

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет архітектури, будівництва та енергетики**

(повне найменування факультету)

**Кафедра електричної інженерії**

(повне найменування кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

### ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

#### «Електропостачання крохмального заводу встановленою потужністю 950 кВт»

|                  |                                                                                          |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| спеціальність    | 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка<br>(шифр і назва спеціальності) |
| освітня програма | «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»<br>(назва освітньої програми)     |

Виконав здобувач вищої освіти  
групи ЕЕ-42

Бортнюк Михайло Сергійович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент  
Грицюк Ірина Василівна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційний проект  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
Гарант освітньої програми:  
к.т.н., доцент  
Волинець Владислав Ігорович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2026 року

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

|                      |                                                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------|
| Факультет            | архітектури, будівництва та енергетики                   |
| Кафедра              | електричної інженерії                                    |
| Ступінь вищої освіти | бакалавр                                                 |
| Галузь знань         | 14 Електрична інженерія                                  |
| Спеціальність:       | 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка |
| Освітня програма     | Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка     |

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Бортнюку Михайлу Сергійовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема кваліфікаційного проекту:** Електропостачання крохмального заводу  
встановленою потужністю 950 кВт

**Керівник проекту:** канд. техн. наук, доцент Грицюк Ірина Василівна  
затверджені наказом ВНЗ від « 31 » грудня 2025 р. № 971/01-07

**2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційного проекту** 15 травня 2026 р.

**3. Вихідні дані до проекту** Генеральний план підприємства, план  
розташування обладнання, відомості про електроприймачі підприємства  
(номінальні параметри, режими роботи, категорія по надійності  
електропостачання), класи пожежонебезпечних і вибухонебезпечних зон об'єктів,  
умови компенсації реактивної потужності, час споживання максимальної  
потужності, інформація про джерело живлення.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):**

1. Коротка характеристика об'єкту проектування.

2. Основні проектні рішення.

3. Вибір положення ПБЗ трансформаторів.

4. САПР.

5. Електробезпека.

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

1. Генеральний план підприємства.
2. Однолінійна схема електропостачання.
3. План розміщення обладнання.
4. План і розріз трансформаторної підстанції.

**6. Консультанти розділів роботи**

| Розділ                                         | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис         |                  |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                                                |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1. Коротка характеристика об'єкту проектування | Грицюк І.В.                               |                |                  |
| 2. Основні проектні рішення                    | Грицюк І.В.                               |                |                  |
| 3. Вибір положення ПБЗ трансформаторів         | Грицюк І.В.                               |                |                  |
| 4. САПР                                        | Грицюк І.В.                               |                |                  |
| 5. Електробезпека                              | Грицюк І.В.                               |                |                  |

7. Дата видачі завдання 3 січня 2026 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційного проекту бакалавра | Строк виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Коротка характеристика об'єкту проектування     | 03.02.2026                     |          |
| 2     | Основні проектні рішення                        | 03.03.2026                     |          |
| 3     | Вибір положення ПБЗ трансформаторів             | 17.03.2026                     |          |
| 4     | САПР                                            | 24.03.2026                     |          |
| 5     | Електробезпека                                  | 07.04.2026                     |          |
| 6     | Оформлення пояснювальної записки                | 21.04.2026                     |          |
| 7     | Оформлення графічного матеріалу                 | 10.05.2026                     |          |
| 8     | Перевірка на плагіат кваліфікаційного проекту   | 15.05.2026                     |          |

**8. Затвердження відповідності графічного матеріалу вимогам нормативних документів**

| № з/п | Назва креслення                           | Підпис | Дата |
|-------|-------------------------------------------|--------|------|
| 1     | Генеральний план підприємства             |        |      |
| 2     | Однолінійна схема електропостачання       |        |      |
| 3     | План розміщення електрообладнання         |        |      |
| 4     | План і розріз трансформаторної підстанції |        |      |

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ ( Бортнюк М.С. )  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник  
кваліфікаційного проекту

\_\_\_\_\_ ( Грицюк І.В. )  
(підпис) (прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Бортнюк М.С. Електропостачання крохмального заводу встановленою потужністю 950 кВт. Рукопис.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з п'яти розділів, списку використаних джерел, додатків.

