 місткістю 30 кг для плавки сталі. Обґрунтовано комплекс енергозберігаючих заходів (застосування IGBT-інверторів, підігрів шихти, автоматизація теплового режиму), що забезпечує зниження питомих витрат електричної енергії на 20–35%.

**Ключові слова:** електричні навантаження, картограма, глибокий ввід, трансформаторна підстанція, струми короткого замикання, вакуумний вимикач, індукційна тигельна піч, енергозбереження, IGBT-перетворювач.

## ABSTRACT

Qualification work: 79 p.; 13 Fig.; 36 tables; 8 sources

**Barkar A.O. Development of a power supply system for a plant producing agricultural wheeled machinery. – Manuscript.**

Bachelor's thesis in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", Educational and Professional Program "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The bachelor's thesis is dedicated to designing a modern, reliable, and cost-effective power supply system for an agricultural machinery plant. For this purpose, shop electrical loads were calculated using the ordered diagrams method, the spatial coordinates of the electrical load center were found, and the facility's reactive power balance was estimated.

Through a technical and economic comparison of options, an external deep-lead power supply scheme at 110 kV voltage utilizing an overhead line and a radial network topology for inner energy distribution were justified. Based on short-circuit current analysis, main step-down and shop substations transformers, high-voltage cables, switching, and protective hardware were successfully selected and verified for continuous thermal heating, dynamic shock, and thermal durability.

Special focus is given to the special engineering section, within which geometric, thermal, and electrical metrics of a 30 kg capacity induction crucible furnace (model ITPE-0.03/0.05TG1) for carbon steel melting were specified. A set of advanced energy-saving decisions was proposed (including modern IGBT-inverters installation, scrap preheating, and automated heating control), resulting in a stable reduction of specific power consumption by 20–35%.

**Keywords:** electrical loads, load center map, deep lead, transformer substation, short-circuit currents, vacuum circuit breaker, induction crucible furnace, energy saving, IGBT-converter.

## Зміст

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                                                                         | 7  |
| 1. Електричні навантаження заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                                       | 8  |
| 1.1 Визначення електронавантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки в електромережах до 1000 В..                         | 8  |
| 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                        | 11 |
| 1.3 Розрахунок електронавантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання в електромережах вище 1000 В .....                                | 12 |
| 1.4 Графіки електричних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                              | 17 |
| 2. Побудова картограми електричних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                   | 26 |
| 3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                       | 28 |
| 3.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                   | 28 |
| 3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                       | 32 |
| 4. Режим реактивної потужності системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                         | 33 |
| 4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                    | 33 |
| 4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на заводі з виробництва сільськогосподарської колісної техніки ..... | 35 |

|           |              |          |       |      |                                                                                                            |  |                    |         |
|-----------|--------------|----------|-------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------|---------|
|           |              |          |       |      | КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ<br>(БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ                                     |  |                    |         |
| Зм.       | Арк.         | № докум. | Підп. | Дата |                                                                                                            |  |                    |         |
| Розробив  | Баркар А.О.  |          |       |      | Розроблення системи<br>електропостачання заводу з<br>виробництва сільськогосподарської<br>колісної техніки |  | Літ.               | Аркуш   |
| Перевірив | Телюта Р.В.  |          |       |      |                                                                                                            |  |                    | Аркушів |
|           |              |          |       |      |                                                                                                            |  | 5                  | 79      |
| Н. Контр. |              |          |       |      |                                                                                                            |  | ЦНТУ<br>гр. ЕЕ23мб |         |
| Затвердив | Плещков П.Г. |          |       |      |                                                                                                            |  |                    |         |

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на заводі з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                    | 46 |
| 6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки та силових електромереж системи постачання..... | 48 |
| 6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                                 | 48 |
| 6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                                                        | 53 |
| 6.3. Вибір високовольтного електрообладнання для заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки .....                                                             | 54 |
| 7. Спеціальний розділ. Підвищення ефективності енерговикористання та збереження потужності в індукційних тигельних електропечах.....                                           | 57 |
| 7.1 Розрахунок геометричних параметрів індукційної тигельної печі .....                                                                                                        | 58 |
| 7.2. Тепловий розрахунок індукційної печі .....                                                                                                                                | 61 |
| 7.3. Електричний розрахунок індуктора в гарячому режимі .....                                                                                                                  | 67 |
| 7.4 Розрахунок потужності та енергетичних параметрів .....                                                                                                                     | 72 |
| 7.5 Заходи з енергозбереження .....                                                                                                                                            | 75 |
| 7.6 Висновки .....                                                                                                                                                             | 77 |
| Висновки .....                                                                                                                                                                 | 78 |
| Список використаних джерел .....                                                                                                                                               | 79 |

## Вступ

Сучасний етап розвитку агропромислового комплексу України вимагає масового впровадження високоефективної, надійної та функціональної сільськогосподарської колісної техніки вітчизняного виробництва. Ефективне функціонування машинобудівних підприємств цієї галузі безпосередньо залежить від рівня надійності та економічності їхньої енергетичної інфраструктури. Заводи з виробництва сільськогосподарських машин належать до категорій енергоємних споживачів із високою концентрацією різномірного електрообладнання: від автоматизованих зварювальних та складальних ліній до потужних термічних цехів і компресорних станцій. Умови динамічного ринку енергоносіїв, а також сучасні вимоги до енергоефективності та стабільності промисловості зумовлюють необхідність модернізації та розроблення принципово нових систем електропостачання. Оптимізація таких систем дозволяє мінімізувати втрати потужності, забезпечити нормативну якість електричної енергії та гарантувати безперебійність технологічних процесів, що безпосередньо впливає на собівартість та якість готової колісної техніки.

Метою бакалаврської роботи є розроблення комплексної, надійної та економічно обґрунтованої системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки, яка забезпечує безперебійне живлення споживачів у всіх режимах роботи. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: розрахувати електричні навантаження цехів і заводу в цілому; визначити оптимальну схему зовнішнього та внутрішнього електропостачання, обрати раціональну напругу живлення та виконати техніко-економічне обґрунтування кількості й потужності силових трансформаторів; розрахувати параметри елементів електричної мережі, обчислити струми короткого замикання та вибрати сучасне комутаційно-захисне обладнання.

Спроектована система електропостачання дозволить підвищити надійність живлення технологічних ліній, знизити експлуатаційні витрати на електроенергію завдяки раціональному розподілу навантажень та мінімізувати ризики аварійних зупинок виробництва колісної техніки.

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 7    |

## 1. Електричні навантаження заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Для аналізу електричних навантажень на заводі з виробництва сільськогосподарської колісної техніки можна використовувати навчальні ресурси, які використовувалися під час виконання кваліфікаційного про'єкту [1]. Цей підхід дозволяє враховувати різноманітні об'єкти, умови та потреби споживачів заводу.

### 1.1 Визначення електронавантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки в електромережах до 1000 В

Середнє навантаження споживачів заводу з виробництва с/г техніки на прикладі «Моторний цех» їх потужність становить:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{сум}} K_{\text{в}} = 7401 \cdot 0,251 = 1857,65 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \operatorname{tg} \varphi = 1857,65 \cdot 1,02 = 1889,88 \text{ кВар}$$

Ефективне кількість ел.приймачів по заводу з виробництва с/г техніки

$$n_{\text{е}} = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н. max}}} = \frac{2 \cdot 7401}{120} = 123$$

Знаходимо коефіцієнт  $m$  для існуючих споживачів заводу з вироб. с/г техніки:

$$m = \frac{P_{\text{н. max}}}{P_{\text{н. min}}} = \frac{120}{3} = 40$$

Коеф.  $K_{\text{м}}$  можна прийняти з джерела [1] і буде мати значення  $K_{\text{м}} = 1$ .

Розрахункове  $P_{\text{р}}$  і  $Q_{\text{р}}$  навантаження (активне та реактивне) для с/г споживачів

$$P_{\text{р}} = P_{\text{см}} K_{\text{м}} = 1857,65 \cdot 1,17 = 2172,98 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}} = 1889,88 \text{ кВар}$$

Розрахунок значення максимум навантаження заводу з вироб. с/г техніки:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{2172,98^2 + 1889,88^2} = 2879,84 \text{ кВА}$$

Розрахунок існуючих навантажень для заводу з виробництва с/г техніки до 1000 В приведені в табл 1.1.

|     |      |          |         |      |      |
|-----|------|----------|---------|------|------|
|     |      |          |         |      | Арк. |
|     |      |          |         |      |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | 8    |

Таблиця 1.1 - Розрахунок електричних навантажень до 1 кВ заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

| № п/п | Назва групи споживачів                                     | К-ть ЕС | Р <sub>одн</sub> , кВт |                      | Р <sub>сум</sub> кВт | m    | K <sub>н</sub> | cos j | tg j | Середнє               |                        | n <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|-------|------------------------------------------------------------|---------|------------------------|----------------------|----------------------|------|----------------|-------|------|-----------------------|------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
|       |                                                            |         | Р <sub>min</sub> кВт   | Р <sub>max</sub> кВт |                      |      |                |       |      | Р <sub>см</sub> , кВт | Q <sub>см</sub> , кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| 1.    | Цех головного конвеєра та складання шасі                   | 301     | 5,5                    | 100                  | 7900,5               | 18,2 | 0,851          | 0,751 | 0,88 | 6723,33               | 5911,36                | 158             | 1              | 6723,33                   | 5911,36               | 8952,5               |
| 2.    | Моторний цех (дільниця випробування та складання двигунів) | 182     | 3                      | 120                  | 7401                 | 40   | 0,251          | 0,701 | 1,02 | 1857,65               | 1889,88                | 123             | 1,17           | 2172,98                   | 1889,88               | 2879,84              |
| 3.    | Пресово-кузовний цех                                       | 151     | 10                     | 100                  | 2710                 | 10   | 0,201          | 0,701 | 1,02 | 544,71                | 554,16                 | 54              | 1,31           | 715,9                     | 554,16                | 905,32               |
| 4.    | Інструментальний цех                                       | 51      | 1,1                    | 30                   | 701                  | 27,3 | 0,201          | 0,801 | 0,75 | 140,9                 | 105,31                 | 47              | 1,34           | 188,77                    | 105,31                | 216,16               |
| 5.    | Ремонтно-механічний цех                                    | 52      | 3                      | 15                   | 403                  | 5    | 0,301          | 0,701 | 1,02 | 121,3                 | 123,4                  | 52              | 1,24           | 150,24                    | 123,4                 | 194,42               |
| 6.    | Конструкторсько-експериментальний цех                      | 21      | 5,5                    | 15                   | 155                  | 2,7  | 0,201          | 0,701 | 1,02 | 31,16                 | 31,7                   | 21              | 1,54           | 47,9                      | 31,7                  | 57,44                |
| 7.    | Головний склад готової продукції та комплектуючих          | 14      | 5,5                    | 18,5                 | 249                  | 3,4  | 0,601          | 0,801 | 0,75 | 149,65                | 111,85                 | 14              | 1,23           | 184,76                    | 111,85                | 215,98               |
| 8.    | Моделльний цех                                             | 24      | 3                      | 15                   | 203                  | 5    | 0,501          | 0,601 | 1,33 | 101,7                 | 135,25                 | 24              | 1,22           | 124,57                    | 135,25                | 183,88               |
| 9.    | Деревообробний цех                                         | 21      | 1,1                    | 15                   | 181,1                | 13,6 | 0,301          | 0,801 | 0,75 | 54,51                 | 40,74                  | 21              | 1,4            | 76,28                     | 40,74                 | 86,48                |
| 10.   | Ливарний цех сірого чавуну                                 | 82      | 5,5                    | 45                   | 1805,5               | 8,2  | 0,701          | 0,899 | 0,49 | 1265,66               | 616,57                 | 80              | 1,06           | 1342,47                   | 616,57                | 1477,29              |
| 11.   | Ливарний цех ковкого чавуну та кольорових металів          | 81      | 5,5                    | 40                   | 2505,5               | 7,3  | 0,701          | 0,899 | 0,49 | 1756,36               | 855,61                 | 81              | 1,06           | 1862,22                   | 855,61                | 2049,37              |
| 12.   | Агрегатно-арматурний цех                                   | 51      | 11                     | 22                   | 711                  | 2    | 0,199          | 0,699 | 1,02 | 141,49                | 144,75                 | 51              | 1,33           | 187,72                    | 144,75                | 237,05               |
| 13.   | Блок енергетичних споруд (Компресорна станція)             | 20      | 18,5                   | 30                   | 450,5                | 1,6  | 0,499          | 0,799 | 0,75 | 224,8                 | 169,19                 | 20              | 1,25           | 281,25                    | 169,19                | 328,22               |
| 14.   | Склад твердого палива                                      | 8       | 3                      | 15                   | 105                  | 5    | 0,499          | 0,799 | 0,75 | 52,4                  | 39,44                  | 8               | 1,43           | 75,19                     | 43,38                 | 86,81                |
| 15.   | Склад мазуту (паливно-мастильних матеріалів)               | 6       | 5,5                    | 7,5                  | 40                   | 1,4  | 0,301          | 0,699 | 1,02 | 12,04                 | 12,32                  | 6               | 1,86           | 22,35                     | 13,55                 | 26,14                |
| 16.   | Склад масел та хімікатів                                   | 6       | 7,5                    | 11                   | 50,5                 | 1,5  | 0,699          | 0,801 | 0,75 | 35,3                  | 26,38                  | 6               | 1,28           | 45,16                     | 29,02                 | 53,68                |
| 17.   | Гараж та депо внутрішньозаводського транспорту             | 10      | 5,5                    | 15                   | 100,5                | 2,7  | 0,499          | 0,799 | 0,75 | 50,15                 | 37,74                  | 10              | 1,38           | 69,14                     | 41,51                 | 80,64                |
| 18.   | Адміністративно-побутовий корпус (АПК)                     | 11      | 1,1                    | 10                   | 121,1                | 9,1  | 0,699          | 0,799 | 0,75 | 84,65                 | 63,71                  | 11              | 1,19           | 100,81                    | 63,71                 | 119,25               |
| 19.   | Центральна прохідна та приміщення охорони                  | 3       | 7,5                    | 11                   | 20,5                 | 1,5  | 0,699          | 0,799 | 0,75 | 14,33                 | 10,78                  | 3               | 1,46           | 20,96                     | 11,86                 | 24,08                |

Продовження таблиці 1,1

| №<br>п/п | Назва групи споживачів                                    | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн</sub> , кВт  |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m     | K <sub>н</sub> | cos j | tg j | Середнє                  |                           | n <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|----------|-----------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|----------------|-------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
|          |                                                           |            | P <sub>min</sub><br>кВт | P <sub>max</sub><br>кВт |                         |       |                |       |      | P <sub>см</sub> ,<br>кВт | Q <sub>см</sub> ,<br>кВар |                 |                | P <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| 20.      | Центральна заводська лабораторія (ЦЗЛ) та дослідні стенди | 21         | 1,1                     | 7,5                     | 101,1                   | 6,8   | 0,601          | 0,799 | 0,75 | 60,76                    | 45,73                     | 21              | 1,19           | 72,01                     | 45,73                 | 85,3                 |
| 21.      | Їдальня                                                   | 7          | 11                      | 45                      | 505                     | 4,1   | 0,699          | 0,899 | 0,49 | 352,99                   | 171,96                    | 7               | 1,25           | 442,21                    | 189,16                | 480,97               |
| 22.      | Цех паливної апаратури та гідросистем                     | 22         | 5,5                     | 55                      | 400,5                   | 10    | 0,301          | 0,699 | 1,02 | 120,55                   | 123,33                    | 15              | 1,49           | 179,12                    | 123,33                | 217,47               |
| 23.      | Склад металопрокату та металоконструкцій                  | 11         | 7,5                     | 11                      | 100,5                   | 1,5   | 0,301          | 0,699 | 1,02 | 30,25                    | 30,95                     | 11              | 1,58           | 47,93                     | 30,95                 | 57,05                |
|          | Всього по заводу с/г техніки                              | 1156       | 1,1                     | 120                     | 26920,8                 | 109,1 | 0,517<br>319   | 0,778 | 0,81 | 13926,64                 | 11252,11                  | 449             | 1              | 13926,64                  | 11252,11              | 17904,23             |

## 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Розрахунок освітлювальних навантажень по заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки виконується згідно методики [1]. Результати розрахунків освітлювальних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки зводимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Розрахунок освітлювальних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

| № п/п | Назва об'єкту                                               | F, м <sup>2</sup> | P <sub>0</sub> , Вт/м <sup>2</sup> | P <sub>y</sub> , кВт | K <sub>c</sub> | K <sub>1</sub> | cosφ  | tgφ   | P <sub>p</sub> , кВт | Q <sub>p</sub> , кВАр | S <sub>p</sub> , кВА |
|-------|-------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------|----------------|----------------|-------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| 1.    | Цех головного конвеєра та складання шасі                    | 6845              | 16                                 | 109,5                | 0,901          | 1,2            | 0,95  | 0,329 | 118,4                | 38,96                 | 124,6                |
| 2.    | Моторний цех (дільниця випробування та складання двигунів)  | 6844              | 16                                 | 109,5                | 0,901          | 1,2            | 0,951 | 0,325 | 118,3                | 38,48                 | 124,4                |
| 3.    | Пресово-кузовний цех                                        | 3693              | 12                                 | 44,32                | 0,901          | 1,2            | 0,951 | 0,325 | 47,92                | 15,57                 | 50,39                |
| 4.    | Інструментальний цех                                        | 3242              | 16                                 | 51,87                | 0,899          | 1,2            | 0,951 | 0,325 | 55,96                | 18,19                 | 58,84                |
| 5.    | Ремонтно-механічний цех                                     | 1138              | 18                                 | 20,48                | 0,901          | 1,2            | 0,849 | 0,622 | 22,14                | 13,77                 | 26,07                |
| 6.    | Конструкторсько-експериментальний цех                       | 1628              | 18                                 | 29,3                 | 0,899          | 1,2            | 0,949 | 0,332 | 31,61                | 10,49                 | 33,31                |
| 7.    | Головний склад готової продукції та комплектуючих           | 705,5             | 6                                  | 4,23                 | 0,899          | 1,2            | 0,599 | 1,337 | 4,56                 | 6,1                   | 7,62                 |
| 8.    | Модельно-проектний цех                                      | 1516,4            | 18                                 | 27,3                 | 0,899          | 1,2            | 0,949 | 0,332 | 29,45                | 9,78                  | 31,03                |
| 9.    | Деревообробний та складальний цех                           | 1088              | 18                                 | 19,58                | 0,899          | 1,2            | 0,849 | 0,622 | 21,12                | 13,14                 | 24,87                |
| 10.   | Виробничо-ливарний цех сірого чавуну                        | 3819              | 18                                 | 68,74                | 0,899          | 1,2            | 0,948 | 0,336 | 74,16                | 24,92                 | 78,23                |
| 11.   | Виробничо-ливарний цех ковкого чавуну та кольорових металів | 4334              | 18                                 | 78,01                | 0,898          | 1,2            | 0,951 | 0,325 | 84,06                | 27,32                 | 88,39                |
| 12.   | Агрегатно-арматурний цех                                    | 1632              | 16                                 | 26,11                | 0,898          | 1,2            | 0,948 | 0,336 | 28,14                | 9,46                  | 29,69                |
| 13.   | Блок енергетичних споруд (Компресорна станція)              | 1029              | 10,5                               | 10,8                 | 0,897          | 1,2            | 0,599 | 1,337 | 11,63                | 15,55                 | 19,42                |
| 14.   | Склад твердого палива                                       | 2769              | 8                                  | 22,15                | 0,899          | 1,2            | 0,599 | 1,337 | 23,9                 | 31,95                 | 39,9                 |
| 15.   | Склад мазуту (паливно-мастильних матеріалів)                | 5020              | 6                                  | 30,12                | 0,899          | 1,2            | 0,598 | 1,34  | 32,49                | 43,54                 | 54,33                |
| 16.   | Склад масел та хімікатів                                    | 408,9             | 6                                  | 2,45                 | 0,898          | 1,2            | 0,598 | 1,34  | 2,64                 | 3,54                  | 4,42                 |
| 17.   | Гараж та депо внутрішньо-заводського транспорту             | 688               | 12                                 | 8,26                 | 0,898          | 1,2            | 0,945 | 0,346 | 8,9                  | 3,08                  | 9,42                 |

прод. таблиці 1.2.

| №<br>п/п | Назва об'єкту                                             | F, м <sup>2</sup> | P <sub>0</sub> ,<br>Вт/м <sup>2</sup> | P <sub>y</sub> ,<br>кВт | K <sub>c</sub> | K <sub>1</sub> | cosφ  | tgφ   | P <sub>p</sub> ,<br>кВт | Q <sub>p</sub> ,<br>кВАр | S <sub>p</sub> ,<br>кВА |
|----------|-----------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-------|-------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 18.      | Адміністративно-побутовий корпус (АПК)                    | 704               | 18                                    | 12,67                   | 0,898          | 1,2            | 0,798 | 0,755 | 13,65                   | 10,31                    | 17,11                   |
| 19.      | Центральна прохідна та приміщення охорони                 | 542,5             | 12                                    | 6,51                    | 0,896          | 1,2            | 0,789 | 0,779 | 7                       | 5,45                     | 8,87                    |
| 20.      | Центральна заводська лабораторія (ЦЗЛ) та дослідні стенди | 2153              | 18                                    | 38,75                   | 0,895          | 1,2            | 0,798 | 0,755 | 41,62                   | 31,42                    | 52,15                   |
| 21.      | Їдальня                                                   | 1444              | 14                                    | 20,22                   | 0,898          | 1,2            | 0,798 | 0,755 | 21,79                   | 16,45                    | 27,3                    |
| 22.      | Цех паливної апаратури та гідросистем                     | 758,8             | 16                                    | 12,14                   | 0,901          | 1,2            | 0,946 | 0,343 | 13,13                   | 4,5                      | 13,88                   |
| 23.      | Склад металопродукції та металоконструкцій                | 2058              | 6                                     | 12,35                   | 0,901          | 1,2            | 0,596 | 1,347 | 13,35                   | 17,98                    | 22,39                   |
|          | Всього по заводу с/г техніки                              |                   |                                       | 765,3                   |                |                |       |       | 826,0                   | 409,9                    | 922,1                   |

### 1.3 Розрахунок електронавантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання в електромережах вище 1000 В

Розрахунок електричного навантаження молокопродуктового заводу в електромережах з напругою вище 1000 В вимагає особливої уваги. Для цього використовується методика, описана у відповідній літературі [1], що базується на використанні коефіцієнта розрахункової потужності.

Важливо зауважити, що цей підхід є стандартним у галузі електротехніки, і його ефективність була підтверджена численними дослідженнями. Такий підхід дозволяє точно визначити необхідні потужності та забезпечити надійну роботу електромереж.

Результати розрахунку електричного навантаження молокопродуктового заводу в електромережах з напругою вище 1000 В зведено в таблицю 1.3.