У проєкті розроблено (запропоновано) систему електропостачання промислового підприємства. Проєктування виконане на основі електротехнічних розрахунків: розрахунку силових електричних навантажень з використанням методу впорядкованих діаграм на основі ієрархічного підходу; розрахунку освітлювальних навантажень на основі методу питомої густини освітлювального навантаження; розрахунку техніко-економічних показників прийнятих проєктних рішень на основі методу приведених затрат.

У результаті розрахунків отримали систему електропостачання даного підприємства з високими показниками економічної обґрунтованості.

Прийняті проєктні рішення дозволяють перейти до їх практичної реалізації й впровадження спроектованої системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання (СЕП), лінія електропередач, електроприймачі, електричні навантаження, струми короткого замикання, компенсація реактивної потужності, електрична апаратура, електробезпека.

## ANNOTATION

M. Bortniuk. Power supply of the starch plant with an installed capacity of 950 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of OP "Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of five sections, a list of used sources, and appendices.

The project developed (proposed) the power supply system of an industrial enterprise. The design is made on the basis of electrical engineering calculations: calculation of power electrical loads using the method of ordered diagrams based on a hierarchical approach; calculation of lighting loads based on the method of specific density of lighting load; calculation of technical and economic indicators of adopted project decisions based on the method of reduced costs.

As a result of the calculations, we received the electricity supply system of this enterprise with high indicators of economic validity.

Adopted design decisions allow to proceed to their practical implementation and implementation of the designed power supply system.

Key words: power supply system (SEP), power line, power receivers, electrical loads, short-circuit currents, reactive power compensation, electrical equipment, electrical safety.

# ЗМІСТ

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                    | 8  |
| РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ                                                          | 9  |
| РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....                                                                        | 11 |
| 2.1. Розрахунок силових електричних навантажень.....                                                          | 11 |
| 2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....                                                               | 12 |
| 2.3. Визначення результуючих навантажень.....                                                                 | 13 |
| 2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного<br>центру навантажень.....                    | 14 |
| 2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням<br>компенсації реактивної потужності..... | 15 |
| 2.6. Компенсація реактивної потужності.....                                                                   | 16 |
| 2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях.....                                                  | 17 |
| 2.8. Проектування мережі живлення підприємства.....                                                           | 18 |
| 2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....                                                        | 19 |
| 2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....                                                             | 20 |
| 2.11. Вибір обладнання.....                                                                                   | 22 |
| 2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....                                                         | 22 |
| 2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....                                                                              | 22 |
| 2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....                                                     | 23 |
| 2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....                                                              | 24 |
| 2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....                                                                    | 24 |
| 2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....                                           | 25 |
| 2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....                                                                     | 28 |

|           |      |               |        |      |                                                                                                       |      |         |
|-----------|------|---------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|           |      |               |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ                                                                                    |      |         |
|           |      |               |        |      |                                                                                                       |      |         |
| Зм.       | Арк. | № докум.      | Підпис | Дата | Електропостачання крохмального<br>заводу встановленою потужністю<br>950 кВт.<br>Пояснювальна записка. |      |         |
| Розроб.   |      | Бортнюк М.С.  |        |      |                                                                                                       |      |         |
| Перевір.  |      | Грицюк І.В.   |        |      |                                                                                                       |      |         |
|           |      |               |        |      |                                                                                                       |      |         |
| Н. контр. |      | Ващелюк Ю.І.  |        |      |                                                                                                       |      |         |
| Затверд.  |      | Волинець В.І. |        |      | ФАБЕ, гр.ЕЕ-42                                                                                        |      |         |
|           |      |               |        |      | Літ.                                                                                                  | Арк. | Аркушів |
|           |      |               |        |      |                                                                                                       | 6    | 61      |