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  |      |
|     |      |          |         |      |  | 12   |

Таблиця 1.3 - Розрахунок електричних навантажень, заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки, вище 1000 В

| Назва групи споживачів                                     | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн'</sub> , кВт |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m    | К <sub>и</sub> | cos j | tg j | Середнє                  |                           | n <sub>еф</sub> | К <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|------------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|----------------|-------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
|                                                            |            | Р <sub>min</sub><br>кВт | Р <sub>max</sub><br>кВт |                         |      |                |       |      | Р <sub>см</sub> ,<br>кВт | Q <sub>см</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| ТП-1,2,3,4,5.                                              |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Цех головного конвеєра та складання шасі                   |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                    | 301        | 5,5                     | 100                     | 7900,5                  | 18,2 | 0,85           | 0,75  | 0,88 | 6723,33                  | 5911,36                   | 158             | 1              | 6723,33                   | 5911,36               | 8952,5               |
| освітлювальне:                                             |            |                         |                         |                         |      |                |       |      | 109,5                    |                           |                 |                | 118,4                     | 38,96                 |                      |
| Всього:                                                    |            |                         |                         |                         |      |                |       |      | 6832,83                  | 5911,36                   |                 |                | 6841,73                   | 5950,32               | 9067,28              |
| Всього по ТП-1,2,3,4,5.:                                   |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                    | 301        | 5,5                     | 100                     | 7900,5                  | 18,2 | 0,85           | 0,75  | 0,88 | 6723,33                  | 5911,36                   | 158             | 1              | 6723,33                   | 5911,36               | 8952,5               |
| освітлювальне:                                             |            |                         |                         |                         |      |                |       |      | 109,5                    |                           |                 |                | 118,4                     | 38,96                 |                      |
| БК 0,4 кВ                                                  |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          | 0                         |                 |                |                           | 0                     |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-1,2,3,4,5.:                      |            |                         |                         |                         |      |                |       |      | 6832,83                  | 5911,36                   |                 |                | 6841,73                   | 5950,32               | 9067,28              |
| Втрати в трансформаторах:                                  |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                | 193,12                    | 974,37                |                      |
| Кількість трансформаторів: 5                               |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000                           |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Кз = 1,81                         |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-1,2,3,4,5.:                       |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                | 7034,85                   | 6924,69               | 9871,2               |
| ТП-6.7.                                                    |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Моторний цех (дільниця випробування та складання двигунів) |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                    | 182        | 3                       | 120                     | 7401                    | 40   | 0,25           | 0,7   | 1,02 | 1857,65                  | 1889,88                   | 123             | 1,17           | 2172,98                   | 1889,88               | 2879,84              |
| освітлювальне:                                             |            |                         |                         |                         |      |                |       |      | 109,5                    |                           |                 |                | 118,3                     | 38,48                 |                      |
| Всього:                                                    |            |                         |                         |                         |      |                |       |      | 1967,15                  | 1889,88                   |                 |                | 2291,28                   | 1928,36               | 2994,75              |
| Інструментальний цех                                       |            |                         |                         |                         |      |                |       |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                    | 51         | 1,1                     | 30                      | 701                     | 27,3 | 0,2            | 0,8   | 0,75 | 140,9                    | 105,31                    | 47              | 1,34           | 188,77                    | 105,31                | 216,16               |
| освітлювальне:                                             |            |                         |                         |                         |      |                |       |      | 51,87                    |                           |                 |                | 55,96                     | 18,09                 |                      |

| Продовження таблиці 1,3                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
|-----------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|----------------|------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| Назва групи споживачів                                    | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн'</sub> кВт   |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m     | K <sub>ч</sub> | cosj | tgj  | Середнє                  |                           | п <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|                                                           |            | Р <sub>min</sub><br>кВт | Р <sub>max</sub><br>кВт |                         |       |                |      |      | Р <sub>см</sub> ,<br>кВт | Q <sub>см</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| Всього:                                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 192,77                   | 105,31                    |                 |                | 244,73                    | 123,4                 | 274,08               |
| Всього по ТП-6.7.:                                        |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                   | 233        | 1,1                     | 120                     | 8102                    | 109,1 | 0,25           | 0,71 | 1    | 1998,55                  | 1995,19                   | 135             | 1,16           | 2324,87                   | 1995,19               | 3063,63              |
| освітлювальне:                                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 161,37                   |                           |                 |                | 174,26                    | 56,57                 |                      |
| БК 0,4 кВ                                                 |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          | 0                         |                 |                |                           | 0                     |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-6.7.:                           |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 2159,92                  | 1995,19                   |                 |                | 2499,13                   | 2051,76               | 3233,48              |
| Втрати в трансформаторах:                                 |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                | 38,55                     | 199,76                |                      |
| Кількість трансформаторів: 4                              |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000                          |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,81                        |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-6.7.:                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                | 2537,68                   | 2251,52               | 3392,52              |
| ТП-8                                                      |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Агрегатно-арматурний цех                                  |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                   | 51         | 11                      | 22                      | 711                     | 2     | 0,2            | 0,7  | 1,02 | 141,49                   | 144,75                    | 51              | 1,33           | 187,72                    | 144,75                | 237,05               |
| освітлювальне:                                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 26,11                    |                           |                 |                | 28,11                     | 9,46                  |                      |
| Всього:                                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 167,6                    | 144,75                    |                 |                | 215,83                    | 154,21                | 265,26               |
| Адміністративно-побутовий корпус (АПК)                    |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                   | 11         | 1,1                     | 10                      | 121,1                   | 9,1   | 0,7            | 0,8  | 0,75 | 84,65                    | 63,71                     | 11              | 1,19           | 100,81                    | 63,71                 | 119,25               |
| освітлювальне:                                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 12,67                    |                           |                 |                | 13,65                     | 10,31                 |                      |
| Всього:                                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 97,32                    | 63,71                     |                 |                | 114,46                    | 74,02                 | 136,31               |
| Центральна заводська лабораторія (ЦЗЛ) та дослідні стенди |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                   | 21         | 1,1                     | 7,5                     | 101,1                   | 6,8   | 0,6            | 0,8  | 0,75 | 60,76                    | 45,73                     | 21              | 1,19           | 72,01                     | 45,73                 | 85,3                 |
| освітлювальне:                                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 38,75                    |                           |                 |                | 41,62                     | 31,42                 |                      |
| Всього:                                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 99,51                    | 45,73                     |                 |                | 113,63                    | 77,15                 | 137,35               |

Продовження таблиці 1,3

[illegible]



| Продовження таблиці 1,3              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
|--------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|----------------|------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| Назва групи споживачів               | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн'</sub> кВт   |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m    | K <sub>н</sub> | cosJ | tgj  | Середнє                  |                           | п <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|                                      |            | Р <sub>min</sub><br>кВт | Р <sub>max</sub><br>кВт |                         |      |                |      |      | Р <sub>см</sub> ,<br>кВт | Q <sub>см</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| силове:                              | 222        | 3                       | 100                     | 3744,5                  | 33,3 | 0,3            | 0,76 | 0,86 | 1130,34                  | 967,97                    | 75              | 1,19           | 1349,62                   | 967,97                | 1660,86              |
| освітлювальне:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 138,36                   |                           |                 |                | 149,31                    | 64,36                 |                      |
| БК 0,4 кВ                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          | 0                         |                 |                |                           | 0                     |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-9:         |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 1268,7                   | 967,97                    |                 |                | 1498,93                   | 1032,33               | 1820,03              |
| Втрати в трансформаторах:            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 23,12                     | 119,09                |                      |
| Кількість трансформаторів: 2         |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000     |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,91   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-9:          |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 1522,05                   | 1151,42               | 1908,51              |
| ТП-10                                |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Виробничо-ливарний цех сірого чавуну |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                              | 82         | 5,5                     | 45                      | 1805,5                  | 8,2  | 0,7            | 0,9  | 0,49 | 1265,66                  | 616,57                    | 80              | 1,06           | 1342,47                   | 616,57                | 1477,29              |
| освітлювальне:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 68,74                    |                           |                 |                | 74,16                     | 24,92                 |                      |
| Всього:                              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 1334,4                   | 616,57                    |                 |                | 1416,63                   | 641,49                | 1555,1               |
| Деревообробний та складальний цех    |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                              | 21         | 1,1                     | 15                      | 181,1                   | 13,6 | 0,3            | 0,8  | 0,75 | 54,51                    | 40,74                     | 21              | 1,4            | 76,28                     | 40,74                 | 86,48                |
| освітлювальне:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 19,58                    |                           |                 |                | 21,12                     | 13,14                 |                      |
| Всього:                              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 74,09                    | 40,74                     |                 |                | 97,4                      | 53,88                 | 111,31               |
| Всього по ТП-10:                     |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                              | 103        | 1,1                     | 45                      | 1986,6                  | 40,9 | 0,66           | 0,9  | 0,5  | 1320,17                  | 657,31                    | 88              | 1,07           | 1408,34                   | 657,31                | 1554,18              |
| освітлювальне:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 88,32                    |                           |                 |                | 95,28                     | 38,06                 |                      |
| БК 0,4 кВ                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          | 0                         |                 |                |                           | 0                     |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-10:        |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 1408,49                  | 657,31                    |                 |                | 1503,62                   | 695,37                | 1656,63              |
| Втрати в трансформаторах:            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 19,99                     | 103,47                |                      |

| Продовження таблиці 1,3                                     |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
|-------------------------------------------------------------|---------|------------------------|----------------------|----------------------|-----|----------------|------|------|-----------------------|------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| Назва групи споживачів                                      | К-ть ЕС | Р <sub>одн</sub> , кВт |                      | Р <sub>сум</sub> кВт | m   | K <sub>н</sub> | cosj | tgj  | Середнє               |                        | п <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|                                                             |         | Р <sub>min</sub> кВт   | Р <sub>max</sub> кВт |                      |     |                |      |      | Р <sub>см</sub> , кВт | Q <sub>см</sub> , кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| Кількість трансформаторів: 2                                |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000                            |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,83                          |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-10:                                |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                | 1523,61                   | 798,84                | 1720,33              |
| ТП-11,12                                                    |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Виробничо-ливарний цех ковкого чавуну та кольорових металів |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                     | 81      | 5,5                    | 40                   | 2505,5               | 7,3 | 0,7            | 0,9  | 0,49 | 1756,36               | 855,61                 | 81              | 1,06           | 1862,22                   | 855,61                | 2049,37              |
| освітлювальне:                                              |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 78,01                 |                        |                 |                | 84,06                     | 27,32                 |                      |
| Всього:                                                     |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 1834,37               | 855,61                 |                 |                | 1946,28                   | 882,93                | 2137,19              |
| Всього по ТП-11,12:                                         |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                     | 81      | 5,5                    | 40                   | 2505,5               | 7,3 | 0,7            | 0,9  | 0,49 | 1756,36               | 855,61                 | 81              | 1,06           | 1862,22                   | 855,61                | 2049,37              |
| освітлювальне:                                              |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 78,01                 |                        |                 |                | 84,06                     | 27,32                 |                      |
| БК 0,4 кВ                                                   |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       | 0                      |                 |                |                           | 0                     |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-11,12:                            |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 1834,37               | 855,61                 |                 |                | 1946,28                   | 882,93                | 2137,19              |
| Втрати в трансформаторах:                                   |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                | 24,1                      | 125,74                |                      |
| Кількість трансформаторів: 3                                |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000                            |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,71                          |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-11,12:                             |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                | 1970,38                   | 1008,67               | 2213,55              |
| ТП-13                                                       |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Головний склад готової продукції та комплектуючих           |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                     | 14      | 5,5                    | 18,5                 | 249                  | 3,4 | 0,6            | 0,8  | 0,75 | 149,65                | 111,85                 | 14              | 1,23           | 184,76                    | 111,85                | 215,98               |
| освітлювальне:                                              |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 4,23                  |                        |                 |                | 4,56                      | 6,1                   |                      |
| Всього:                                                     |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 153,88                | 111,85                 |                 |                | 189,32                    | 117,95                | 223,06               |

|  |      |
|--|------|
|  | Apk. |
|  | 19   |

Продовження таблиці 1,3

[illegible]

## 1.4 Графіки електричних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

У даному підрозділі було розраховано параметри графіків електр. навант. заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки. Розрахунки були виконані згідно методики зазначеній у методиці [1]. Результати розрахунків графіківзведено в табл. 1.4.1, 1.4.2 також наведені на рис. 1.4.1 - 1.4.5.

Таблиця 1.4.1-Вихідні дані до графіка електр. навант. заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

| Доба,<br>години | Робочий період заводу з<br>виробництва с/г колісної техніки |         | Вихідний період заводу з<br>виробництва с/г колісної техніки |         |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------|---------|
|                 | Р,кВт                                                       | Q, квар | Р,кВт                                                        | Q, квар |
| 1               | 46                                                          | 43      | 49                                                           | 54      |
| 2               | 47                                                          | 43      | 49                                                           | 51      |
| 3               | 48                                                          | 43      | 49                                                           | 51      |
| 4               | 49                                                          | 43      | 49                                                           | 51      |
| 5               | 50                                                          | 43      | 49                                                           | 51      |
| 6               | 52                                                          | 54      | 49                                                           | 51      |
| 7               | 58                                                          | 63      | 39                                                           | 45      |
| 8               | 94                                                          | 87      | 39                                                           | 45      |
| 9               | 100                                                         | 100     | 39                                                           | 45      |
| 10              | 97                                                          | 95      | 39                                                           | 45      |
| 11              | 81                                                          | 75      | 39                                                           | 45      |
| 12              | 84                                                          | 82      | 39                                                           | 45      |
| 13              | 91                                                          | 94      | 39                                                           | 45      |
| 14              | 89                                                          | 94      | 39                                                           | 45      |
| 15              | 84                                                          | 77      | 39                                                           | 45      |
| 16              | 83                                                          | 77      | 39                                                           | 45      |
| 17              | 83                                                          | 77      | 39                                                           | 45      |
| 18              | 82                                                          | 72      | 49                                                           | 51      |
| 19              | 77                                                          | 63      | 49                                                           | 51      |
| 20              | 75                                                          | 61      | 49                                                           | 51      |
| 21              | 71                                                          | 60      | 49                                                           | 51      |
| 22              | 65                                                          | 58      | 49                                                           | 51      |
| 23              | 48                                                          | 48      | 49                                                           | 51      |
| 24              | 46                                                          | 43      | 49                                                           | 51      |

Таблиця 1.4.2 -Обчислення сходинок графіка навантаж. по заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

| Год<br>ини | Літні робочі дні заводу<br>з с/г колісної техніки |                 |                | Зимові робочі дні<br>заводу з с/г техніки |                 |                | Літні вихідні дні<br>заводу з с/г техніки |                |                | Зимні вихідні дні<br>заводу з с/г техніки |                 |                |
|------------|---------------------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------------|-----------------|----------------|
|            | Потуж<br>Р,кВт                                    | Потуж<br>Q,квар | Потуж<br>S,кВА | Потуж<br>Р,кВт                            | Потуж<br>Q,квар | Потуж<br>S,кВА | Потуж<br>Р,кВт                            | Поту<br>Q,квар | Потуж<br>S,кВА | Потуж<br>Р,кВт                            | Потуж<br>Q,квар | Потуж<br>S,кВА |
| 1          | 5847                                              | 4703            | 7504           | 6879                                      | 5533            | 8828           | 6228                                      | 5906           | 8583           | 7327                                      | 6948            | 10098          |
| 2          | 5974                                              | 4703            | 7603           | 7028                                      | 5533            | 8945           | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 3          | 6101                                              | 4703            | 7703           | 7178                                      | 5533            | 9063           | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 4          | 6228                                              | 4703            | 7804           | 7327                                      | 5533            | 9181           | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 5          | 6355                                              | 4703            | 7906           | 7477                                      | 5533            | 9302           | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 6          | 6609                                              | 5906            | 8863           | 7776                                      | 6948            | 10428          | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 7          | 7372                                              | 6890            | 10091          | 8673                                      | 8106            | 11871          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 8          | 11948                                             | 9515            | 15274          | 14056                                     | 11194           | 17969          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 9          | 12710                                             | 10936           | 16767          | 14953                                     | 12866           | 19726          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 10         | 12329                                             | 10390           | 16123          | 14505                                     | 12223           | 18968          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 11         | 10295                                             | 8202            | 13163          | 12112                                     | 9650            | 15486          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 12         | 10677                                             | 8968            | 13944          | 12561                                     | 10550           | 16404          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 13         | 11566                                             | 10280           | 15474          | 13607                                     | 12094           | 18205          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 14         | 11312                                             | 10280           | 15285          | 13308                                     | 12094           | 17982          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 15         | 10677                                             | 8421            | 13598          | 12561                                     | 9907            | 15998          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 16         | 10550                                             | 8421            | 13499          | 12411                                     | 9907            | 15880          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 17         | 10550                                             | 8421            | 13499          | 12411                                     | 9907            | 15880          | 4957                                      | 4921           | 6985           | 5832                                      | 5790            | 8218           |
| 18         | 10422                                             | 7874            | 13062          | 12262                                     | 9264            | 15368          | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 19         | 9787                                              | 6890            | 11969          | 11514                                     | 8106            | 14081          | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 20         | 9533                                              | 6671            | 11635          | 11215                                     | 7849            | 13689          | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 21         | 9024                                              | 6562            | 11158          | 10617                                     | 7720            | 13127          | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 22         | 8262                                              | 6343            | 10416          | 9720                                      | 7463            | 12255          | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 23         | 6101                                              | 5249            | 8048           | 7178                                      | 6176            | 9469           | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |
| 24         | 5847                                              | 4703            | 7504           | 6879                                      | 5533            | 8828           | 6228                                      | 5578           | 8361           | 7327                                      | 6562            | 9836           |

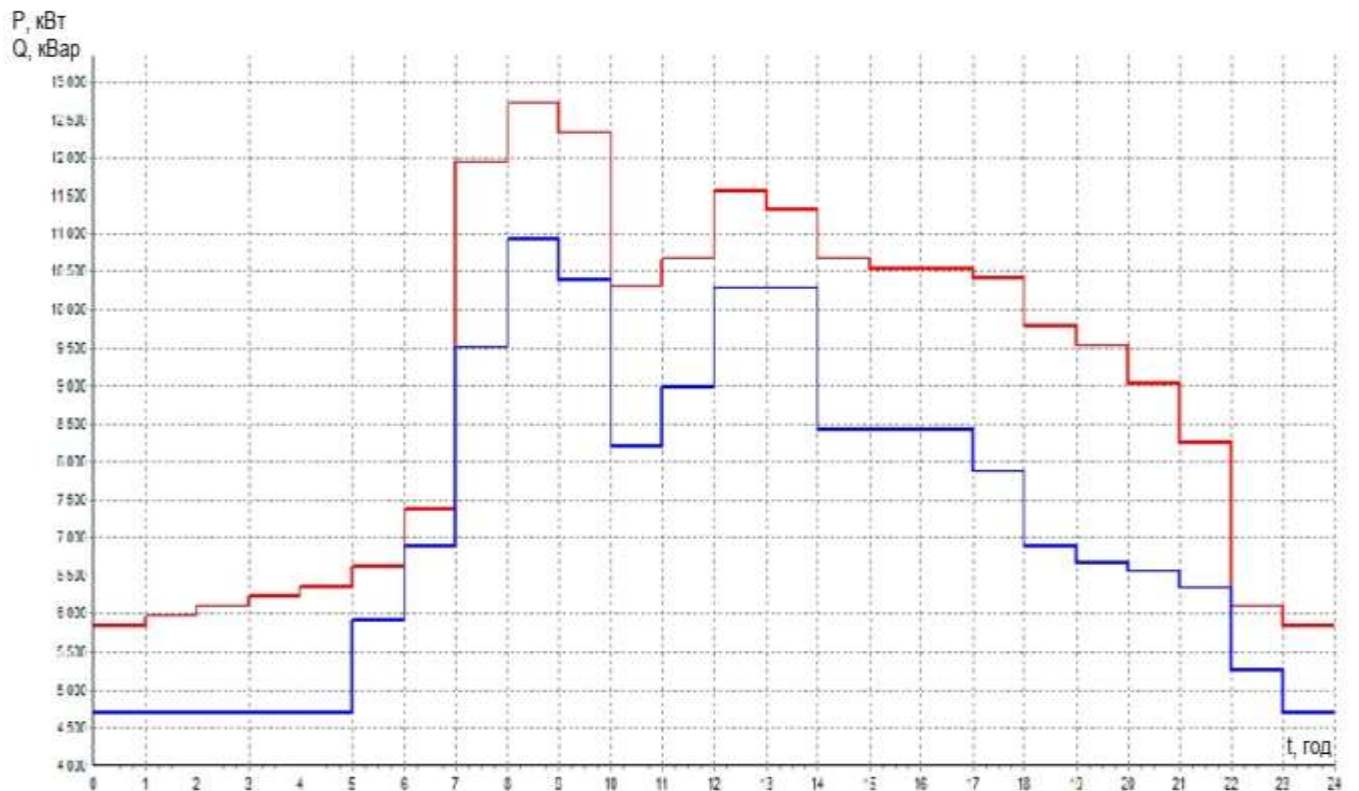


Рисунок 1.4.1 - Добовий графік навантаження для заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки (літні робочі дні)

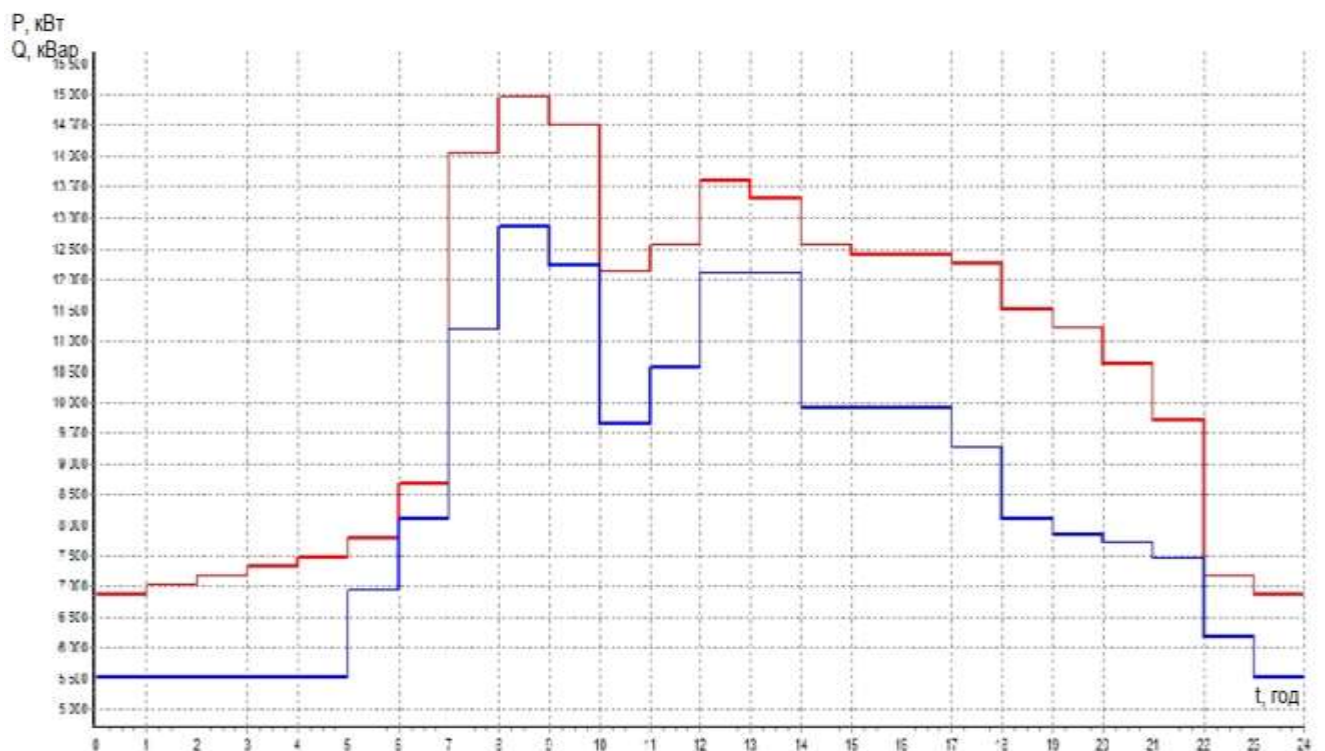


Рисунок 1.4.2 - Добовий графік навантаження для заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки (зимові робочі дні)

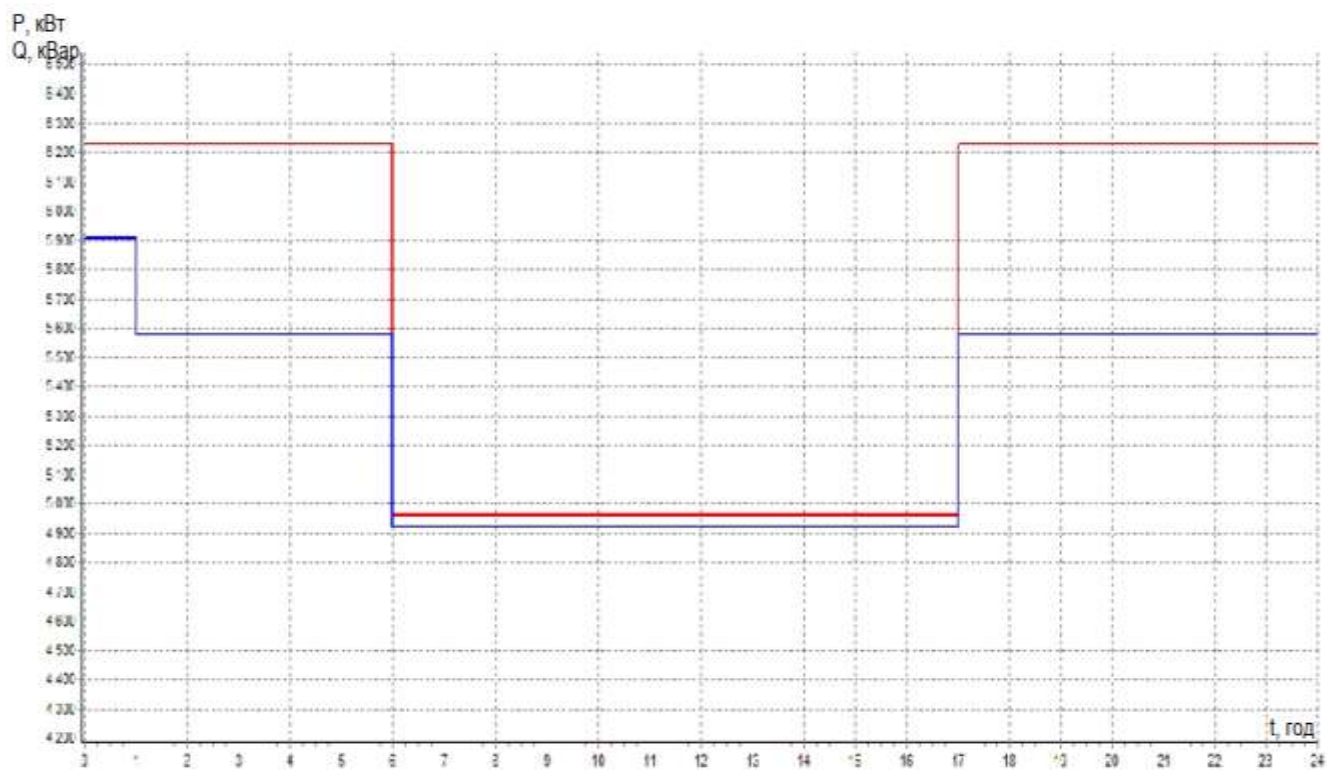


Рисунок 1.4.3 - Добовий графік навантаження для заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки (літні вихідні дні)

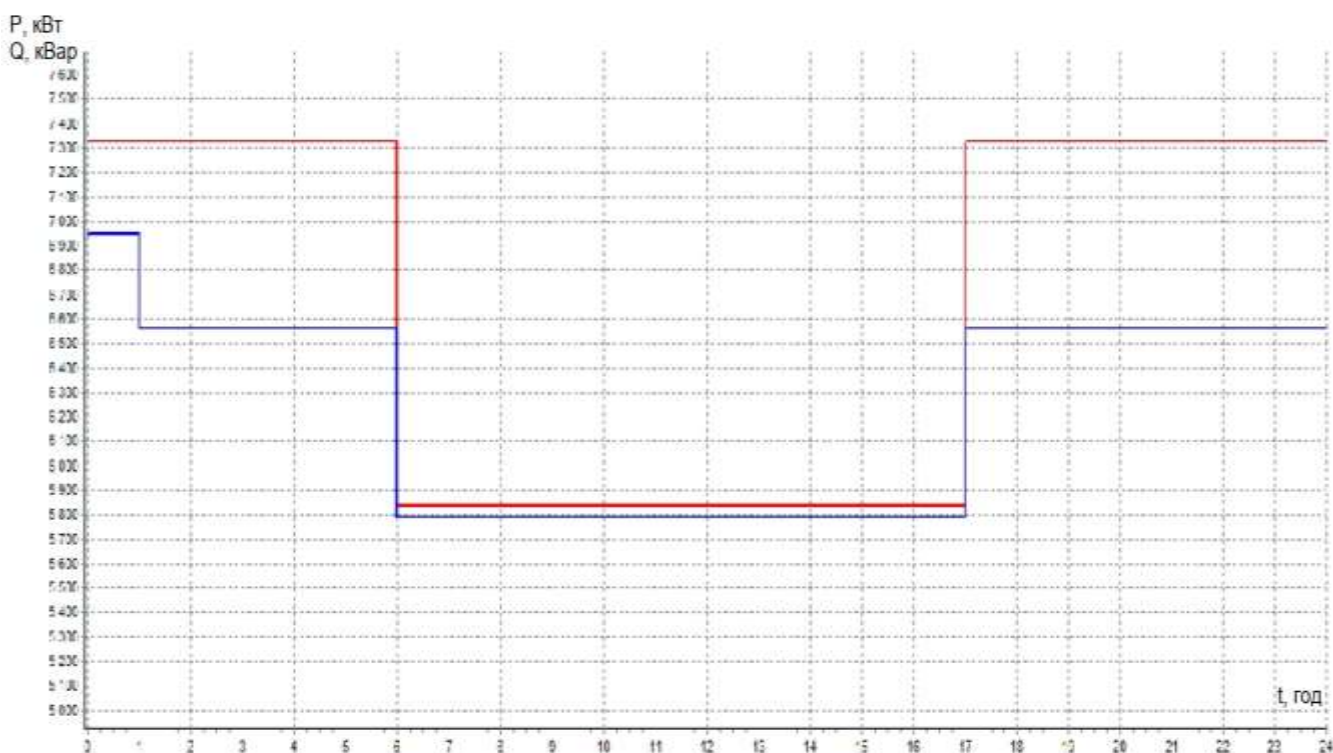


Рисунок 1.4.4 - Добовий графік навантаження для заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки (зимові вихідні дні)

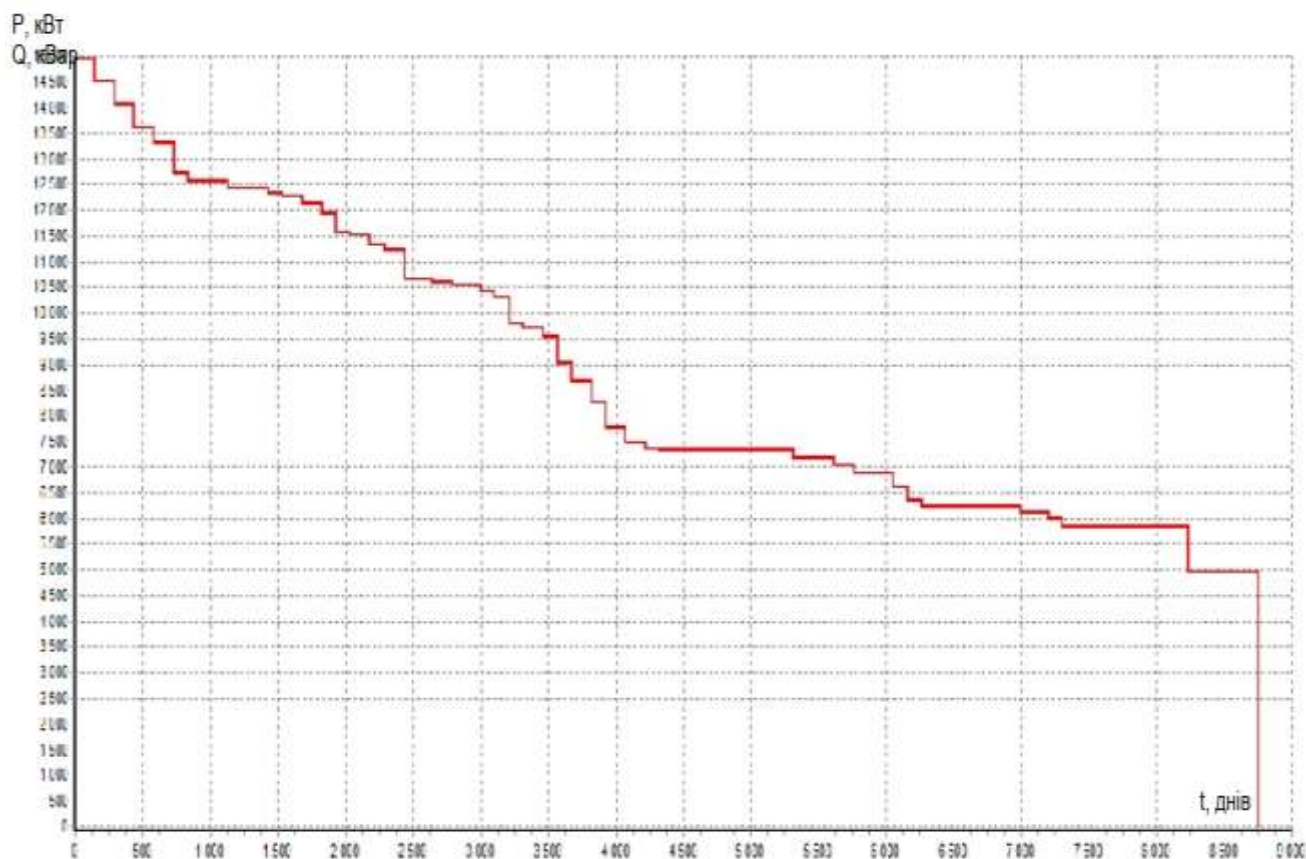


Рисунок 1.4.5 - Річний графік активного Р (по заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки)

Розрахункові величини графіків електричного навантаження (по заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки):

$$S_p = 19726,76 \text{ МВА};$$

$$W_{з.р.} = 37368576 \text{ кВт год.}; V_{з.р.} = 30167634 \text{ кВар год.};$$

$$W_{з.в.} = 10361195 \text{ кВар год.}; V_{з.в.} = 9709830 \text{ кВар год.};$$

$$W_{л.р.} = 22687980 \text{ кВар год.}; V_{л.р.} = 18315885 \text{ кВар год.};$$

$$W_{л.в.} = 6503568 \text{ кВар год.}; V_{л.в.} = 6094704 \text{ кВар год.};$$

$$W_p = 76921319 \text{ кВар год.}; V_p = 64288053 \text{ кВар год.};$$

$$T_{\max} = 5081,874 \text{ год.}; \tau = 3501,029 \text{ год.}$$

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 25   |

## 2. Побудова картограми електричних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Побудова картограми електричних навантажень заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки проводиться за методикою, що представлена в літературному джерелі [1].

Наведемо приклад розрахунку картограми для «Моторний цех»:

$$R_2 = \sqrt{\frac{P_2}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{2172,98 + 118,30}{3,14 \cdot 0,2}} = 60,39 \text{ мм}$$

Освітлювальне навантаження заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки представлено сектора з центральним кутом  $\alpha$ .

$$\alpha_2 = \frac{P_{2.осв} \cdot 360}{P_2} = \frac{118,30 \cdot 360}{2172,98} = 18,59^\circ$$

Розрахунок параметрів для інших об'єктів заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки проводиться аналогічно та зводиться в (табл. 2.1). Координати центру електр. навант. заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{3482261,52}{15959,19} = 218,20 \text{ м},$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1865837,40}{15959,19} = 116,91 \text{ м}$$

Дані розрахунку ЦЕН заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки та побудови КЕН розрахунки зводимо до (табл. 2.1).

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 26   |

Таблиця 2.1- Дані розрахунку ЦЕН заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки та побудови КЕН.

| №по<br>плану | Найменування                                                | $P^{0,4}_{\text{сил}},$<br>кВт | $P_{\text{росв}},$<br>кВт | $P_p,$<br>кВт | $m$ | $R,$<br>мм | $a$    | $x,$<br>м | $y,$<br>м | $P \cdot x,$<br>кВт м | $P \cdot y,$<br>кВт м |
|--------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|-----|------------|--------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| 1            | Цех головного конвеєра та складання шасі                    | 6723,33                        | 118,40                    | 6841,73       | 0,2 | 104,35     | 6,23   | 204,00    | 93,00     | 1395712,92            | 636280,89             |
| 2            | Моторний цех (дільниця випробування та складання двигунів)  | 2172,98                        | 118,30                    | 2291,28       | 0,2 | 60,39      | 18,59  | 345,00    | 96,00     | 790491,60             | 219962,88             |
| 3            | Пресово-кузовний цех                                        | 715,90                         | 47,92                     | 763,82        | 0,2 | 34,87      | 22,59  | 210,00    | 45,00     | 160402,20             | 34371,90              |
| 4            | Інструментальний цех                                        | 188,77                         | 55,96                     | 244,73        | 0,2 | 19,74      | 82,32  | 339,00    | 45,00     | 82963,47              | 11012,85              |
| 5            | Ремонтно-механічний цех                                     | 150,24                         | 22,14                     | 172,38        | 0,2 | 16,56      | 46,24  | 33,00     | 279,00    | 5688,54               | 48094,02              |
| 6            | Конструкторсько-експериментальний цех                       | 47,90                          | 31,61                     | 79,51         | 0,2 | 11,25      | 143,12 | 99,00     | 45,00     | 7871,49               | 3577,95               |
| 7            | Головний склад готової продукції та комплектуючих           | 184,76                         | 4,56                      | 189,32        | 0,2 | 17,36      | 8,67   | 15,00     | 183,00    | 2839,80               | 34645,56              |
| 8            | Модельно-проектний цех                                      | 124,57                         | 29,45                     | 154,02        | 0,2 | 15,66      | 68,84  | 102,00    | 96,00     | 15710,04              | 14785,92              |
| 9            | Деревообробний та складальний цех                           | 76,28                          | 21,12                     | 97,40         | 0,2 | 12,45      | 78,06  | 42,00     | 171,00    | 4090,80               | 16655,40              |
| 10           | Виробничо-ливарний цех сірого чавуну                        | 1342,47                        | 74,16                     | 1416,63       | 0,2 | 47,48      | 18,85  | 114,00    | 171,00    | 161495,82             | 242243,73             |
| 11           | Виробничо-ливарний цех ковкого чавуну та кольорових металів | 1862,22                        | 84,06                     | 1946,28       | 0,2 | 55,66      | 15,55  | 213,00    | 171,00    | 414557,64             | 332813,88             |
| 12           | Агрегатно-арматурний цех                                    | 187,72                         | 28,14                     | 215,86        | 0,2 | 18,54      | 46,93  | 450,00    | 183,00    | 97137,00              | 39502,38              |
| 13           | Блок енергетичних споруд (Компресорна станція)              | 281,25                         | 11,63                     | 292,88        | 0,2 | 21,59      | 14,30  | 288,00    | 276,00    | 84349,44              | 80834,88              |
| 14           | Склад твердого палива                                       | 75,19                          | 23,90                     | 99,09         | 0,2 | 12,56      | 86,83  | 207,00    | 273,00    | 20511,63              | 27051,57              |
| 15           | Склад мазуту (паливно-мастильних матеріалів)                | 22,35                          | 32,49                     | 54,84         | 0,2 | 9,34       | 213,28 | 102,00    | 276,00    | 5593,68               | 15135,84              |
| 16           | Склад масел та хімікатів                                    | 45,16                          | 2,64                      | 47,80         | 0,2 | 8,72       | 19,88  | 33,00     | 117,00    | 1577,40               | 5592,60               |
| 17           | Гараж та депо внутрішньозаводського транспорту              | 69,14                          | 8,90                      | 78,04         | 0,2 | 11,14      | 41,06  | 39,00     | 87,00     | 3043,56               | 6789,48               |
| 18           | Адміністративно-побутовий корпус (АПК)                      | 100,81                         | 13,65                     | 114,46        | 0,2 | 13,50      | 42,93  | 504,00    | 102,00    | 57687,84              | 11674,92              |
| 19           | Центральна прохідна та приміщення охорони                   | 20,96                          | 7,00                      | 27,96         | 0,2 | 6,67       | 90,13  | 30,00     | 15,00     | 838,80                | 419,40                |
| 20           | Центральна заводська лабораторія (ЦЗЛ) та дослідні стенди   | 72,01                          | 41,62                     | 113,63        | 0,2 | 13,45      | 131,86 | 495,00    | 201,00    | 56246,85              | 22839,63              |
| 21           | Їдальня                                                     | 442,21                         | 21,79                     | 464,00        | 0,2 | 27,17      | 16,91  | 21,00     | 45,00     | 9744,00               | 20880,00              |
| 22           | Цех паливної апаратури та гідросистем                       | 179,12                         | 13,13                     | 192,25        | 0,2 | 17,49      | 24,59  | 396,00    | 180,00    | 76131,00              | 34605,00              |
| 23           | Склад металопрокату та металлоконструкцій                   | 47,93                          | 13,35                     | 61,28         | 0,2 | 9,88       | 78,43  | 450,00    | 99,00     | 27576,00              | 6066,72               |
|              | Всього по заводу с/г техніки                                | 15133,27                       | 825,92                    | 15959,19      |     |            |        |           |           | 3482261,52            | 1865837,40            |

### 3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Задача даного розділу бакалаврської роботи полягає в обґрунтуванні вибору схем внутрішнього та зовнішнього електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки.

#### 3.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Використовуючи методтеорію [1], проводимо техніко-економічні розрахунки заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки та порівнюємо варіанти схем зовнішнього електропостачання даного об'єкта заводу з виробництва с/г техніки (рис. 3.1).

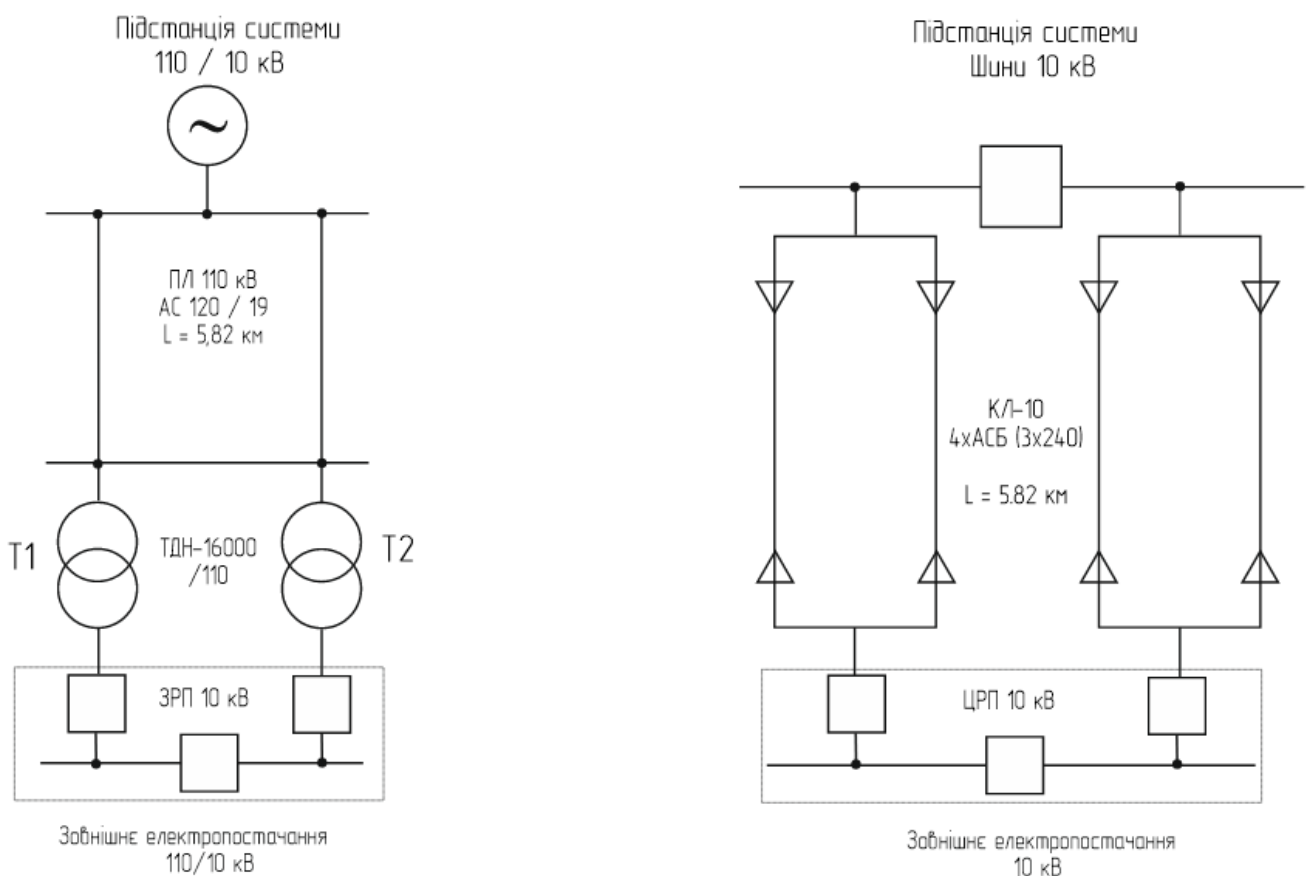


Рисунок 3.1 - Схема зовнішнього електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Проектування зовнішніх електричних мереж машинобудівного підприємства виконується за стандартною методикою [1]. Відповідно до виданого завдання, живлення об'єкта передбачено від районної ПС 110/10 кВ, яка розташована на відстані 5,82 км.