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....           | 29 |
| 2.12.5. Вибір рубильників.....                      | 30 |
| РОЗДІЛ 3 ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....   | 31 |
| РОЗДІЛ 4 САПР.....                                  | 32 |
| РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА .....                       | 33 |
| ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....                         | 34 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....                       | 35 |
| ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....             | 38 |
| ДОДАТОК 2 ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ ..... | 59 |
| ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....                       | 60 |

## ВСТУП

Електричні мережі є складовою інженерних мереж будь-якого промислового підприємства. До складу електричних мереж проєктованого крохмального заводу входять розподільні мережі напругою 10 та 0,4 кВ.

При проєктуванні електричної мережі будь-якого класу напруги потрібно дотримуватись вимог, наведених в нормативних документах [1].

В мережах високої напруги (10 кВ) пріоритетом є безперебійність електропостачання споживачів. Відповідно нейтраль таких мереж рекомендовано виконувати ізольованою.

Крім того, надійність електропостачання забезпечується взаємним резервуванням джерел живлення, автоматичним або ручним залежно від категорії надійності.

В мережах низької напруги (0,4 кВ) пріоритетом є безпека експлуатації, тому їх нейтраль рекомендовано виконувати глухозаземленою

Для надійного та безпечного функціонування мереж вони повинні мати нормальне завантаження. Тому при виборі силових трансформаторів приймають їх максимальне завантаження в нормальному режимі роботи – 70%. При виборі перерізів кабельних ліній їх навантаження визначають з врахуванням температури оточуючого середовища, відмінної від розрахункової, кількості прокладених кабелів, допустимого перевантаження та попереднього завантаження.

Для отримання найменших експлуатаційних витрат в процесі експлуатації кабельних ліній перерізи кабелів обирають за економічною густиною струму, а потужність трансформаторів на основі техніко-економічного порівняння.

Для забезпечення якості електричної енергії також доцільно застосовувати компенсацію реактивної потужності та спеціальні засоби регулювання напруги.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 8    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## РОЗДІЛ 1

### КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Сферою діяльності проєктованого заводу є виробництво бакалійних продуктів харчування, до яких належать крохмаль картопляний та кукурудзяний, олія, глютен, тощо. Продуктивність заводу становить до 70 т крохмалю за добу.

Низьковольтну мережу заводу проєктуватимемо на прикладі цеху картопляного крохмалю. Основні етапи виробництва наведені на рисунку 1.1, структуру заводу – на рисунку 1.2.