Для вибору оптимального варіанта порівнювалися дві схеми зовнішнього енергопостачання: 1) Будівництво повітряної лінії ПЛ 110 кВ та власної підстанції та 2) Прокладання кабельної лінії КЛ напругою 10 кВ.

У результаті аналізу для реалізації проекту було обрано схему з підземними кабельними лініями 10 кВ (рис. 3.1, б), що є найбільш раціональним рішенням для даного виробничого комплексу.

Обчислення величини розрахункового струму для другого варіанта ел.схеми

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{19727}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1138,9 \text{ А}$$

Для реалізації кабельної мережі (варіант № 2) приймаються чотири лінії АСБ-10 (3х240). Перевірка обраних провідників на допустиме теплове навантаження в нормальних умовах роботи має вигляд:

$$I_p = 284,73 \text{ А} \leq K_n I_{дон} = 0,84 \cdot 355 = 298,2 \text{ А}$$

Розрахунок тривалої стійкості кабельних ліній до нагрівання під час ліквідації аварійних ситуацій:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 284,7 = 569,4 \text{ А} \leq K_{ан} K_n I_{дон} = 1,25 \cdot 1 \cdot 355 = 443,7 \text{ А}$$

Проведені обчислення підтверджують, що параметри запроектованої кабельної мережі повністю задовольняють експлуатаційні вимоги. Завантаженість провідників у звичайному робочому режимі визначається відповідним коефіцієнтом:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{284,73}{355} = 0,77$$

Технічні втрати активної потужності в межах розгляданої кабельної системи:

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 29   |

$$\Delta P_{\kappa\lambda} = \Delta P_{1\kappa\lambda} l_{\Sigma} K_3^2 = 58 \cdot 23,28 \cdot 0,64 = 864,15 \text{ кВт}$$

Річний обсяг недоотриманої через технологічні втрати електричної енергії:

$$\Delta W_{\lambda} = \Delta P_{\lambda} \tau = 432,08 \cdot 3501 = 1512712,08 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Підсумкові фінансові витрати, зумовлені втратами енергії в лініях:

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 1512712,08 \cdot 12,1078 \cdot 0,001 = 18315,62 \text{ тис.грн}$$

Кошторисні показники та обсяг капітальних інвестицій, необхідних для розгортання зовнішньої мережі напругою 10 кВ за другим варіантом, зведено нижче (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Специфікація капітальних витрат для спорудження мережі 10 кВ

| номер                       | Назва обраного елемента схеми | Вимір. од. | Кіл., шт | Вартість, тис.грн. | Всього по заводу |
|-----------------------------|-------------------------------|------------|----------|--------------------|------------------|
| 1                           | КЛ 10 кВ                      | км         | 23,28    | 3981,25            | 92683,5          |
| 2                           | Траншея                       | км         | 5,82     | 300                | 1746             |
| 3                           | Шафи КРП серії КУ-10          | шт.        | 2        | 457,8              | 915,6            |
| Всього капітальних вкладень |                               |            |          |                    | 95345,1          |

Експлуатаційні (поточні) витрати, пов'язані з функціонуванням зовнішньої електричної мережі напругою 10 кВ за другим варіантом, відображено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Калькуляція щорічних експлуатаційних витрат (схема 10 кВ)

| номер                  | Назва обраного елемента схеми | $K_j$ , тис.грн. | $P_{aj}$ , % | $C_{aj}$ , тис.грн. | $P_{ej}$ , % | $C_{aj}$ , тис.грн. | $C_j$ , тис.грн. |
|------------------------|-------------------------------|------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|------------------|
| 1                      | для КЛ 10 кВ                  | 92683,5          | 5            | 4634,175            | 5            | 4634,18             | 9268,35          |
| 2                      | для траншеї                   | 1746             | 5            | 87,3                | 5            | 87,3                | 174,6            |
| 3                      | для шафи КРП                  | 915,6            | 15           | 137,34              | 5            | 45,78               | 183,12           |
| Всього поточних витрат |                               |                  |              |                     |              |                     | 9626,07          |

До складу кожної лінії живлення входять комутаційний вимикач та кабельна лінія. Розрахункова частота відмов для першої лінії електропостачання становить:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,9312 = 0,9352 \text{ 1/рік}$$

Середня тривалість ремонтно-відновлювальних робіт для даної ділянки мережі:

|     |      |          |         |      |      |
|-----|------|----------|---------|------|------|
|     |      |          |         |      | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |      |
|     |      |          |         |      | 30   |

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,9312 \cdot 0,0008148)}{0,9352} = 0,00081324 \text{ рік}$$

Показник імовірності планового виведення лінії з експлуатації:

$$K_n = 1,2 K_{n\max} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

Показник імовірності вимушеного (аварійного) вимкнення 1-ої лінії живлення:

$$K_a = \lambda T_{\epsilon} = 0,9352 \cdot 0,00081323 = 0,000761$$

Ймовірність виникнення ситуації, коли один елемент перебуває у плановому ремонті, а інший виходить з ладу внаслідок аварії:

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,9352 \cdot 0,00000576 = 0,00000269$$

Загальний коеф. вимушеного простою для системи з 2-х паралельних ліній:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,000000578 + 2 \cdot 0,00000269 = 0,00000596$$

Очікувана тривалість аварійних перерв у живленні протягом року:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,00000569 \cdot 8760 = 0,05226$$

Прогнозовані фінансові збитки підприємства від недопостачання ел.енергії:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 42 \cdot 8,67 \cdot 0,05226 = 19,03 \text{ тис.грн.}$$

Сумарні приведені витрати для першого варіанта організації мережі напругою 10 кВ:

$$\begin{aligned} Z_i &= E_n K_i + C_i + C_{втр.i} + Y_i = \\ &= 0,12 \cdot 95345 + 9626 + 18315 + 19,03 = 5149,37 \text{ тис.грн. / рік} \end{aligned}$$

Аналогічний комплекс розрахунків виконується для альтернативного варіанта схеми напругою 110 кВ. Загальні результати зіставлення обох технічних рішень наведено нижче (табл. 3.3). Аналіз отриманих даних свідчить, що за критерієм мінімуму приведених витрат вигіднішим є варіант із глибоким вводом 110 кВ. Відповідно, саме цю схему затверджено для подальшого проектування інфраструктури об'єкта.

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 31   |

Таблиця 3.3 - Техніко-економічні показники 1 і 2-го варіантів схем електропостачання для заводу з виробництва с/г колісної техніки

| Техніко-економічні показники 2-х варіантів | Варіанти      |              |
|--------------------------------------------|---------------|--------------|
|                                            | 1-й на 110 кВ | 2-й на 10 кВ |
| Капітальні вкладення по заводу             | 38914,51      | 95345,1      |
| Поточні витрати по заводу                  | 7561,451      | 9626,07      |
| Вартість втрат ел.енергії по заводу        | 8579,33       | 18315,62     |
| Збиток по заводу                           | 12,9          | 19,03        |
| Зведені витрати по заводу                  | 20823,42      | 39402,13     |

### 3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Зіставлення можливих технічних рішень показало, що магістральний принцип побудови мережі має кращі техніко-економічні характеристики. Проте, враховуючи жорсткі вимоги до безперебійності технологічних процесів машинобудування, радіальний варіант забезпечує значно вищий рівень надійності. З огляду на це, для подальшої розробки системи розподілу енергії по об'єкту затверджено радіальну схему.

Прийняте схемне рішення для внутрішнього електропостачання виробничих потужностей та допоміжних підрозділів комплексу графічно зображено на рис. 3.2.

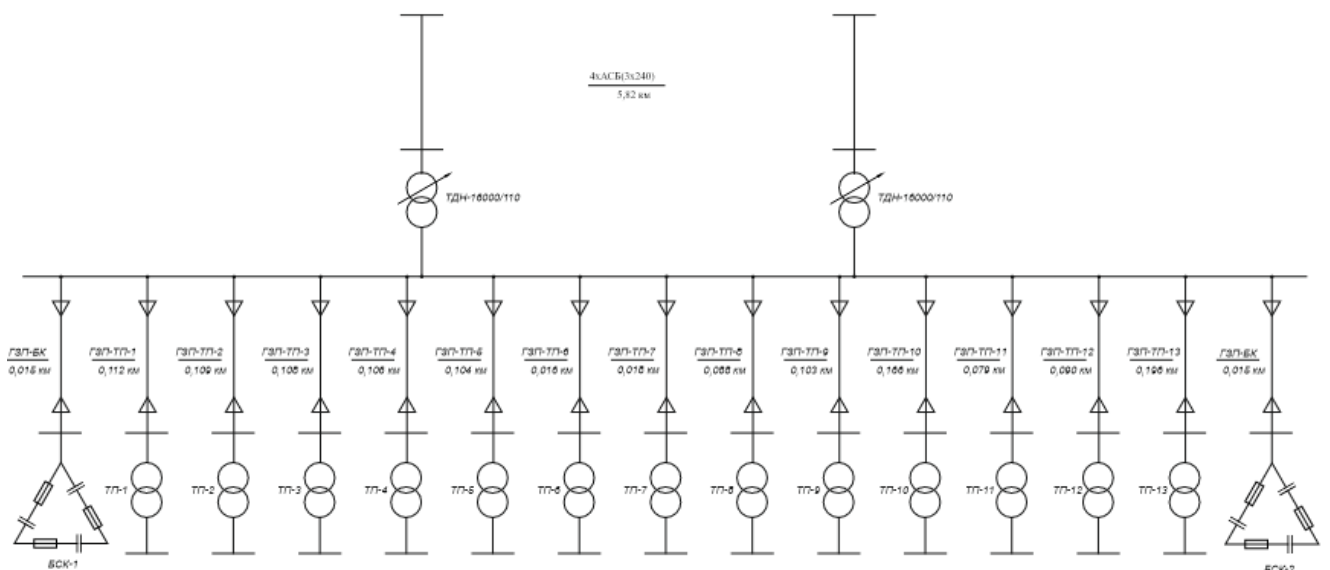


Рисунок 3.2 - Схема внутрішнього електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки.

#### 4. Режими реактивної потужності системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

##### 4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки.

Вихідні параметри для подальшого обчислення балансу реактивної потужності в електричних мережах підприємства мають такий вигляд.

Сумарне навантаження споживачів напругою до 1 кВ:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 14712,23 \text{ кВт} ; Q_n = \sum Q_{ТП} = 11620,97 \text{ кВАр}$$

Загальне високовольтне навантаження ел.приймачів напругою понад 1 кВ:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 241,04 \text{ кВт} ; \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 1245,45 \text{ кВАр}$$

Сумарний обсяг споживання активної потужності підприємством с/г техніки:

$$\Delta P_\epsilon = \sum \Delta P_{ВН} = 0 \text{ кВт} ; \Delta Q_\epsilon = \sum \Delta Q_{ВН} = 0 \text{ кВАр}$$

Загальна величина активної та реактивної потужності, що споживається обладнанням:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon - P_{сз} = 14712,23 + 241,04 + 0 - 0 = 14953,27 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon - Q_{сд} = 11620,97 + 1245,45 + 0 - 0 = 12866,42 \text{ кВАр}$$

Економічно доцільна реактивна потужність, яка за умов енергосистеми може бути отримана з зовнішньої мережі:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 14953,27 \cdot 0,15 = 2242,99 \text{ кВАр}$$

Загальна розрахункова потужність заводських компенсувальних установок:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 12866,42 - 2242,99 = 10623,43 \text{ кВАр}$$

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 33   |

Мінімально необхідне число силових трансформаторів для об'єкта:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{14712,23}{0,7 \cdot 1000} = 22,7 \approx 23 \text{ шт.}$$

Для першого варіанта, де число КТП відповідає базовому значенню  $N = N_0 = 23$  шт., величина реактивної потужності, що трансформується в мережу низької напруги, становить::

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(23 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 14953,27^2} = 3215,08 \text{ кВАр}$$

Необхідна потужність батарей конденсаторів для встановлення на боці 0,4кВ:

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 12866,42 - 3215,08 = 9651,34 \text{ кВАр}$$

Потужність високовольтних компенсувальних пристроїв у мережі 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_{KП} - Q_{KH} = 10623,43 - 9651,34 = 972,09 \text{ кВАр}$$

Обчислення параметрів компенсації для варіантів із розширенням парку силових трансформаторів до  $N_{т2} = 24$  шт,  $N_{т3} = 25$  шт виконуються за аналогічним алгоритмом.

Таблиця 4.1 - Результати визначення параметрів компенсувальних пристроїв

| № вар. | Кількість тр-торів заводу | Потужність $Q_1$ , квар | Потужність $Q_{KH}$ , кВАр | Потужність $Q_{KB}$ , квар |
|--------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1      | 23                        | 3215,08                 | 9651,34                    | 972,09                     |
| 2      | 24                        | 5578,65                 | 7287,77                    | 3335,66                    |
| 3      | 25                        | 7265,7                  | 5600,72                    | 5022,71                    |

## 4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на заводі з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Параметри компенсувальних пристроїв напругою 0,4 кВ та 10 кВ, запланованих до встановлення на підприємстві для трьох розглянутих варіантів, зведено у табл. 4.2.1 – 4.2.4.

Таблиця 4.2.1 - Вибір батарей конденсаторів за умови прийняття кількості КТП  $N_T = N_0 = 23$

| № КТП заводу | К-сть | Потужн $P_p$ , кВт | Потужн $Q_p$ , кВАр | Потужн $Q_{np}$ , кВАр | Потужн $Q_{кп}$ , кВАр | Кільк.та потужн.БК, шт.·кВАр | Сума $Q_{БК}$ , кВАр | $Q_{кп}-Q_{БК}$ , кВАр | Коеф $K_3$ | Потужн $S_p$ , кВА |
|--------------|-------|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|------------|--------------------|
| ТП1-5        | 10    | 6841,73            | 5950,32             | 0                      | 5950,32                | 12·500;                      | 6000                 | -49,68                 | 0,68       | 6841,91            |
| ТП 6,7       | 4     | 2499,13            | 2051,76             | 911,02                 | 1140,74                | 4·268;                       | 1072                 | 68,74                  | 0,67       | 2684,32            |
| ТП 8         | 1     | 650,85             | 482,14              | 136,45                 | 345,69                 | 1·300;                       | 300                  | 45,69                  | 0,68       | 675,856            |
| ТП 9         | 2     | 1498,93            | 1032,33             | 0                      | 1032,33                | 4·200;                       | 800                  | 232,33                 | 0,76       | 1516,83            |
| ТП 10        | 2     | 1503,62            | 695,37              | 0                      | 695,37                 | 2·300;                       | 600                  | 95,37                  | 0,75       | 1506,64            |
| ТП 11,12     | 3     | 1946,28            | 882,93              | 438,2                  | 444,73                 | 2·150;                       | 300                  | 144,73                 | 0,68       | 2031,7             |
| ТП13         | 1     | 686,1              | 526,12              | 0                      | 526,12                 | 2·200;                       | 400                  | 126,12                 | 0,7        | 697,595            |

Сумарна потужність батарей конденсаторів, що встановлюються на боці низької напруги 0,4 кВ, становить  $Q_{кн} = 9472$ . Для високовольної сторони 10 кВ цей показник прийнято на рівні  $Q_{кв} = 900$  квар (два блоки по 450 квар).

Таблиця 4.2.2 - Вибір батарей конденсаторів за умови прийняття кількості КТП  $N_T = 24$ .

| № КТП заводу | К-сть | Потужн $P_p$ , кВт | Потужн $Q_p$ , кВАр | Потужн $Q_{np}$ , кВАр | Потужн $Q_{кп}$ , кВАр | Кільк.та потужн.БК, шт.·кВАр | Сума $Q_{БК}$ , кВАр | $Q_{кп}-Q_{БК}$ , кВАр | Коеф $K_3$ | Потужн $S_p$ , кВА |
|--------------|-------|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|------------|--------------------|
| ТП1-5        | 10    | 6841,73            | 5950,32             | 0                      | 5950,32                | 12·500;                      | 6000                 | -49,68                 | 0,68       | 6841,91            |
| ТП6,7        | 4     | 2499,13            | 2051,76             | 911,02                 | 1140,74                | 2·268;<br>2·300;             | 1136                 | 4,74                   | 0,67       | 2661,63            |
| ТП 8         | 2     | 650,85             | 482,14              | 1159,87                | 0                      |                              | 0                    | 0                      | 0,4        | 809,978            |
| ТП 9         | 2     | 1498,93            | 1032,33             | 0                      | 1032,33                | 2·402;                       | 804                  | 228,33                 | 0,76       | 1516,22            |
| ТП 10        | 2     | 1503,62            | 695,37              | 0                      | 695,37                 | 2·300;                       | 600                  | 95,37                  | 0,75       | 1506,64            |
| ТП11,12      | 3     | 1946,28            | 882,93              | 438,2                  | 444,73                 | 2·150;                       | 300                  | 144,73                 | 0,68       | 2031,7             |
| ТП13         | 1     | 686,1              | 526,12              | 0                      | 526,12                 | 2·200;                       | 400                  | 126,12                 | 0,7        | 697,595            |

Загальна потужність батарей конденсаторів, орієнтованих на встановлення в низьковольтній мережі 0,4 кВ, дорівнює  $Q_{KH} = 9240$  кВар. На боці високої напруги 10 кВ величина компенсації становить  $Q_{KB} = 1200$  квар (вибрано дві установки по 600 квар).

Таблиця 4.2.3 - Вибір батарей конденсаторів за умови прийняття кількості КТП  $N_T = 25$ .

| № КТП заводу | К-сть | Потужн $P_p$ , кВт | Потужн $Q_p$ , кВАр | Потужн $Q_{np}$ , кВАр | Потужн $Q_{кп}$ , кВАр | Кільк.та потужн.БК, шт. кВАр | Сума $Q_{БК}$ , кВАр | $Q_{кп}-Q_{БК}$ , кВАр | Коеф $K_z$ | Потужн $S_p$ , кВА |
|--------------|-------|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|------------|--------------------|
| ТП1-5        | 10    | 6841,73            | 5950,32             | 0                      | 5950,32                | 12·500;                      | 6000                 | -49,68                 | 0,68       | 6841,91            |
| ТП6,7        | 4     | 2499,13            | 2051,76             | 911,02                 | 1140,74                | 2·402;                       | 804                  | 336,74                 | 0,7        | 2793,31            |
| ТП 8         | 2     | 650,85             | 482,14              | 1159,87                | 0                      |                              | 0                    | 0                      | 0,4        | 809,978            |
| ТП 9         | 2     | 1498,93            | 1032,33             | 0                      | 1032,33                | 2·50; 4·200;                 | 900                  | 132,33                 | 0,75       | 1504,76            |
| ТП10         | 2     | 1503,62            | 695,37              | 0                      | 695,37                 | 2·300;                       | 600                  | 95,37                  | 0,75       | 1506,64            |
| ТП 11,12     | 4     | 1946,28            | 882,93              | 1813,17                | 0                      |                              | 0                    | 0                      | 0,53       | 2137,19            |
| ТП13         | 1     | 686,1              | 526,12              | 0                      | 526,12                 | 2·50; 2·200;                 | 500                  | 26,12                  | 0,69       | 686,597            |

Сумарна потужність низьковольтних батарей конденсаторів становить  $Q_{KH} = 8804$  кВар, а для високовольтної сторони 10 кВ цей показник прийнято на рівні  $Q_{KB} = 1500$  квар (комплектуються двома установками по 300 квар та двома по 450 квар). Нижче наведено алгоритм визначення зведених витрат на компенсацію для базового варіанта із кількістю трансформаторів  $N_T = N_0 = 23$ . Технічні втрати активної потужності в низьковольтних компенсувальних пристроях підприємства:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 9472 = 42,62 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності у високовольтних конденсаторних батареях:

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 900 = 2,7 \text{ кВт}$$

Додаткові втрати активної потужності в силових трансформаторах, зумовлені перетіканням реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{14712,2^2 + 3215,08^2}{10^2} \cdot 0,07 \cdot 0,001 = 49,39 \text{ кВт}$$

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 36   |

при цьому величина еквівалентного опору трансформаторного парку становить:

$$R_{\text{екв}} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{\text{ном}}^2}{N \cdot S_{\text{ном}}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{23 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,04 \text{ Ом}$$

### Капітальні витрати на придбання та монтаж низьковольтних КУ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = 2 \cdot 72,1 + 6 \cdot 101,2 + 4 \cdot 164,7 + 3 \cdot 179,4 + 12 \cdot 202,8 = 4382 \text{ тис.грн.}$$

Загальна вартість комплектних трансформаторних підстанцій, тис. грн:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KBi} = 2 \cdot 350 = 700 \text{ тис.грн.}$$

### Кошторисна вартість високовольтних КУ на боці 10 кВ:

$$K_{KП} = N_{KП(2)} \cdot K_{KП(2)} + N_{KП(1)} \cdot K_{KП(1)} = 101348,42 + 3787,08 = 15845,48 \text{ тис.грн.}$$

Сумарні зведені витрати на реалізацію системи компенсації реактивної потужності:

$$3 = E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{KTP}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{TP}) =$$

$$= 0,12 \cdot (4382 + 700 + 15845) + 12,1078 \cdot 3501 \cdot (42,62 + 2,7 + 49,39) \cdot 10^{-3} = 7447,35 \text{ тис.грн.}$$

Обчислення економічних показників для варіантів із розширенням кількості силових трансформаторів до  $N_T = 24$  шт.,  $N_T = 25$  шт виконується за ідентичною методикою.

Таблиця 4.2.4 - Зведені техніко-економічні показники варіантів компенсації

| $N_{\text{вар}}$ | Потуж<br>$Q_{\text{кн}}$ ,<br>квар | Потуж<br>$\Delta P_{\text{кн}}$ ,<br>кВт | Потуж<br>$Q_{\text{кв}}$ ,<br>квар | Потуж<br>$\Delta P_{\text{кв}}$ ,<br>кВт | Потуж<br>$N_{\text{пр}}$ ,<br>шт. | Потуж<br>$R_{\text{екв}}$ ,<br>Ом | Потуж<br>$S_{\text{пр}}$ ,<br>кВА | Потуж<br>$\Delta P_{\text{тн}}$ ,<br>кВт | Потуж<br>$K_{\text{кн}}$ ,<br>тис. грн | Потуж<br>$K_{\text{кв}}$ ,<br>тис. грн | Потуж<br>$K_{\text{тн}}$ ,<br>тис. грн | Загальн<br>3,<br>тис. грн. |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|
| 1                | 9472                               | 42,62                                    | 900                                | 2,7                                      | 23                                | 0,04                              | 15049,4                           | 49,39                                    | 4382                                   | 700                                    | 15845                                  | 7447,35                    |
| 2                | 9240                               | 41,58                                    | 1200                               | 3,6                                      | 24                                | 0,04                              | 15734,4                           | 99,03                                    | 4222,4                                 | 794                                    | 16407                                  | 7683,81                    |
| 3                | 8804                               | 39,62                                    | 1500                               | 4,5                                      | 25                                | 0,03                              | 16408,5                           | 80,77                                    | 3937,6                                 | 700                                    | 16968                                  | 7886,75                    |

Аналіз отриманих результатів свідчить, що мінімальні фінансові витрати забезпечуються при реалізації першого варіанта. З огляду на це, дане проектне рішення затверджується для подальшого впровадження.

Таблиця 4.2.5 - Розрахунок електричних навантажень, заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки, вище 1000 В з БК

| Назва групи споживачів                                     | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн</sub> , кВт  |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m    | K <sub>и</sub> | cosj | tgj  | Середнє                  |                           | n <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|------------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|----------------|------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
|                                                            |            | Р <sub>min</sub><br>кВт | Р <sub>max</sub><br>кВт |                         |      |                |      |      | Р <sub>см</sub> ,<br>кВт | Q <sub>см</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| ТП-1,2,3,4,5.                                              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Цех головного конвеєра та складання шасі                   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                    | 301        | 5,5                     | 100                     | 7900,5                  | 18,2 | 0,85           | 0,75 | 0,88 | 6723,33                  | 5911,36                   | 158             | 1              | 6723,33                   | 5911,36               | 8952,5               |
| освітлювальне:                                             |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 109,5                    |                           |                 |                | 118,4                     | 38,96                 |                      |
| Всього:                                                    |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 6832,83                  | 5911,36                   |                 |                | 6841,73                   | 5950,32               | 9067,28              |
| Всього по ТП-1,2,3,4,5.:                                   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                    | 301        | 5,5                     | 100                     | 7900,5                  | 18,2 | 0,85           | 0,75 | 0,88 | 6723,33                  | 5911,36                   | 158             | 1              | 6723,33                   | 5911,36               | 8952,5               |
| освітлювальне:                                             |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 109,5                    |                           |                 |                | 118,4                     | 38,96                 |                      |
| БК 0,4 кВ                                                  |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          | -6000                     |                 |                |                           | -6000                 |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-1,2,3,4,5.:                      |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 6832,83                  | -88,64                    |                 |                | 6841,73                   | -49,68                | 6841,91              |
| Втрати в трансформаторах:                                  |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 75,99                     | 397,46                |                      |
| Кількість трансформаторів: 10                              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000                           |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68                         |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-1,2,3,4,5.:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 6917,72                   | 347,78                | 6926,46              |
| ТП-6.7.                                                    |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Моторний цех (дільниця випробування та складання двигунів) |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                    | 182        | 3                       | 120                     | 7401                    | 40   | 0,25           | 0,7  | 1,02 | 1857,65                  | 1889,88                   | 123             | 1,17           | 2172,98                   | 1889,88               | 2879,84              |
| освітлювальне:                                             |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 109,5                    |                           |                 |                | 118,3                     | 38,48                 |                      |
| Всього:                                                    |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 1967,15                  | 1889,88                   |                 |                | 2291,28                   | 1928,36               | 2994,75              |
| Інструментальний цех                                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                    | 51         | 1,1                     | 30                      | 701                     | 27,3 | 0,2            | 0,8  | 0,75 | 140,9                    | 105,31                    | 47              | 1,34           | 188,77                    | 105,31                | 216,16               |
| освітлювальне:                                             |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 51,87                    |                           |                 |                | 55,96                     | 18,09                 |                      |

| Продовження таблиці 4.2.5                                 |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
|-----------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|----------------|------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| Назва групи споживачів                                    | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн'</sub> кВт   |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m     | K <sub>ч</sub> | cosj | tgj  | Середнє                  |                           | п <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|                                                           |            | Р <sub>min</sub><br>кВт | Р <sub>max</sub><br>кВт |                         |       |                |      |      | Р <sub>см</sub> ,<br>кВт | Q <sub>см</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| Всього:                                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 192,77                   | 105,31                    |                 |                | 244,73                    | 123,4                 | 274,08               |
| Всього по ТП-6.7.:                                        |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                   | 233        | 1,1                     | 120                     | 8102                    | 109,1 | 0,25           | 0,71 | 1    | 1998,55                  | 1995,19                   | 135             | 1,16           | 2324,87                   | 1995,19               | 3063,63              |
| освітлювальне:                                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 161,37                   |                           |                 |                | 174,26                    | 56,57                 |                      |
| БК 0,4 кВ                                                 |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          | -1072                     |                 |                |                           | -1072                 |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-6.7.:                           |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 2159,92                  | 923,19                    |                 |                | 2499,13                   | 979,76                | 2684,32              |
| Втрати в трансформаторах:                                 |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                | 29,62                     | 155,08                |                      |
| Кількість трансформаторів: 4                              |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000                          |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,67                        |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-6.7.:                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                | 2528,75                   | 1134,84               | 2771,72              |
| ТП-8                                                      |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Агрегатно-арматурний цех                                  |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                   | 51         | 11                      | 22                      | 711                     | 2     | 0,2            | 0,7  | 1,02 | 141,49                   | 144,75                    | 51              | 1,33           | 187,72                    | 144,75                | 237,05               |
| освітлювальне:                                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 26,11                    |                           |                 |                | 28,11                     | 9,46                  |                      |
| Всього:                                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 167,6                    | 144,75                    |                 |                | 215,83                    | 154,21                | 265,26               |
| Адміністративно-побутовий корпус (АПК)                    |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                   | 11         | 1,1                     | 10                      | 121,1                   | 9,1   | 0,7            | 0,8  | 0,75 | 84,65                    | 63,71                     | 11              | 1,19           | 100,81                    | 63,71                 | 119,25               |
| освітлювальне:                                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 12,67                    |                           |                 |                | 13,65                     | 10,31                 |                      |
| Всього:                                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 97,32                    | 63,71                     |                 |                | 114,46                    | 74,02                 | 136,31               |
| Центральна заводська лабораторія (ЦЗЛ) та дослідні стенди |            |                         |                         |                         |       |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                   | 21         | 1,1                     | 7,5                     | 101,1                   | 6,8   | 0,6            | 0,8  | 0,75 | 60,76                    | 45,73                     | 21              | 1,19           | 72,01                     | 45,73                 | 85,3                 |
| освітлювальне:                                            |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 38,75                    |                           |                 |                | 41,62                     | 31,42                 |                      |
| Всього:                                                   |            |                         |                         |                         |       |                |      |      | 99,51                    | 45,73                     |                 |                | 113,63                    | 77,15                 | 137,35               |

Продовження таблиці 4.2.5

[illegible]



| Продовження таблиці 4.2.5            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
|--------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|----------------|------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| Назва групи споживачів               | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн'</sub> кВт   |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m    | K <sub>н</sub> | cosJ | tgj  | Середнє                  |                           | п <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|                                      |            | Р <sub>min</sub><br>кВт | Р <sub>max</sub><br>кВт |                         |      |                |      |      | Р <sub>см</sub> ,<br>кВт | Q <sub>см</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| силове:                              | 222        | 3                       | 100                     | 3744,5                  | 33,3 | 0,3            | 0,76 | 0,86 | 1130,34                  | 967,97                    | 75              | 1,19           | 1349,62                   | 967,97                | 1660,86              |
| освітлювальне:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 138,36                   |                           |                 |                | 149,31                    | 64,36                 |                      |
| БК 0,4 кВ                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          | -800                      |                 |                |                           | -800                  |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-9:         |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 1268,7                   | 167,97                    |                 |                | 1498,93                   | 232,33                | 1516,83              |
| Втрати в трансформаторах:            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 17,55                     | 91,27                 |                      |
| Кількість трансформаторів: 2         |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000     |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,76   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-9:          |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 1516,48                   | 323,6                 | 1550,63              |
| ТП-10                                |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Виробничо-ливарний цех сірого чавуну |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                              | 82         | 5,5                     | 45                      | 1805,5                  | 8,2  | 0,7            | 0,9  | 0,49 | 1265,66                  | 616,57                    | 80              | 1,06           | 1342,47                   | 616,57                | 1477,29              |
| освітлювальне:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 68,74                    |                           |                 |                | 74,16                     | 24,92                 |                      |
| Всього:                              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 1334,4                   | 616,57                    |                 |                | 1416,63                   | 641,49                | 1555,1               |
| Деревообробний та складальний цех    |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                              | 21         | 1,1                     | 15                      | 181,1                   | 13,6 | 0,3            | 0,8  | 0,75 | 54,51                    | 40,74                     | 21              | 1,4            | 76,28                     | 40,74                 | 86,48                |
| освітлювальне:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 19,58                    |                           |                 |                | 21,12                     | 13,14                 |                      |
| Всього:                              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 74,09                    | 40,74                     |                 |                | 97,4                      | 53,88                 | 111,31               |
| Всього по ТП-10:                     |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                              | 103        | 1,1                     | 45                      | 1986,6                  | 40,9 | 0,66           | 0,9  | 0,5  | 1320,17                  | 657,31                    | 88              | 1,07           | 1408,34                   | 657,31                | 1554,18              |
| освітлювальне:                       |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 88,32                    |                           |                 |                | 95,28                     | 38,06                 |                      |
| БК 0,4 кВ                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          | -600                      |                 |                |                           | -600                  |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-10:        |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 1408,49                  | 57,31                     |                 |                | 1503,62                   | 95,37                 | 1506,64              |
| Втрати в трансформаторах:            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 17,38                     | 90,42                 |                      |

| Продовження таблиці 4.2.5                                   |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
|-------------------------------------------------------------|---------|------------------------|----------------------|----------------------|-----|----------------|------|------|-----------------------|------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| Назва групи споживачів                                      | К-ть ЕС | Р <sub>одн</sub> , кВт |                      | Р <sub>сум</sub> кВт | m   | K <sub>н</sub> | cosj | tgj  | Середнє               |                        | п <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|                                                             |         | Р <sub>min</sub> кВт   | Р <sub>max</sub> кВт |                      |     |                |      |      | Р <sub>см</sub> , кВт | Q <sub>см</sub> , кВар |                 |                | Р <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВар | S <sub>p</sub> , кВА |
| Кількість трансформаторів: 2                                |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000                            |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,75                          |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-10:                                |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                | 1521                      | 185,79                | 1532,31              |
| ТП-11,12                                                    |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Виробничо-ливарний цех ковкого чавуну та кольорових металів |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                     | 81      | 5,5                    | 40                   | 2505,5               | 7,3 | 0,7            | 0,9  | 0,49 | 1756,36               | 855,61                 | 81              | 1,06           | 1862,22                   | 855,61                | 2049,37              |
| освітлювальне:                                              |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 78,01                 |                        |                 |                | 84,06                     | 27,32                 |                      |
| Всього:                                                     |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 1834,37               | 855,61                 |                 |                | 1946,28                   | 882,93                | 2137,19              |
| Всього по ТП-11,12:                                         |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                     | 81      | 5,5                    | 40                   | 2505,5               | 7,3 | 0,7            | 0,9  | 0,49 | 1756,36               | 855,61                 | 81              | 1,06           | 1862,22                   | 855,61                | 2049,37              |
| освітлювальне:                                              |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 78,01                 |                        |                 |                | 84,06                     | 27,32                 |                      |
| БК 0,4 кВ                                                   |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       | -300                   |                 |                |                           | -300                  |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП-11,12:                            |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 1834,37               | 555,61                 |                 |                | 1946,28                   | 582,93                | 2031,7               |
| Втрати в трансформаторах:                                   |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                | 22,49                     | 117,68                |                      |
| Кількість трансформаторів: 3                                |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 1000                            |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68                          |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП-11,12:                             |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                | 1968,77                   | 700,61                | 2089,71              |
| ТП-13                                                       |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| Головний склад готової продукції та комплектуючих           |         |                        |                      |                      |     |                |      |      |                       |                        |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                                     | 14      | 5,5                    | 18,5                 | 249                  | 3,4 | 0,6            | 0,8  | 0,75 | 149,65                | 111,85                 | 14              | 1,23           | 184,76                    | 111,85                | 215,98               |
| освітлювальне:                                              |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 4,23                  |                        |                 |                | 4,56                      | 6,1                   |                      |
| Всього:                                                     |         |                        |                      |                      |     |                |      |      | 153,88                | 111,85                 |                 |                | 189,32                    | 117,95                | 223,06               |

Продовження таблиці 4.2.5

[illegible]



## 5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на заводі з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Сучасний інженерний досвід у сфері проектування, монтажу та експлуатації головних знижувальних підстанцій (ГПП) свідчить про доцільність встановлення двох силових трансформаторів однакової потужності, що функціонують у паралельному режимі.

Рівень завантаженості зазначеного силового обладнання визначається відповідним коефіцієнтом, нормативне значення якого має перебувати в межах:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,6 - 0,7$$

Орієнтовна номінальна потужність одного трансформатора обчислюється так:

$$S_T = \frac{S_{max} K_{1,2}}{K_{ав}(n-1)} = \frac{0,8 \cdot 19726,76}{1,4(2-1)} = 11272,43 \text{ кВА}$$

Відповідно до розрахункових вимог, для встановлення на ГПП приймаються два трансформатори типу ТДН-16000/110. Розрахунковий коефіцієнт їхнього завантаження в нормальному режимі становить:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} = \frac{19726,76}{2 \cdot 16000} = 0,61$$

Для оптимізації внутрішньозаводських мереж виконується обґрунтування одиничної потужності, загальної кількості та просторового розміщення цехових підстанцій на території підприємства. Реальний показник завантаженості силових агрегатів визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{S_p}{N \cdot S_{ном}} = \frac{1385,29}{2 \cdot 1000} = 0,68.$$

Приклад вибору силового трансформатора для підстанції ТП-1:

$$S_{ном.тр} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1385,29}{1,08} = 1282,68 \text{ кВА}.$$

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 46   |

$$S_{\text{ном.тр}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1282,68}{1,4} = 989,49 \text{кВА}.$$

За результатами перевірки до встановлення приймається силовий трансформатор марки ТМ-1000/10/0,4, параметри якого повністю задовольняють технічні умови проекту.

З метою систематизації розрахункових даних для решти підрозділів об'єкта, подальший вибір цехового обладнання зведено у табличну форму.

Таблиця 5 - Результати вибору силових трансформаторів цехових ТП.

| № ТП  | К-сть ТП | S <sub>роз</sub> , кВА | Марка          | K <sub>з</sub> | S <sub>ном</sub> > S <sub>p</sub> /K1 | S <sub>ном</sub> > S <sub>p</sub> /K2 | Тип КТП   |
|-------|----------|------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| ТП-1  | 2        | 1385,29                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,68           | 1282,68                               | 989,49                                | Вбудована |
| ТП-2  | 2        | 1385,29                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,68           | 1282,68                               | 989,49                                | Вбудована |
| ТП-3  | 2        | 1385,29                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,68           | 1282,68                               | 989,49                                | Вбудована |
| ТП-4  | 2        | 1385,29                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,68           | 1282,68                               | 989,49                                | Вбудована |
| ТП-5  | 2        | 1385,29                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,68           | 1282,68                               | 989,49                                | Вбудована |
| ТП-6  | 2        | 1385,86                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,67           | 1283,20                               | 989,90                                | Вбудована |
| ТП-7  | 2        | 1385,86                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,67           | 1283,20                               | 989,90                                | Вбудована |
| ТП-8  | 1        | 694,51                 | ТМ-1000-10/0,4 | 0,68           | 643,06                                | 496,08                                | Вбудована |
| ТП-9  | 2        | 1550,63                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,76           | 1435,77                               | 1107,59                               | Вбудована |
| ТП-10 | 2        | 1532,31                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,75           | 1418,81                               | 1094,51                               | Вбудована |
| ТП-11 | 2        | 1393,14                | ТМ-1000-10/0,4 | 0,68           | 1289,94                               | 995,10                                | Вбудована |
| ТП-12 | 1        | 696,57                 | ТМ-1000-10/0,4 | 0,68           | 644,97                                | 497,55                                | Вбудована |
| ТП-13 | 1        | 713,69                 | ТМ-1000-10/0,4 | 0,70           | 660,82                                | 509,78                                | Вбудована |

## 6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки та силових електромереж системи постачання

Цей розділ дипломного проекту присвячений обчисленню параметрів аварійних режимів, а також обґрунтуванню марок провідників і захисної апаратури високої напруги. Усі розрахунки виконано відповідно до нормативно-методичних матеріалів, наведених у [1].

### 6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Для аналізу аварійних режимів на основі вихідної електричної схеми створюється схема заміщення, де всі компоненти мережі представлені у вигляді відповідних опорів (рис. 6.1.1). Виконаємо обчислення активних та індуктивних опорів елементів проекрованої системи.

Параметри активного та індуктивного опору живильної енергосистеми:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з}} = \frac{10,5^2}{47,76} = 2,308 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{2,308^2}{25} = 0,092 \text{ Ом}$$

Активний та індуктивний опір підвідної лінії електропостачання (для двох паралельних кабелів марки АСБ 3х240 протяжністю 5,82 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,129 \cdot 5,82}{2} = 0,375 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,075 \cdot 5,82}{2} = 0,22 \text{ Ом}$$

Результуючий опір короткого замикання у визначеній точці  $K_1$ :

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 2,308 + 0,22 = 2,528 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,092 + 0,3754 = 0,467 \text{ Ом}$$

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 48   |

[illegible]

Величина початкового надперехідного струму трифазного КЗ у точці К<sub>1</sub> від енергосистеми:

$$I_{K1(c)}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,571} = 2,36 \text{ кА}$$

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  | 49   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  |      |

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,528}{314 \cdot 0,467} = 0,0172 \text{ с}$$

Розрахунковий ударний коефіцієнт для точки K<sub>1</sub>:

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0172}} = 1,559$$

Максимальний ударний струм трифазного замикання в точці K<sub>1</sub>:

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K1(c)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,559 \cdot 2,36 = 5,2 \text{ кА}$$

Для подальшої оцінки параметрів КЗ в інших вузлах системи необхідно виконати попереднє обґрунтування перерізів кабелів внутрішньозаводського розподілу 10 кВ. Як приклад розрахунку розглянемо вибір провідника від шин центрального розподільного пункту (ЦРП) до трансформаторної підстанції ТП-1. Обчислення для решти сполучних ліній виконуються за аналогічним алгоритмом, а їхні результати зведено у таблицю 6.1.1.

Величина тривалого розрахункового струму лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1385,29}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,09 \text{ А}$$

Оптимальна площа перерізу жили за умовою економічної щільності струму:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{38,09}{1,4} = 31,74 \text{ мм}^2$$

Величина теплового імпульсу від протікання струму аварійного режиму:

$$B_{\kappa} = I_{K1}''^2 (t_{p.з. min} + T_a) = 2,36^2 (1,365 + 0,0172) = 7,7 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімально допустимий переріз провідника, що задовольняє вимогу термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{7,7 \cdot 10^3} = 29,52 \text{ мм}^2$$

Зважаючи на отримані результати, до встановлення приймається трижильний кабель марки ААШв-10 (3х35). Сумарні значення повного, активного та індуктивного опорів до розрахункової точки K<sub>2</sub>:

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 50   |

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 2,528 + 0,011 = 2,539 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,467 + 0,1 = 0,567 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,567^2 + 2,539^2} = 2,602 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1.1-Технічні характеристики та параметри кабельних ліній мережі 10 кВ

| № КЛ  | l, км | r <sub>0</sub> , Ом/км | x <sub>0</sub> , Ом/км | R, Ом | X, Ом |
|-------|-------|------------------------|------------------------|-------|-------|
| 1,2   | 5,820 | 0,129                  | 0,075                  | 0,375 | 0,218 |
| 3,4   | 0,112 | 0,890                  | 0,095                  | 0,100 | 0,011 |
| 5,6   | 0,109 | 0,890                  | 0,095                  | 0,097 | 0,010 |
| 7,8   | 0,108 | 0,890                  | 0,095                  | 0,096 | 0,010 |
| 9,1   | 0,106 | 0,890                  | 0,095                  | 0,094 | 0,010 |
| 11,12 | 0,104 | 0,890                  | 0,095                  | 0,093 | 0,010 |
| 13,14 | 0,016 | 0,890                  | 0,095                  | 0,014 | 0,002 |
| 15,16 | 0,018 | 0,890                  | 0,095                  | 0,016 | 0,002 |
| 17    | 0,088 | 0,890                  | 0,095                  | 0,078 | 0,008 |
| 18,19 | 0,103 | 0,620                  | 0,090                  | 0,064 | 0,009 |
| 20,21 | 0,166 | 0,620                  | 0,090                  | 0,103 | 0,015 |
| 22,23 | 0,079 | 0,890                  | 0,095                  | 0,070 | 0,008 |
| 24    | 0,090 | 0,890                  | 0,095                  | 0,080 | 0,009 |
| 25    | 0,196 | 0,890                  | 0,095                  | 0,174 | 0,019 |
| 26,27 | 0,015 | 0,890                  | 0,095                  | 0,013 | 0,001 |

Початковий надперехідний струм трифазного короткого замикання в розрахунковій точці K<sub>2</sub>:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,602} = 2,33 \text{ кА}$$

Стала часу згасання аперіодичної складової аварійного струму для точки K<sub>2</sub>:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{2,539}{314 \cdot 0,567} = 0,0143 \text{ с}$$

Розрахунковий ударний коефіцієнт у точці K<sub>2</sub>:

$$k_{y\phi 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0143}} = 1,497$$

Максимальний ударний струм трифазного замикання в точці K<sub>2</sub>:

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 51   |

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,497 \cdot 2,33 = 4,93 \text{ кА}$$

Параметри аварійних режимів для решти визначених вузлів заводської системи електропостачання обчислюються за аналогічним алгоритмом. Підсумкові результати цих обчислень наведено нижче (табл. 6.1.2).

Таблиця 6.1.2 - Зведені результати обчислення струмів короткого замикання

| № т. к.з. | R, Ом  | X, Ом  | I <sub>к</sub> '', кА | T <sub>а</sub> , с | k <sub>y∂</sub> | i <sub>y∂</sub> , кА |
|-----------|--------|--------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| 0         | 0,4670 | 2,5280 | 2,36                  | 0,0172             | 1,559           | 5,20                 |
| 2         | 0,5670 | 2,5390 | 2,33                  | 0,0143             | 1,497           | 4,93                 |
| 3         | 0,0022 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0181             | 1,576           | 40,52                |
| 4         | 0,5640 | 2,5380 | 2,33                  | 0,0143             | 1,497           | 4,93                 |
| 5         | 0,0022 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0181             | 1,576           | 40,52                |
| 6         | 0,5630 | 0,4770 | 8,22                  | 0,0027             | 1,025           | 11,92                |
| 7         | 0,0022 | 0,0095 | 23,57                 | 0,0138             | 1,485           | 49,50                |
| 8         | 0,5610 | 0,4870 | 8,16                  | 0,0028             | 1,028           | 11,86                |
| 9         | 0,0022 | 0,0095 | 23,57                 | 0,0138             | 1,485           | 49,50                |
| 10        | 0,5600 | 2,5380 | 2,33                  | 0,0144             | 1,499           | 4,94                 |
| 11        | 0,0022 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0181             | 1,576           | 40,52                |
| 12        | 0,4810 | 2,5300 | 2,35                  | 0,0168             | 1,551           | 5,15                 |
| 13        | 0,0021 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0190             | 1,591           | 40,91                |
| 14        | 0,4830 | 2,5300 | 2,35                  | 0,0167             | 1,549           | 5,15                 |
| 15        | 0,0021 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0190             | 1,591           | 40,91                |
| 16        | 0,5450 | 2,5360 | 2,34                  | 0,0148             | 1,509           | 4,99                 |
| 17        | 0,0022 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0181             | 1,576           | 40,52                |
| 18        | 0,5310 | 2,5370 | 2,34                  | 0,0152             | 1,518           | 5,02                 |
| 19        | 0,0021 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0190             | 1,591           | 40,91                |
| 20        | 0,5700 | 2,5430 | 2,33                  | 0,0142             | 1,494           | 4,92                 |
| 21        | 0,0022 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0181             | 1,576           | 40,52                |
| 22        | 0,5370 | 2,5360 | 2,34                  | 0,0150             | 1,513           | 5,01                 |
| 23        | 0,0022 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0181             | 1,576           | 40,52                |
| 24        | 0,5470 | 2,5370 | 2,34                  | 0,0148             | 1,509           | 4,99                 |
| 25        | 0,0022 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0181             | 1,576           | 40,52                |
| 26        | 0,6410 | 2,5470 | 2,31                  | 0,0127             | 1,455           | 4,75                 |
| 27        | 0,0023 | 0,0125 | 18,18                 | 0,0173             | 1,561           | 40,13                |
| 1,28      | 0,4800 | 2,5290 | 2,36                  | 0,0168             | 1,551           | 5,18                 |

## 6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки

Виконаємо обґрунтування параметрів кабельної лінії напругою 10 кВ, що з'єднує шини низької напруги ГПП із трансформаторною підстанцією ТП-1. Величина тривалого розрахункового струму на даній ділянці становить:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1385,29}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,09 \text{ кА}$$

До встановлення приймається трижильний кабель марки ААШв-10 (3х35). Перевірка обраного провідника за умовою допустимого струмового навантаження в нормальному режимі роботи підприємства має вигляд:

$$I_p = 38,09 \text{ А} \leq K_n \cdot I_p = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ А}$$

Оцінка здатності кабелю пропускати струм під час ліквідації післяаварійних режимів:

$$I_{ав} = 76,18 \text{ А} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_p = 1,35 \cdot 1 \cdot 115 = 155,25 \text{ А}$$

Величина теплового імпульсу, що діє на ізоляцію та жили при протіканні струму короткого замикання:

$$B_\kappa = I_{K1}^2 (t_{p.з.\min} + T_a) = 2,36^2 \cdot (1,365 + 0,0172) = 7,7 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімально необхідна площа перерізу провідника, що забезпечує належну термічну стійкість під час аварії:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_\kappa} = \frac{1}{94} \sqrt{8,33 \cdot 10^3} = 30,7 \text{ кА}^2\text{с}$$

Розрахункові дані щодо вибору решти розподільних ліній середньої напруги для даного виробничого комплексу зведено у таблицю 6.2.

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  |      |
|     |      |          |         |      |  | 53   |

### **6.3 Вибір високовольного електрообладнання для заводу з виробництва сільськогосподарської колісної техніки**

У даному підрозділі виконано комплекс розрахунків щодо обґрунтування параметрів високовольтних вимикачів та обмежувачів перенапруг (ОПН). Усі етапи вибору комутаційних апаратів реалізовано відповідно до нормативних вимог [1].

Таблиця 6.2 - Результати обґрунтування параметрів розподільних ліній 10 кВ

| №<br>КЛ   | Кіл<br>п,<br>шт | Потуж<br>S <sub>p</sub> ,<br>МВА | струм<br>I <sub>p</sub> , А | струм<br>I <sub>p.ав.</sub> ,<br>А | Полщ<br>F <sub>ек</sub> ,<br>мм <sup>2</sup> | В <sub>к</sub> ,<br>кА <sup>2</sup> с | Полщ<br>F <sub>min</sub> ,<br>мм <sup>2</sup> | Марка<br>прийнятого<br>кабеля | стру<br>м<br>I <sub>доп</sub> ,<br>А | K <sub>п</sub> | K <sub>п</sub> I <sub>доп</sub> ,<br>А | K <sub>ап</sub> | K' <sub>п</sub> | K <sub>ап</sub> K' <sub>п</sub> I <sub>доп</sub> ,<br>А |
|-----------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------------------------|
| 1,2       | 2               | 15049,4                          | 206,8<br>8                  | 413,7<br>6                         | 172,4                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 4 х АШВ-<br>10(3х240)         | 355                                  | 0,9            | 319,5                                  | 1,35            | 1               | 479,25                                                  |
| 3,4       | 2               | 1385,29                          | 38,09                       | 76,18                              | 31,74                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | 1,35            | 1               | 155,25                                                  |
| 5,6       | 2               | 1385,29                          | 38,09                       | 76,18                              | 31,74                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | 1,35            | 1               | 155,25                                                  |
| 7,8       | 2               | 1385,29                          | 38,09                       | 76,18                              | 31,74                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | 1,35            | 1               | 155,25                                                  |
| 9,1       | 2               | 1385,29                          | 38,09                       | 76,18                              | 31,74                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | 1,35            | 1               | 155,25                                                  |
| 11,1<br>2 | 2               | 1385,29                          | 38,09                       | 76,18                              | 31,74                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | 1,35            | 1               | 155,25                                                  |
| 13,1<br>4 | 2               | 1385,86                          | 38,1                        | 76,2                               | 31,75                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | 1,35            | 1               | 155,25                                                  |
| 15,1<br>6 | 2               | 1385,86                          | 38,1                        | 76,2                               | 31,75                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | 1,35            | 1               | 155,25                                                  |
| 17        | 1               | 694,51                           | 38,19                       | -                                  | 31,83                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 1 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 1              | 115                                    | -               | -               | -                                                       |
| 18,1<br>9 | 2               | 1550,63                          | 42,63                       | 85,26                              | 35,53                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х50)          | 140                                  | 0,9            | 126                                    | 1,35            | 1               | 189                                                     |
| 20,2<br>1 | 2               | 1532,31                          | 42,13                       | 84,26                              | 35,11                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х50)          | 140                                  | 0,9            | 126                                    | 1,35            | 1               | 189                                                     |
| 22,2<br>3 | 2               | 1393,14                          | 38,3                        | 76,6                               | 31,92                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | 1,35            | 1               | 155,25                                                  |
| 24        | 1               | 696,57                           | 38,3                        | -                                  | 31,92                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 1 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 1              | 115                                    | -               | -               | -                                                       |
| 25        | 1               | 713,69                           | 39,24                       | -                                  | 32,7                                         | 7,7                                   | 29,52                                         | 1 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 1              | 115                                    | -               | -               | -                                                       |
| 26,2<br>7 | 2               | 450                              | 12,37                       | -                                  | 10,31                                        | 7,7                                   | 29,52                                         | 2 х АШВ-<br>10(3х35)          | 115                                  | 0,9            | 103,5                                  | -               | -               | -                                                       |

Для встановлення на вводі напругою 110 кВ прийнято сучасний високовольтний апарат типу LTB 145D1/B. Секційний комутаційний апарат

високої сторони вибирається за аналогічними критеріями, внаслідок чого до монтажу затверджено аналогічну модель LTB 145D1/B.

Таблиця 6.3.1 - Технічні характеристики та перевірка ввідного вимикача 110 кВ

| Параметр електричного вимикача     | Умови вибору апарата                                                | Розрахунок даного вимикача                                                        |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Параметр обраного ел.апарата       | $U_{уст} \leq U_{ном}$                                              | $110 \leq 110$                                                                    |
| Довготривалий струм ел.апарата, кА | $I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$                                        | $110,58 \leq 3150$                                                                |
| Відключаюча здатність апарата:     |                                                                     |                                                                                   |
| - симетричний струм апарата, А     | $I_{нт} \leq I_{відкл.ном}$                                         | $2,36 \leq 40,0$                                                                  |
| - аперіодична складова, А          | $i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$                         | $0,29 \leq 19,8$                                                                  |
| - повний струм ел.апарата, А       | $\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл.} (1 + \beta_n)$ | $1,41 \cdot 2,36 + 0,29 \leq 1,41 \cdot 40 \cdot (1 + 0,35)$<br>$3,63 \leq 76,37$ |
| Динамічна стійкість ел.апарата:    |                                                                     |                                                                                   |
| - симетричний струм, А             | $I'' \leq I_{дин.ст.}$                                              | $2,36 \leq 52$                                                                    |
| - ударний струм ел.апарата, А      | $i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$                              | $5,2 \leq 132,37$                                                                 |
| Термічна стійкість ел.апарата      | $B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$                                          | $5,9 \leq 1200$                                                                   |

Обґрунтування параметрів комутаційної апаратури для розподільних пристроїв середньої напруги 10 кВ здійснюється за ідентичним алгоритмом [1]. Результати порівняння робочих та аварійних струмів із паспортними даними вакуумних вимикачів відображено у табл. 6.3.2.

Для ввідних комірок 10 кВ обрано високовольтний вакуумний вимикач серії ВР1-10-20/1600 У2. За аналогічною методикою підібрано апарати для інших вузлів розподільного пристрою: у секційну комірку передбачено встановлення вимикача ВР1-10-20/1000, а для захисту відхідних кабельних ліній до цехових підстанцій - типовий апарат ВР1-10-20/630.

Для ділень мережі, де за умовами технологічного процесу достатньо встановлення вимикачів навантаження, прийнято апарат типу ВНА-10/400-10зУ3.

Для забезпечення власних потреб та оперативного живлення центрального розподільного пункту (ЦРП), згідно з розрахунковим рівнем навантаження, до

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 55   |

монтажу приймаються два трансформатори типу ТМ-40/10.

Таблиця 6.3.2 - Параметри та результати перевірки ввідного вимикача 10 кВ

| Параметр електричного вимикача     | Умови вибору апарата                                                | Розрахунок даного вимикача                                                        |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Параметр обраного ел.апарата       | $U_{уст} \leq U_{ном}$                                              | $10 \leq 10$                                                                      |
| Довготривалий струм ел.апарата ,кА | $I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$                                        | $868,88 \leq 1600$                                                                |
| Відключаюча здатність апарата:     |                                                                     |                                                                                   |
| - симетричний струм апарата, А     | $I_{нт} \leq I_{відкл.ном}$                                         | $2,33 \leq 20$                                                                    |
| - аперіодична складова, А          | $i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$                         | $0 \leq 9,9$                                                                      |
| - повний струм ел.апарата, А       | $\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл.} (1 + \beta_n)$ | $1,41 \cdot 2,33 + 0,001 \leq 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,35)$<br>$3,3 \leq 38,18$ |
| Динамічна стійкість ел.апарата:    |                                                                     |                                                                                   |
| - симетричний струм, А             | $I'' \leq I_{дин.ст.}$                                              | $2,33 \leq 52$                                                                    |
| - ударний струм ел.апарата, А      | $i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$                                | $4,93 \leq 132,37$                                                                |
| Термічна стійкість ел.апарата      | $B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$                                          | $5,78 \leq 1200$                                                                  |

У табл. 6.3.3 зведено результати вибору вимірювальних трансформаторів струму (ТС), що монтуються на вводах 10 кВ і призначені для забезпечення належної роботи комерційних приладів обліку та систем релейного захисту.

Таблиця 6.3.3 - Результати вибору вимірювальних трансформаторів струму вхідних ліній 10 кВ

| № | Параметр ТС                                       | Умова вибору                                    | Розрахунок ТС      |
|---|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|
| 1 | Номінальна напруга вимірювального ТС              | $U_{уст} \leq U_{ном}$                          | $10 \leq 10$       |
| 2 | Довготривалий номінальний струм вимірювального ТС | $I_{роб.форс} \leq I_{ном}$                     | $868,88 \leq 1000$ |
| 3 | Динамічна стійкість вимірювального ТС             | $i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2}k_{ед} I_{1ном}$ | $4,93 \leq 81$     |
| 4 | Термічна стійкість вимірювального ТС              | $B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$                    | $0,85 \leq 2976$   |
| 5 | Вторинне навантаження вимірювального ТС           | $Z_2 \leq Z_{ном}$                              | $0,35 \leq 0,4$    |

Згідно з отриманими даними [1], для ввідних ліній підходить трансформатор струму тлк-10/1000 у1, а для відхідних фідерів 10 кВ - тлк-10/200 у1. для контролю рівня напруги та організації кіл вимірювання на шинах розподільного пристрою прийнято трифазний трансформатор напруги типу нами-10-66-у3.

## 7. Спеціальний розділ. Ефективне використання та збереження електроенергії в індукційних тигельних печах

Індукційні тигельні печі (ІТП) є одним із найбільш ефективних і технологічно досконалих засобів плавки металів у сучасній промисловості. Вони широко застосовуються у ливарному виробництві, металургії та машинобудуванні завдяки високій точності регулювання температури, чистоті розплаву та відносно невисокій питомій витраті ел.енергії порівняно з дуговими та полумєневими печами.

Принцип роботи ІТП заснований на явищі електромагнітної індукції: змінний струм, що протікає через індуктор, створює змінне магнітне поле, яке наводить в електропровідному завантаженні (шихті або розплаві) вихрові струми. Ці струми, взаємодіючи з опором матеріалу, виділяють теплову енергію безпосередньо у завантаженні - без проміжних нагрівальних елементів.

Глибина проникнення електромагнітного поля (глибина скін-ефекту) обернено пропорційна квадратному кореню з частоти. Це означає, що вибір частоти є ключовим технологічним параметром: висока частота забезпечує поверхнєве нагрівання (використовується при гартуванні), низька - рівномірне нагрівання по всьому об'єму завантаження (використовується при плавленні).

На підприємстві потреба у виплавці вуглецевої сталі становить від 300 до 600 кг на добу. З урахуванням цих потреб для розрахунку прийнято такі вихідні параметри, наведені в таблиці 7.1.1.

Таблиця 7.1.1 - Вихідні дані для розрахунку

| Параметр                              | Позначення   | Значення            | Одиниці           |
|---------------------------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| Середній розмір шматків завантаження  | $d_{ш}$      | 0,04                | м                 |
| Питомий електричний опір завантаження | $\rho_{ш}$   | $100 \cdot 10^{-8}$ | Ом·м              |
| Питомий електричний опір розплаву     | $\rho_2$     | $137 \cdot 10^{-8}$ | Ом·м              |
| Густина розплаву                      | $\gamma_2$   | $7,2 \cdot 10^3$    | кг/м <sup>3</sup> |
| Кінцева температура металу            | $t_k$        | 1600                | °С                |
| Місткість печі                        | $G$          | 30                  | кг                |
| Тривалість процесу плавки             | $\tau_{пл}$  | 0,66                | год               |
| Тривалість допоміжних операцій        | $\tau_{дон}$ | 0,14                | год               |

## 7.1 Розрахунок геометричних параметрів індукційної тигельної печі

Проектування ІТП розпочинається з визначення геометричних співвідношень системи індуктор–завантаження та вибору частоти джерела живлення. Всі розрахунки виконуються відповідно до методики проектування тигельних індукційних печей.

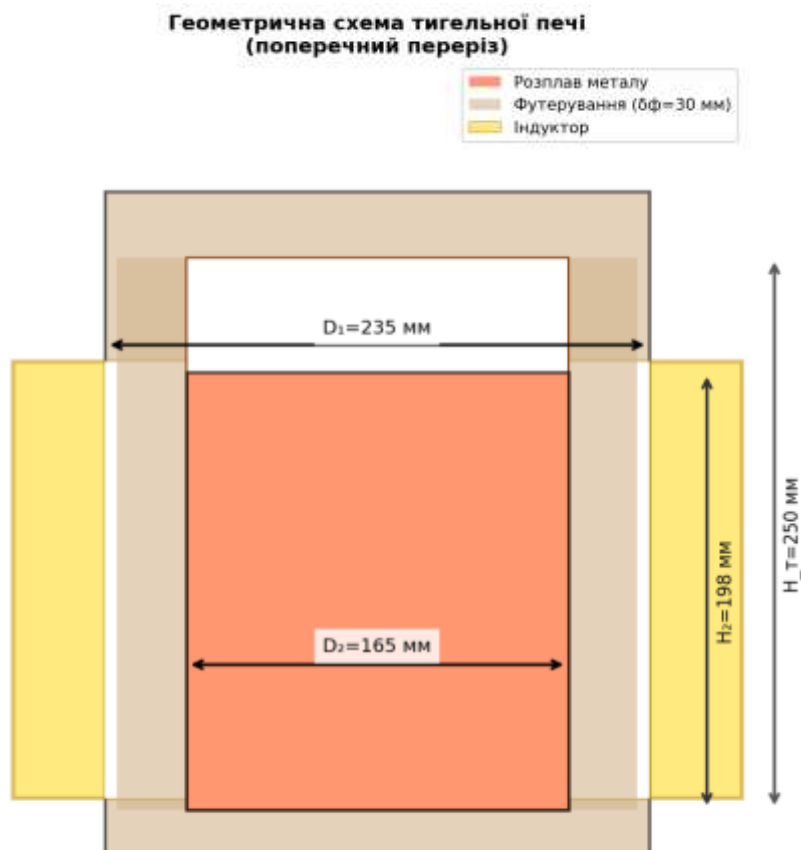


Рисунок 7.1.1 - Геометрична схема тигельної печі (поперечний переріз)

### 7.1.1 Корисний об'єм тигля

Корисний об'єм тигля  $V$  визначається виходячи з місткості печі  $G$  та густини розплаву  $\gamma_2$ :

$$V = G / \gamma_2 = 30 / 7200 = 4,17 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

### 7.1.2 Геометричні співвідношення. Вибір $\beta = H_2/D_2$

|     |      |          |         |      |      |
|-----|------|----------|---------|------|------|
|     |      |          |         |      | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |      |

Для тигельних печей ємністю до 100 кг відношення висоти розплаву до внутрішнього діаметра тигля  $\beta = H_2/D_2$  зазвичай становить 1,0–1,5. За графіком геометрії тигля (рисунок 7.2) для даної ємності приймаємо:

$$\beta = H_2 / D_2 = 1,2$$

### 7.1.3 Внутрішній діаметр тигля

З умови  $V = \pi \cdot D_2^2 / 4 \cdot H_2 = \pi \cdot D_2^2 / 4 \cdot \beta \cdot D_2 = (\pi \cdot \beta / 4) \cdot D_2^3$  виражаємо  $D_2$ :

$$D_2 = (4V / (\pi \cdot \beta))^{1/3} = (4 \cdot 4,17 \cdot 10^{-3} / (\pi \cdot 1,2))^{1/3} = (4,42 \cdot 10^{-3})^{1/3} \approx 0,165 \text{ м}$$

### 7.1.4 Висота розплаву в тиглі

$$H_2 = \beta \cdot D_2 = 1,2 \cdot 0,165 = 0,198 \text{ м} \approx 0,20 \text{ м}$$

### 7.1.5 Висота внутрішньої порожнини тигля

Висота внутрішньої порожнини тигля  $H_t$  перевищує висоту розплаву  $H_2$  на величину запасу ( $\Delta h = 50 \text{ мм}$ ), що запобігає виплеску розплаву:

$$H_t = H_2 + \Delta h = 0,198 + 0,050 = 0,248 \text{ м} \approx 0,25 \text{ м}$$

### 7.1.6 Товщина футерування тигля

Товщина вогнетривкого футерування  $\delta\phi$  для печі ємністю 30 кг становить 25–35 мм. Приймаємо:

$$\delta\phi = 0,030 \text{ м (30 мм)}$$

### 7.1.7 Внутрішній діаметр індуктора

З урахуванням товщини футерування  $\delta\phi$  та шару теплоелектричної ізоляції між футеруванням і індуктором  $\delta_{iz} = 5 \text{ мм}$ :

$$D_i = D_2 + 2 \cdot (\delta\phi + \delta_{iz}) = 0,165 + 2 \cdot (0,030 + 0,005) = 0,165 + 0,070 = 0,235 \text{ м}$$

### 7.1.8 Висота індуктора

Приймаючи коефіцієнт перекриття  $\eta_z = H_i/H_t = 0,80$  (враховує технологічні зазори), висота індуктора становить:

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 59   |

$$H_1 = \eta z \cdot Hm = 0,80 \cdot 0,25 = 0,20 \text{ м}$$

### 7.1.9 Мінімальна частота джерела живлення

Мінімальна частота визначається з умови, що глибина скін-ефекту  $\delta_{ск}$  не перевищує чверті розміру шматків завантаження  $d_{ш}$ :

$$\delta_{ск} = \sqrt{(\rho_{ш} / (\pi \cdot f \cdot \mu_0))} \leq d_{ш} / 4$$

Звідси мінімальна частота:

$$f_{min} = 16 \cdot \rho_{ш} / (\pi \cdot \mu_0 \cdot d_{ш}^2)$$

$$f_{min} = (16 \cdot 100 \cdot 10^{-8}) / (\pi \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (0,04)^2)$$

$$f_{min} = 16 \cdot 10^{-6} / (4\pi^2 \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-3}) \approx 2531 \text{ Гц}$$

Приймаємо стандартну робочу частоту джерела живлення:

$$f = 2400 \text{ Гц}$$

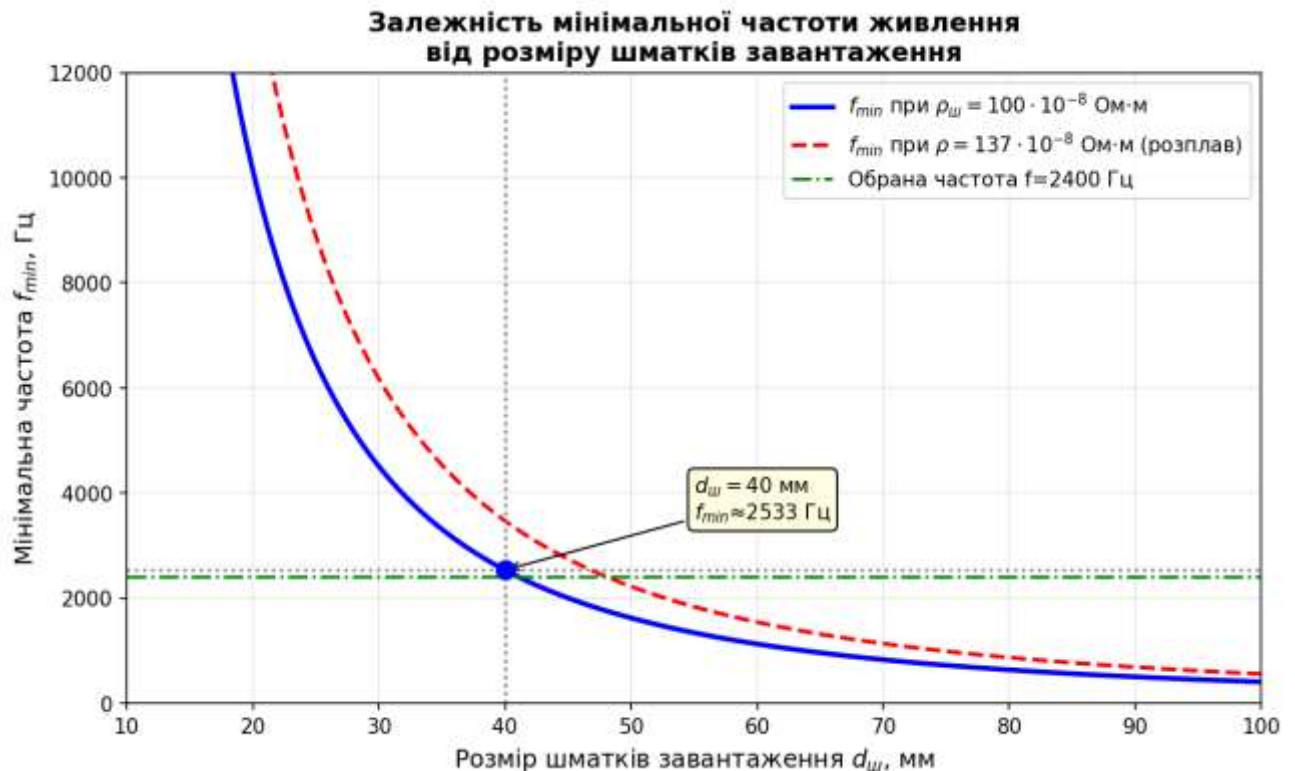


Рисунок 7.1.2 - Залежність мінімальної частоти джерела живлення від розміру шматків завантаження

## Зведена таблиця геометричних параметрів

Таблиця 7.1.2 - Розраховані геометричні параметри ІТП

| Геометричний параметр              | Позначення        | Значення                                 |
|------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| Корисний об'єм тигля               | $V$               | $4,17 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$         |
| Відношення висоти до діаметра      | $\beta = H_2/D_2$ | 1,2                                      |
| Внутрішній діаметр тигля           | $D_2$             | 0,165 м                                  |
| Висота розплаву в тиглі            | $H_2$             | $0,198 \text{ м} \approx 0,20 \text{ м}$ |
| Висота внутрішньої порожнини тигля | $H_T$             | 0,25 м                                   |
| Товщина футерування                | $\delta_\phi$     | 0,03 м                                   |
| Внутрішній діаметр індуктора       | $D_1$             | 0,235 м                                  |
| Висота індуктора                   | $H_1$             | 0,20 м                                   |
| Мінімальна частота ДЖ              | $f_{\min}$        | $\approx 2531 \text{ Гц}$                |
| Обрана робоча частота              | $f$               | 2400 Гц                                  |

### 7.2. Тепловий розрахунок індукційної печі

Метою теплового розрахунку є визначення теплових втрат через елементи футерівки печі, розрахунок потужності, необхідної для розплавлення та перегрівання металу, а також визначення теплового ККД установки.

Розрахунок виконується для індукційної тигельної печі, призначеної для плавлення міді. Температура розплаву становить  $T = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Конструкція футерівки включає кілька шарів різних вогнетривких та теплоізоляційних матеріалів.

#### 7.2.1. Вихідні дані.

Вихідні дані для теплового розрахунку печі наведено у таблиці 7.1.

Таблиця 7.2.1 – Вихідні дані для теплового розрахунку

| Параметр                             | Позначення       | Значення  | Одиниця          |
|--------------------------------------|------------------|-----------|------------------|
| Матеріал розплаву                    | –                | Мідь (Cu) | –                |
| Температура розплаву                 | $T_p$            | 1150      | $^\circ\text{C}$ |
| Температура навколишнього середовища | $T_{\text{нав}}$ | 20        | $^\circ\text{C}$ |
| Ступінь чорноти розплаву             | $\varepsilon$    | 0,45      | –                |

| Параметр                       | Позначення      | Значення | Одиниця                |
|--------------------------------|-----------------|----------|------------------------|
| Коефіцієнт діафрагмування      | $\varphi$       | 0,66     | —                      |
| Коеф. тепловіддачі конвекцією  | $\alpha_k$      | 15,7     | Вт/(м <sup>2</sup> ·К) |
| Товщина набивання підینی       | $\delta_1$      | 0,08     | м                      |
| Товщина азбесту підینی         | $\delta_2$      | 0,005    | м                      |
| Товщина бетону підینی          | $\delta_3$      | 0,08     | м                      |
| Товщина азбестоцементної плити | $\delta_4$      | 0,04     | м                      |
| Внутрішній діаметр тигля       | $d_{\text{вн}}$ | 0,39     | м                      |
| Товщина азбест. шару стінки    | $a$             | 0,005    | м                      |

### 7.2.2. Теплові втрати через подину

Ескіз футерівки печі для виконання теплового розрахунку показано на рис. 7.1.1. Підина печі складається з чотирьох послідовних шарів різних матеріалів із різними теплофізичними властивостями.

#### 7.2.2.1. Температури на межах шарів

Задаємося температурами на межах шарів підینی, які наведено у табл 7.2.2.

Таблиця 7.2.2 – Температури на межах шарів підینی

| Межа шарів            | Позначення | Температура, °С |
|-----------------------|------------|-----------------|
| Внутрішня поверхня    | $T_0$      | 1150            |
| Набивання / Азбест    | $T_1$      | 900             |
| Азбест / Бетон        | $T_2$      | 500             |
| Бетон / Азбестоцемент | $T_3$      | 100             |
| Зовнішня поверхня     | $T_4$      | 50              |

#### 7.2.2.2. Теплофізичні характеристики шарів

Визначаємо середні температури кожного шару. Для шару набивання:  $t_{1cp} = (T_0 + T_1)/2 = (1150 + 900)/2 = 1025$  °С. Для азбестового шару:  $t_{2cp} = (T_1 + T_2)/2 = 700$  °С. Для бетонного шару:  $t_{3cp} = 300$  °С. Для азбестоцементної плити:  $t_{4cp} = 75$  °С.

Коефіцієнти теплопровідності шарів визначаємо відповідно до середніх температур за табл. 11.2 [8]:

$$\lambda_l = 3,5 - 0,0012 \cdot t_{1cp} = 3,5 - 0,0012 \cdot 1025 = 2,27 \text{ Вт/(м·К)}$$

|     |      |          |         |      |  |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|------|
|     |      |          |         |      |  |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  |  | 62   |

$$\lambda_2 = 0,15 + 0,0003 \cdot t_{2cp} = 0,15 + 0,0003 \cdot 700 = 0.36 \text{ Вт/(м·К)}$$

$$\lambda_3 = 0,85 + 0,0005 \cdot t_{3cp} = 0,85 + 0,0005 \cdot 300 = 1 \text{ Вт/(м·К)}$$

$$\lambda_4 = 0,35 + 0,0002 \cdot t_{4cp} = 0,35 + 0,0002 \cdot 75 = 0.37 \text{ Вт/(м·К)}$$

Теплові опори шарів піддини та конвективний опір зовнішньої поверхні наведено у таблиці 7.2.3.

Таблиця 7.2.3 – Теплофізичні характеристики та теплові опори шарів піддини

| Шар | Матеріал                    | Товщина $\delta$ , м | Середня $t$ , °C | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $R$ , м²·К/Вт |
|-----|-----------------------------|----------------------|------------------|----------------------|---------------|
| 1   | Набивання (магнезит)        | 0.08                 | 1025             | 2.27                 | 0.04          |
| 2   | Азбест листовий             | 0.005                | 700              | 0.36                 | 0.01          |
| 3   | Бетон шамотний              | 0.08                 | 300              | 1                    | 0.08          |
| 4   | Азбестоцементна плита       | 0.04                 | 75               | 0.37                 | 0.11          |
| –   | Шар повітря (конвекція)     | –                    | –                | –                    | 0.06          |
|     | Загальний опір $R_{\Sigma}$ |                      |                  |                      | 0.3           |

#### 7.2.2.3. Розрахунок теплових втрат через подину

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією до навколишнього повітря приймаємо  $\alpha_k = 15.7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  згідно з рис. 7.4. Відповідний термічний опір шару повітря:

$$R_{нов} = 1/\alpha_k = 1/15.7 = 0.06 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Сумарний тепловий опір піддини:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{нов} = 0.04 + 0.01 + 0.08 + 0.11 + 0.06 = 0.3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Питомий тепловий потік через подину:

$$q_{под} = (T_0 - T_{нав}) / R_{\Sigma} = (1150 - 20) / 0.3 = 3737 \text{ Вт/м}^2$$

Площа подини дорівнює площі дзеркала ванни:  $A_{под} = \pi \cdot (d_{вн}/2)^2 = \pi \cdot (0.39/2)^2 = 0.12 \text{ м}^2$ . Теплові втрати через подину:

$$Q_{под} = q_{под} \cdot A_{под} = 3737 \cdot 0.12 = 446 \text{ Вт}$$

Перевіряємо температури на межах шарів. Розбіжність розрахункових значень з прийнятими не перевищує 6%, тому подальших уточнень не потрібно.

### 7.2.3. Теплові втрати через бічні стінки тигля

Тигель має циліндричну форму. Внутрішній діаметр тигля  $d_1 = 0.39$  м. Товщина азбестового шару  $a = 0.005$  м, зовнішній діаметр тигля  $d_2 = 0.4$  м. Висота тигля  $H = 0.35$  м.

Приймаємо температуру на межі набивання та азбестового шару  $t_2 = 600$  °С, зовнішню температуру азбестового шару  $t_3 = 55$  °С.

Середні температури шарів стінки:

$$t_{наб.ср} = (T_0 + t_2) / 2 = (1150 + 600) / 2 = 875 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{азб.ср} = (t_2 + t_3) / 2 = (600 + 55) / 2 = 327.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Коефіцієнти теплопровідності шарів стінки:

$$\lambda_{наб} = 3,5 - 0,0012 \cdot 875 = 2.45 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

$$\lambda_{азб} = 0,15 + 0,0003 \cdot 327.5 = 0.25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

Теплові втрати через циліндричну стінку тигля (для плоскої стінки при малих товщинах):

$$Q_{ст} = 2\pi \cdot H \cdot (T_0 - t_3) / (\ln(d_2/d_1)/\lambda_{наб} + \ln(d_3/d_2)/\lambda_{азб})$$

$$Q_{ст} = 2\pi \cdot 0.35 \cdot (1150 - 55) / (0.37/2.45 + 0.03/0.25) = 9553 \text{ Вт}$$

Перевіряємо температури на межах шарів стінки - розбіжність не перевищує допустимих 6%.

### 7.2.4. Теплові втрати випромінюванням з дзеркала ванни

Теплові втрати за рахунок випромінювання з відкритої поверхні розплаву (дзеркала ванни) визначаємо за законом Стефана-Больцмана з урахуванням ступеня чорноти розплаву та коефіцієнта діафрагмування.

Ступінь чорноти розплаву міді  $\varepsilon = 0.45$ . Коефіцієнт діафрагмування  $\varphi = 0.66$  (визначено за рис. 7.5). Площа дзеркала ванни  $A = 0.12$  м².

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 64   |

Теплові втрати випромінюванням:

$$Q_{\text{вип}} = \varepsilon \cdot \varphi \cdot \sigma \cdot (T_{\text{прОзплав}} - T_{\text{нав}}) \cdot A$$

$$Q_{\text{вип}} = 0.45 \cdot 0.66 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (1423^4 - 293^4) \cdot 0.12 = 8234 \text{ Вт}$$

#### 7.2.5. Сумарні теплові втрати

Сумарні теплові втрати печі визначаємо як суму всіх складових:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{под}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{вип}} = 446 + 9553 + 8234 = 18233 \text{ Вт}$$

Розподіл теплових втрат між окремими складовими наведено у табл 7.2.4.

Таблиця 7.2.4 – Зведені теплові втрати індукційної печі

| Складова теплових втрат         | Позначення       | Значення, Вт | Частка, % |
|---------------------------------|------------------|--------------|-----------|
| Через підину                    | $Q_{\text{под}}$ | 446          | 2.4       |
| Через бічні стінки тигля        | $Q_{\text{ст}}$  | 9553         | 52.4      |
| Випромінювання з дзеркала ванни | $Q_{\text{вип}}$ | 8234         | 45.2      |
| Сумарні теплові втрати          | $Q_{\Sigma}$     | 18233        | 100       |

#### 7.2.6. Корисна потужність для розплавлення і перегрівання

Корисна потужність визначається кількістю теплоти, необхідною для нагрівання, розплавлення та перегрівання металу від початкової температури до кінцевої за одиницю часу.

Маса металу в тиглі:  $m = \rho \cdot V = 8900 \cdot 0.02 = 178.4$  кг. Ентальпія міді при температурі  $T = 1150$  °С визначається за рис. 7.6 як сума ентальпії нагрівання до точки плавлення, прихованої теплоти плавлення та ентальпії перегрівання рідкого металу:

$$H = c_{p\text{тв}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{поч}}) + L_{\text{пл}} + c_{p\text{рід}} \cdot (T - T_{\text{пл}})$$

$$H = 390 \cdot (1083 - 20) + 205000 + 520 \cdot (1150 - 1083) = 654410 \text{ Дж/кг} \approx 654 \text{ кДж/кг}$$

Корисна потужність для розплавлення та перегрівання (час плавки  $\tau = 3600$  с):

$$P_{\text{кор}} = m \cdot H / \tau = 178.4 \cdot 654410 / 3600 = 32421 \text{ Вт}$$

### 7.2.7. Тепловий ККД печі

Загальна потужність печі (встановлена):

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{кор}} + Q_{\Sigma} = 32421 + 18233 = 50654 \text{ Вт} \approx 50.7 \text{ кВт}$$

Тепловий ККД печі:

$$\eta_{\text{т}} = P_{\text{кор}} / P_{\text{заг}} \cdot 100\% = 32421 / 50654 \cdot 100\% = 64 \%$$

### 7.2.8. Підсумкові показники теплового розрахунку

Основні результати теплового розрахунку індукційної печі зведено у таблиці

7.2.5.

Таблиця 7.2.5 – Підсумкові показники теплового розрахунку

| Показник                 | Позначення       | Значення | Одиниця |
|--------------------------|------------------|----------|---------|
| Температура розплаву     | T                | 1150     | °C      |
| Маса металу в тиглі      | m                | 178.4    | кг      |
| Ентальпія при T = 1150°C | H                | 654      | кДж/кг  |
| Корисна потужність       | P <sub>кор</sub> | 32421    | Вт      |
| Сумарні теплові втрати   | Q <sub>Σ</sub>   | 18233    | Вт      |
| Загальна потужність печі | P <sub>заг</sub> | 50654    | Вт      |
| Тепловий ККД             | η <sub>т</sub>   | 64       | %       |

### 7.2.9. Висновки за тепловим розрахунком

У результаті теплового розрахунку встановлено, що:

- сумарні теплові втрати печі становлять Q<sub>Σ</sub> = 18233 Вт;
- найбільшу частку теплових втрат складають втрати через бічні стінки (52.4 %);
- корисна потужність для розплавлення та перегрівання міді P<sub>кор</sub> = 32421Вт;
- загальна встановлена потужність печі P<sub>заг</sub> = 50.7 кВт;
- тепловий ККД печі η<sub>т</sub> = 64 %, що відповідає типовим значенням для індукційних тигельних печей (65–80 %).

### 7.3. Електричний розрахунок індуктора в гарячому режимі

Метою електричного розрахунку індуктора в гарячому режимі є визначення електричних параметрів системи індуктор–розплав: опорів, струмів, напруги, ККД та коефіцієнта потужності. Розрахунок виконується для установки з тиристорним перетворювачем частоти ТПЧ-50-2,4 (потужність 50 кВт, частота 2400 Гц).

#### 7.3.1. Вихідні дані

Вихідні дані для електричного розрахунку індуктора наведено у таблиці 7.3.

Таблиця 7.3.1 – Вихідні дані для електричного розрахунку індуктора

| Параметр                                    | Позначення   | Значення            | Одиниця |
|---------------------------------------------|--------------|---------------------|---------|
| Частота струму (ТПЧ-50-2.4)                 | $f$          | 2 400               | Гц      |
| Питомий опір міді (індуктор, гарячий режим) | $\rho_1$     | $2 \cdot 10^{-8}$   | Ом·м    |
| Питомий опір розплаву міді при 1150°C       | $\rho_2$     | $137 \cdot 10^{-8}$ | Ом·м    |
| Внутрішній діаметр індуктора                | $D_1$        | 0,40                | м       |
| Висота індуктора                            | $h_1$        | 0,43                | м       |
| Діаметр завантаження (розплав)              | $D_2$        | 0,39                | м       |
| Коефіцієнт Нагаока                          | $k_1$        | 0,70                | —       |
| Коефіцієнти Бесселя                         | $a_p = p_p$  | 0,06                | —       |
| Число витків індуктора                      | $w_1$        | 26                  | —       |
| Діаметр трубки індуктора                    | $d_{mp}$     | 15                  | мм      |
| Напруга на індукторі                        | $U$          | 900                 | В       |
| Коеф. допоміжних втрат                      | $\eta_{всп}$ | 0,9                 | —       |

#### 7.3.2. Глибини проникнення струму

Глибину проникнення струму визначаємо за номограмою або аналітичним виразом. Для матеріалу індуктора (мідь у гарячому режимі,  $\rho_1 = 2 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, рис. 7.7):

$$\Delta_1 = 503 \cdot \sqrt{(\rho_1 / f)} = 503 \cdot \sqrt{(2 \cdot 10^{-8} / 2400)} = 1.452 \text{ мм} = 0.0015 \text{ м}$$

Для матеріалу завантаження (розплав міді при  $T = 1150$  °С,  $\rho_2 = 137 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, згідно рис. 7.7):

$$\Delta_2 = 503 \cdot \sqrt[3]{(\rho_2 / f)} = 503 \cdot \sqrt[3]{(137 \cdot 10^{-8} / 2400)} = 12.018 \text{ мм} = 0.012 \text{ м}$$

Відносний радіус розплаву (відношення радіуса завантаження до глибини проникнення):

$$x_2 = R_2 / \Delta_2 = 0.2 / 0.012 = 16.23$$

За значенням  $x_2 = 16.23$  з рис. 7.8 знаходимо коефіцієнти функцій Бесселя:  $a_p = p_p = 0,06$ . Зведені результати розрахунку глибин проникнення струму наведено у таблиці 7.3.2.

Таблиця 7.3.2 – Глибини проникнення струму та відносні параметри

| Параметр                                          | Формула                                       | Значення |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
| Глибина проникнення в індуктор $\Delta_1$ , мм    | $\Delta_1 = 503 \cdot \sqrt[3]{(\rho_1 / f)}$ | 1.452    |
| Глибина проникнення в розплав $\Delta_2$ , мм     | $\Delta_2 = 503 \cdot \sqrt[3]{(\rho_2 / f)}$ | 12.018   |
| Відносний радіус розплаву $x_2$                   | $x_2 = R_2 / \Delta_2$                        | 16.23    |
| Зазор індуктор–розплав $\delta_{\text{зaz}}$ , мм | $\delta_{\text{зaz}} = (D_1 - D_2) / 2$       | 5        |

### 7.3.3. Активний і реактивний опори завантаження

Питомий активний опір завантаження (циліндричного розплаву) на один виток та одиницю висоти визначається через коефіцієнт  $a_p$ :

$$r_{2\text{num}} = \rho_2 / (2\pi \cdot R_2 \cdot \Delta_2) \cdot a_p = 1.370e^{-6} / (2\pi \cdot 0.2 \cdot 0.012) \cdot 0.06 = 5.583e^{-6} \text{ Ом/(м·виток)}$$

Аналогічно питомий реактивний опір через коефіцієнт  $p_p = a_p = 0,06$ :

$$x_{2\text{num}} = \rho_2 / (2\pi \cdot R_2 \cdot \Delta_2) \cdot p_p = 5.583e^{-6} \text{ Ом/(м·виток)}$$

### 7.3.4. Реактивний опір повітряного проміжку

Зазор між внутрішньою поверхнею індуктора та розплавом:  $\delta_{\text{зaz}} = (D_1 - D_2) / 2 = (0.4 - 0.39) / 2 = 5 \text{ мм}$ .

$$x_{\text{зaz}} = \omega \cdot \mu_0 \cdot (\pi \cdot D_1^2 / (4 \cdot h_1)) \cdot w_1^2 \cdot (x_{\text{зaz}} / R_1) = 0.0936 \text{ Ом}$$

### 7.3.5. Реактивний опір порожнього індуктора та коефіцієнт Нагаока

Відношення діаметра до висоти індуктора:  $D_1/h_1 = 0.4/0.43 = 0.93$ . За рис. 7.8 визначаємо коефіцієнт Нагаока  $k_1 = 0.7$ .

Реактивний опір порожнього індуктора:

$$x_1 = \omega \cdot \mu_0 \cdot k_1 \cdot (\pi \cdot D_1^2 / (4 \cdot h_1)) \cdot w_1^2 = 2.62 \text{ Ом}$$

Активний опір індуктора (з урахуванням глибини проникнення  $\Delta_1$ ):

$$r_1 = \rho_1 / (\pi \cdot d_{mp} \cdot \Delta_1) \cdot \pi \cdot D_1 \cdot w_1 = 0.0095 \text{ Ом}$$

### 7.3.6. Коефіцієнт приведення та приведені опори завантаження

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку (приведення параметрів завантаження до струму індуктора):

$$k_{св} = (D_2 / D_1) \cdot \sqrt{a_p} = (0.39 / 0.4) \cdot \sqrt{0.06} = 0.239$$

Приведені активний та реактивний опори завантаження:

$$r'_2 = k_{св}^2 \cdot r_{2num} \cdot h_1 \cdot w_1^2 = 0.057 \cdot 5.583e^{-6} \cdot 0.43 \cdot 26^2 = 0.0001 \text{ Ом}$$

$$x'_2 = k_{св}^2 \cdot x_{2num} \cdot h_1 \cdot w_1^2 = 0.0001 \text{ Ом}$$

### 7.3.7. Еквівалентні опори системи індуктор–розплав

Еквівалентні активний, реактивний та повний опори системи (індуктор без магнітопроводу, опором зворотного замикання нехтуємо):

$$r_{екв} = r_1 + r'_2 = 0.0095 + 0.0001 = 0.0096 \text{ Ом}$$

$$x_{екв} = x_1 + x'_2 + x_{зав} = 2.62 + 0.0001 + 0.0936 = 2.71 \text{ Ом}$$

$$z_{екв} = \sqrt{(r_{екв})^2 + (x_{екв})^2} = \sqrt{(0.0096)^2 + (2.71)^2} = 2.71 \text{ Ом}$$

Зведені значення всіх розрахованих опорів наведено у таблиці 7.3.3.

Таблиця 7.3.3 – Електричні опори системи індуктор–розплав

| Величина                             | Позначення | Значення, Ом |
|--------------------------------------|------------|--------------|
| Активний опір індуктора              | $r_1$      | 0.0095       |
| Реактивний опір порожнього індуктора | $x_1$      | 2.62         |

| Величина                                       | Позначення       | Значення, Ом |
|------------------------------------------------|------------------|--------------|
| Реактивний опір повітряного проміжку           | $X_{\text{газ}}$ | 0.0936       |
| Питомий акт. опір завантаження (1 виток, 1 м)  | $r_{2\text{шт}}$ | 5.583e-6     |
| Приведений активний опір завантаження $r'_2$   | $r'_2$           | 0.0001       |
| Приведений реактивний опір завантаження $x'_2$ | $x'_2$           | 0.0001       |
| Еквівалентний активний опір системи            | $r_{\text{екв}}$ | 0.0096       |
| Еквівалентний реактивний опір системи          | $X_{\text{екв}}$ | 2.71         |
| Повний еквівалентний опір системи              | $Z_{\text{екв}}$ | 2.71         |

### 7.3.8. Електричний ККД та коефіцієнт потужності

Електричний ККД індуктора із завантаженням (відношення потужності, що виділяється в завантаженні, до загальної активної потужності):

$$\eta_{\text{ел}} = r'_2 / r_{\text{екв}} \cdot 100\% = 0.0001 / 0.0096 \cdot 100\% = 1 \%$$

Коефіцієнт потужності індуктора із завантаженням:

$$\cos \varphi = r_{\text{екв}} / Z_{\text{екв}} = 0.0096 / 2.71 = 0.004$$

Отримане значення  $\cos \varphi = 0.004$  є типовим для індукційних тигельних печей середньої частоти. Для компенсації реактивної потужності передбачається конденсаторна батарея.

### 7.3.9. Активна потужність джерела живлення

Коефіцієнт  $\eta_{\text{всп}} = 0.9$  враховує електричні втрати в короткій мережі, конденсаторній батареї та інших елементах установки. Активна потужність джерела живлення:

$$P_{\text{ДЖ}} = P_{\text{кор}} / (\eta_{\text{ел}} \cdot \eta_{\text{всп}}) \approx 50\,000 \text{ Вт}$$

Враховуючи результати теплового та електричного розрахунків, вибираємо тиристорний перетворювач частоти типу ТПЧ-50-2,4 загальною потужністю 50 кВт. Вихідну напругу джерела живлення приймаємо  $U = 900 \text{ В}$ .

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 70   |

### 7.3.10. Геометричні параметри індуктора

Число витків при заданій напрузі з попереднього розрахунку:  $w_1 = 26$ .  
Орієнтовна висота одного витка:

$$h_{\text{вит}} = h_1 / w_1 = 0.43 / 26 = 16.538 \text{ мм}$$

За сортаментом вибираємо мідну трубку діаметром  $d_{\text{тр}} = 15$  мм при числі витків  $w_1 = 26$ .

Коефіцієнт заповнення індуктора:

$$k_{\text{зап}} = w_1 \cdot d_{\text{тр}} / h_1 = 26 \cdot 0.015 / 0.43 = 0.91$$

Відношення  $D_1/h_1 = 0.93 \leq 1,0$  – відповідає умовам правильного проектування тигельного індуктора. Параметри геометрії наведено у табл 7.3.4.

Таблиця 7.3.4 – Геометричні параметри індуктора

| Параметр              | Позначення                                     | Значення | Одиниця |
|-----------------------|------------------------------------------------|----------|---------|
| Число витків          | $w_1$                                          | 26       | —       |
| Висота витка          | $h_{\text{вит}} = h_1/w_1$                     | 16.538   | мм      |
| Діаметр трубки        | $d_{\text{тр}}$                                | 15       | мм      |
| Коефіцієнт заповнення | $k_{\text{зап}} = w_1 \cdot d_{\text{тр}}/h_1$ | 0.91     | —       |
| Відношення $D_1/h_1$  | $D_1/h_1$                                      | 0.93     | —       |

### 7.3.11. Струм та настил струму в індукторі

Номінальна напруга на індукторі та число витків визначають робочий струм:

$$I_1 = U / z_{\text{екв}} = 900 / 2.71 = 331.6 \text{ А}$$

Настил струму (лінійна густина струму) в індукторі:

$$J = I_1 / d_{\text{мп}} = 331.6 / 0.015 = 22106 \text{ А/м}$$

Активна потужність, підведена до індуктора:

$$P_{\text{інд}} = I_1^2 \cdot r_{\text{екв}} = 331.6^2 \cdot 0.0096 = 1060 \text{ Вт} \approx 1.1 \text{ кВт}$$

### 7.3.12. Підсумкові результати електричного розрахунку

Основні результати електричного розрахунку індуктора зведено у табл 7.3.5

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 71   |

Таблиця 7.3.5 – Підсумкові результати електричного розрахунку

| Показник                        | Позначення       | Значення | Одиниця |
|---------------------------------|------------------|----------|---------|
| Струм в індукторі               | $I_1$            | 331.6    | А       |
| Настил струму                   | $J = I_1/d_{mp}$ | 22106    | А/м     |
| Активна потужність на індукторі | $P_{ind}$        | 1060     | Вт      |
| Потужність ДЖ (ТПЧ-50-2.4)      | $P_{ДЖ}$         | 50 000   | Вт      |
| Електричний ККД індуктора       | $\eta_{ел}$      | 1        | %       |
| Коефіцієнт потужності           | $\cos \varphi$   | 0.004    | —       |
| Напруга на індукторі            | $U$              | 900      | В       |

### 7.3.13. Висновки за електричним розрахунком

У результаті електричного розрахунку індуктора в гарячому режимі встановлено:

- глибина проникнення струму в матеріал індуктора  $\Delta_1 = 1.452$  мм, у розплав міді  $\Delta_2 = 12.018$  мм;
- повний еквівалентний опір системи  $z_{екв} = 2.71$  Ом;
- електричний ККД індуктора  $\eta_{ел} = 1$  % (типове значення для ІТП 60–75 %);
- коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = 0.004$  - передбачається компенсація реактивної потужності конденсаторною батареєю;
- струм в індукторі  $I_1 = 331.6$  А, настил струму  $J = 22106$  А/м;
- до роботи прийнято тиристорний перетворювач ТПЧ-50-2,4 (50 кВт, 2400 Гц,  $U = 900$  В), індуктор – мідна трубка 15 мм, 26 витків, коефіцієнт заповнення  $k_{зап} = 0.91$ .

## 7.4 Розрахунок потужності та енергетичних параметрів

Розрахунок потужності індукційної печі визначає обсяг необхідного тепловиділення для розплавлення та перегріву металу з урахуванням теплових втрат.

|     |      |          |         |      |      |
|-----|------|----------|---------|------|------|
|     |      |          |         |      | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |      |
|     |      |          |         |      | 72   |

#### 7.4.1 Загальна теплова потреба

Питома теплота  $q$ , необхідна для нагріву вуглецевої сталі від  $20^{\circ}\text{C}$  до кінцевої температури  $1600^{\circ}\text{C}$  (включаючи приховану теплоту плавлення  $L \approx 270 \text{ кДж/кг}$ ):

$$q = c_{\text{тв}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_0) + L + c_{\text{рід}} \cdot (T_{\text{к}} - T_{\text{пл}})$$

$$q = 628 \cdot (1540 - 20) + 270000 + 800 \cdot (1600 - 1540)$$

$$q = 954560 + 270000 + 48000 \approx 1273 \text{ кДж/кг}$$

Загальна теплова потреба на один цикл плавки:

$$Q = G \cdot q = 30 \cdot 1273 = 38190 \text{ кДж} \approx 38,19 \text{ МДж}$$

#### 7.4.2 Потужність печі

З урахуванням ККД печі  $\eta = 0,75$  та часу плавлення  $\tau_{\text{пл}} = 0,66$  год необхідна потужність становить:

$$P = Q / (\eta \cdot \tau_{\text{пл}}) = 38190000 / (0,75 \cdot 0,66 \cdot 3600) \approx 21400 \text{ Вт} \approx 21,4 \text{ кВт}$$

#### 7.4.3 Витрата електроенергії та продуктивність

$$W = Q / \eta = 38190 / 0,75 = 50920 \text{ кДж} \approx 14,1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{цикл}$$

$$w = W / G = 14,1 / 30 \approx 0,47 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}$$

$$T_{\text{ц}} = \tau_{\text{пл}} + \tau_{\text{дон}} = 0,66 + 0,14 = 0,80 \text{ год}$$

$$Pr = G / T_{\text{ц}} = 30 / 0,80 = 37,5 \text{ кг/год}$$

При добовій потребі 300–600 кг кількість циклів на добу становить 8–16, що відповідає 6,4–12,8 годин роботи печі.

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 73   |

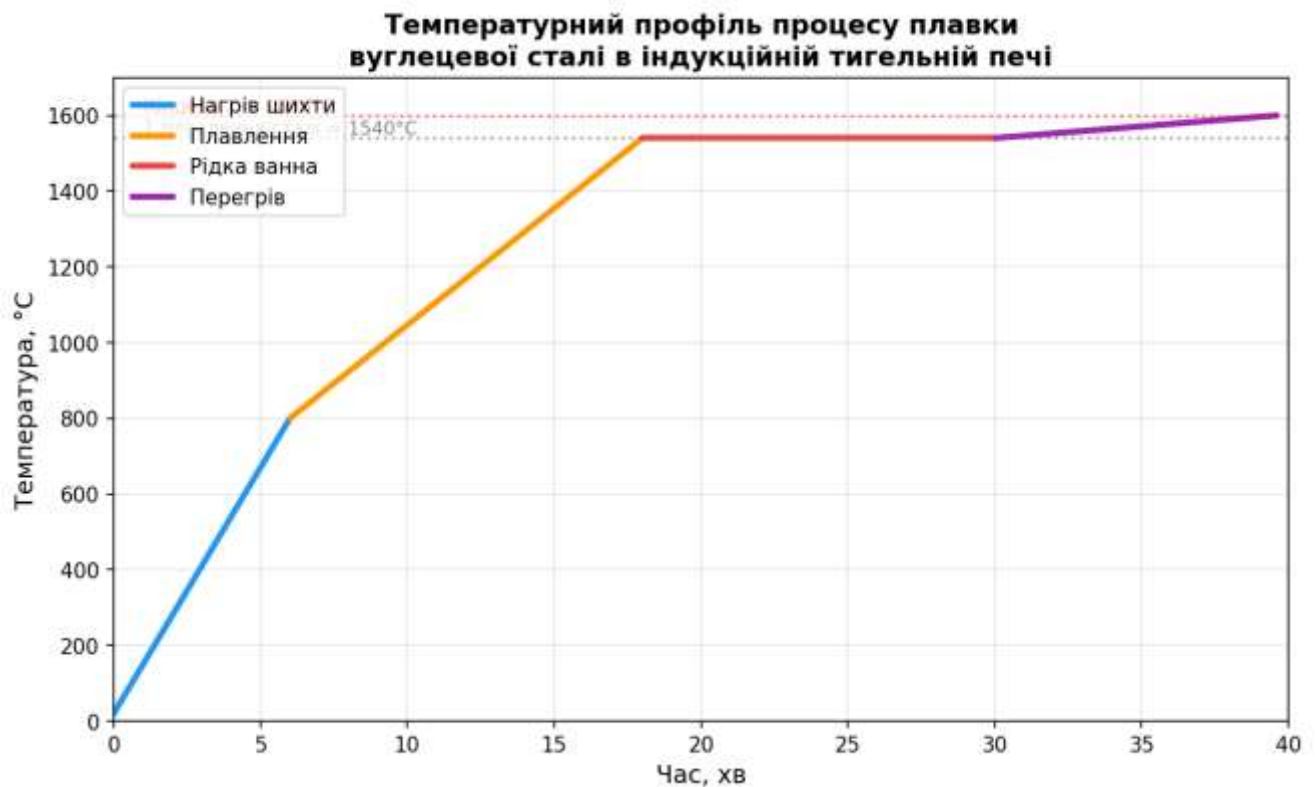


Рисунок 7.4.1 - Температурний профіль процесу плавки вуглецевої сталі в індукційній тигельній печі

Таблиця 7.4 - Зведені енергетичні показники ІТП

| Енергетичний показник               | Позначення     | Значення                  |
|-------------------------------------|----------------|---------------------------|
| Питома теплота нагріву та плавлення | $q$            | 1273 кДж/кг               |
| Загальна теплота на плавку          | $Q$            | 38,19 МДж                 |
| Коефіцієнт корисної дії печі        | $\eta$         | 0,75                      |
| Потужність печі                     | $P$            | $\approx 21,4$ кВт        |
| Витрата електроенергії за цикл      | $W$            | $\approx 14,1$ кВт·год    |
| Питома витрата електроенергії       | $w$            | $\approx 0,47$ кВт·год/кг |
| Тривалість одного циклу             | $T_{\text{ц}}$ | 0,80 год                  |
| Продуктивність печі                 | $P_p$          | 37,5 кг/год               |

### Енергетичний баланс індукційної тигельної печі (ККД $\eta = 0.75$ )

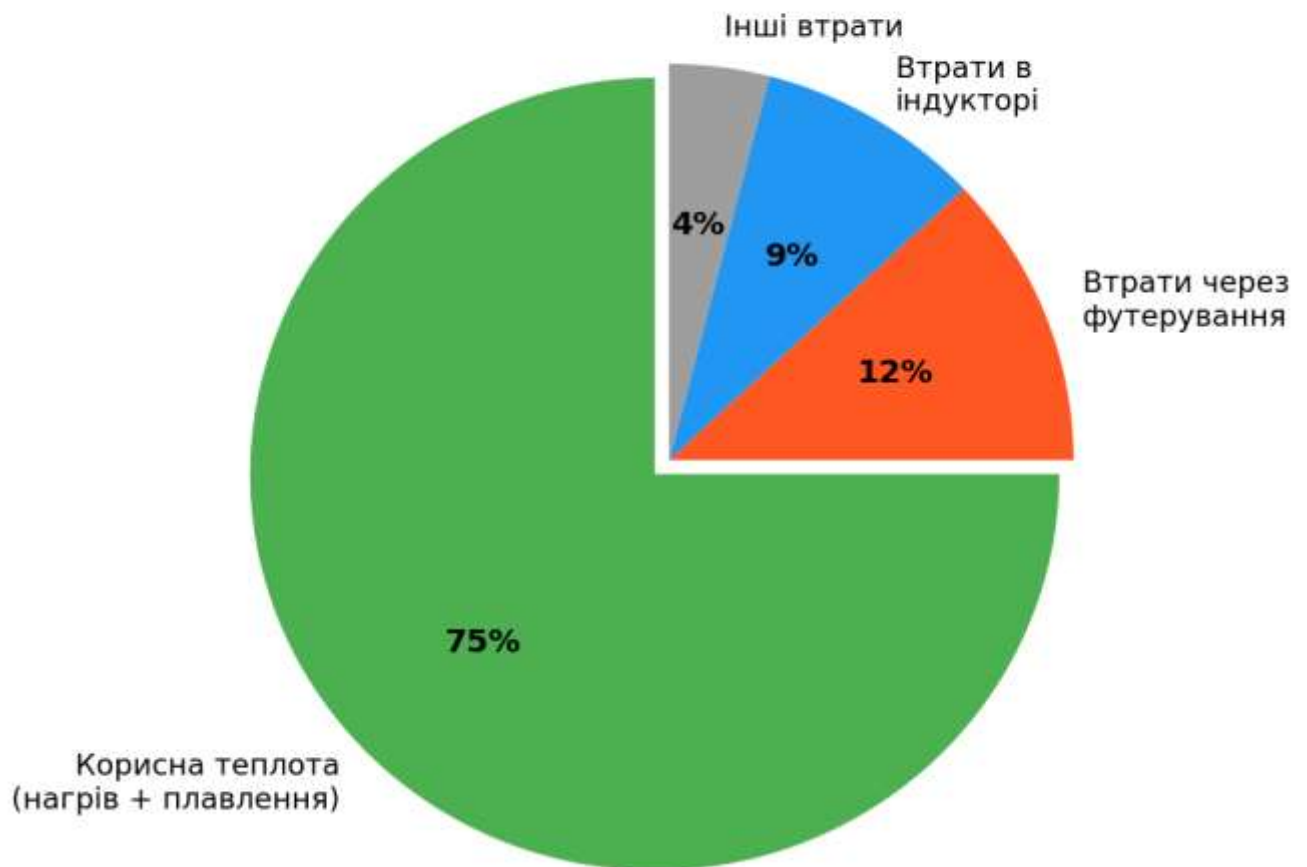


Рисунок 7.4.2 - Енергетичний баланс індукційної тигельної печі

### 7.5 Заходи з енергозбереження

На основі аналізу теплових та електричних втрат пропонується низка організаційних та технічних заходів для підвищення енергоефективності установки:

- Ретельне управління процесом експлуатації - регулярне обслуговування футерівки та електрообладнання, дотримання графіка планово-попереджувальних ремонтів (ППР).
- Підтримка високого коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi \rightarrow 1$ ) на всіх режимах роботи.
- Підтримка оптимального рівня розплавленого металу під час зливу «болота».

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 75   |

- Впровадження цілодобового режиму роботи замість одно- або двозмінного графіку - дозволяє рівномірно розподілити теплові навантаження.
- Мінімізація часу простою печей та зменшення кількості холодних пусків. Заміна застарілих печей на сучасні з вищим ККД та кращою тепловою ізоляцією.
- Використання новітніх теплостійких та екологічно безпечних матеріалів футерівки - знижує теплові втрати на 4–6%.
- Встановлення надійних середньочастотних конденсаторів - знижує електричні втрати в конденсаторній батареї на 7–10%.
- Застосування сучасних тиристорних перетворювачів частоти з автоматичним регулюванням - зменшує втрати у ДЖ на 3–5%. Оптимізація параметрів пічного контуру (індуктивність, ємність) - мінімізує втрати в контурі на 12–15%.
- Захист гідроциліндрів від металевих бризок для зменшення часу аварійних простоїв.
- Аналіз потреб виробництва для оптимізації встановленої потужності печей.

Підвищення енергоефективності індукційної тигельної печі досягається комплексом організаційних і технічних заходів. Найбільш ефективні заходи наведено у таблиці 7.5.

Впровадження перелічених заходів у комплексі дозволяє знизити питому витрату електроенергії на 20–35% та підвищити продуктивність печі на 10–15%. При питомій витраті  $w = 0,47$  кВт·год/кг та виробництві 600 кг/добу добова витрата складає 282 кВт·год. Після впровадження заходів очікувана витрата - 185–225 кВт·год/добу.

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 76   |

Таблиця 7.5 - Заходи з енергозбереження в ІТП

| № | Захід з енергозбереження                  | Ефект                           | Економія електроенергії |
|---|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1 | Оптимізація режиму плавки та перегріву    | Скорочення часу циклу на 5–10%  | 5–8%                    |
| 2 | Застосування сучасних IGBT-перетворювачів | Підвищення ККД інвертора до 97% | 3–5%                    |
| 3 | Попереднє підігрівання шихти (до 300°C)   | Зменшення часу плавлення        | 10–15%                  |
| 4 | Оптимізація конструкції індуктора         | Підвищення електричного ККД     | 2–4%                    |
| 5 | Теплова ізоляція кришки тигля             | Зниження теплових втрат         | 3–6%                    |
| 6 | Автоматизація управління процесом         | Виключення перегріву металу     | 2–5%                    |

## 7.6 Висновки

За результатами розрахунку індукційної тигельної печі для виплавки вуглецевої сталі ємністю 30 кг визначено: внутрішній діаметр тигля  $D_2 = 0,165$  м, висота розплаву  $H_2 = 0,20$  м, внутрішній діаметр індуктора  $D_1 = 0,235$  м, мінімальна частота живлення  $f_{\min} \approx 2531$  Гц, прийнята робоча частота  $f = 2400$  Гц. Розрахована потужність печі складає 21,4 кВт, питома витрата електроенергії - 0,47 кВт·год/кг, продуктивність - 37,5 кг/год. Обраний режим роботи забезпечує виконання добового завдання (300–600 кг) за 8–16 годин роботи. Впровадження комплексу заходів з енергозбереження (сучасні IGBT-перетворювачі, попередній підігрів шихти, автоматизоване управління) дозволяє знизити питому витрату електроенергії на 20–35% та підвищити загальну енергоефективність виробництва.

## Висновки

Спроектована система зовнішнього та внутрішнього електропостачання агромашинобудівного комплексу повністю задовольняє діючі нормативні вимоги щодо експлуатаційної ефективності, безперебійності живлення та загальної безпеки обслуговуючого персоналу.

Параметри розробленої електричної мережі гарантують надійне транспортування енергії необхідної якості до цехових споживачів. Результати проведеного техніко-економічного аналізу альтернативних варіантів підтверджують раціональність та фінансову обґрунтованість прийнятих інженерних рішень.

У межах опрацювання спеціального розділу, присвяченого енергозбереженню в термічних цехах, обґрунтовано доцільність впровадження індукційної тигельної печі марки ІТПЕ-0,03/0,05ТГ1. Для мінімізації технологічних втрат і підвищення енергоефективності процесу плавки вуглецевої сталі в тиглі місткістю 30 кг розраховано ключові параметри електротермічної установки:

геометричні розміри тигля: внутрішній діаметр  $D_2 = 0,165$  м, висота рідкого металу  $H_2 = 0,20$  м; геометричні розміри індуктора: внутрішній діаметр  $D_1 = 0,235$  м; частотні характеристики: критичний мінімум  $f_{\min} \approx 2531$  Гц, номінальна робоча частота  $f = 2400$  Гц. Розрахункова електрична потужність агрегату становить 21,4 кВт при годинній продуктивності 37,5 кг/год та питомому споживанні енергії на рівні 0,47 кВт·год/кг. Заданий графік експлуатації дозволяє виконувати добовий обсяг виробництва (в межах 300–600 кг) за 8–16 годин. Застосування сучасних IGBT-перетворювачів частоти, попереднього прогріву шихти та автоматизованої системи керування забезпечує зниження питомих витрат електричної енергії на 20–35%.

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
|     |      |          |         |      |  |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 78   |

## Перелік посилань

1. Навчальний посібник для виконання кваліфікаційного проекту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл.: П.Г.Плешков, В.В.Зінзура, Н.Ю.Гарасьова, А.І. Котиш. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021 -196 с.
2. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
3. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
4. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004.
5. Козирський В.В. Електропостачання промислового комплексу: підруч./Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М.- К.: Аграрна освіта, 2011. – 488с.
6. Коваленко О.І. Основи електропостачання сільського господарства : Навчальний посібник / О.І. Коваленко, Л.Р. Коваленко, В.О. Мунтян, І.П. Радько. – Мелітополь : ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011. – 462с.
7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015.-316 с.
8. Методичні вказівки “Енергозберігаючі режими електропостачання” для студентів спеціальності 8.090603 усіх форм навчання. Частина 2. / Укладачі: Ю.І. Казанцев, П.Г. Плешков. Кіровоград, КДТУ, 2003. 122 с.

|     |      |          |         |      |  |      |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
|     |      |          |         |      |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата |  | 79   |