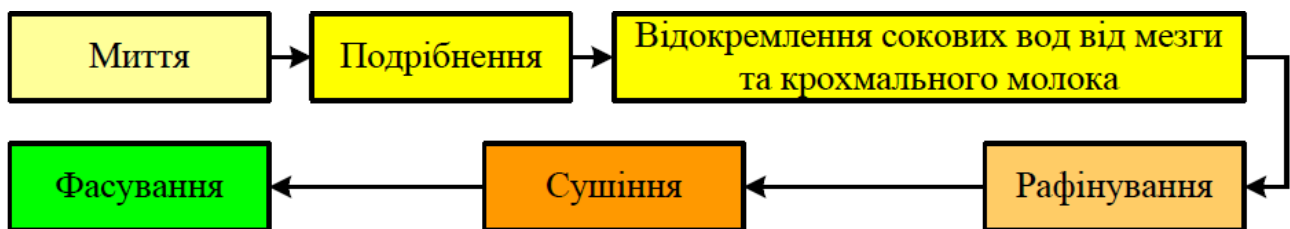


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва крохмалю

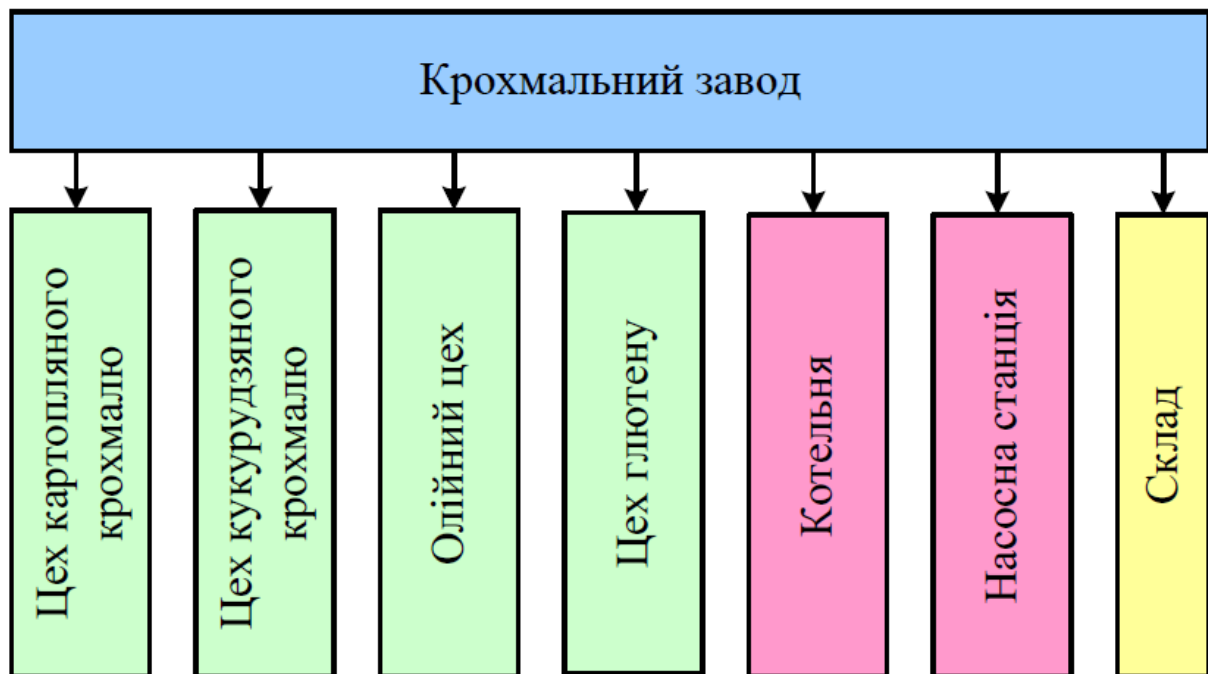


Рисунок 1.2 – Структура крохмального заводу

|           |      |               |        |      |                                                                                                 |                |      |
|-----------|------|---------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------|
|           |      |               |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ                                                                              |                |      |
| Зм.       | Арк. | № докум.      | Підпис | Дата |                                                                                                 |                |      |
| Розроб.   |      | Бортнюк М.С.  |        |      | Електропостачання крохмального заводу встановленою потужністю 950 кВт.<br>Пояснювальна записка. | Літ.           | Арк. |
| Перевір.  |      | Грицюк І.В.   |        |      |                                                                                                 |                | 9    |
|           |      |               |        |      |                                                                                                 |                | 2    |
| Н. контр. |      | Вашчелюк Ю.І. |        |      |                                                                                                 | ФАБЕ, гр.ЕЕ-42 |      |
| Затверд.  |      | Волинець В.І. |        |      |                                                                                                 |                |      |

На рисунку 1.2 зеленим кольором позначено основні виробничі цехи, рожевим – допоміжні будівлі II категорії надійності електропостачання, жовтим – допоміжні будівлі III категорії. Електричне обладнання виробничих цехів належить до II категорії надійності, окрім пристроїв пожежної сигналізації та евакуаційного освітлення (I категорія).

Для цехів задано розміри, встановлену потужність та склад електроприймачів (табл.1.1, 2.1).

Таблиця 1.1 – Характеристики цехів заводу

| Назва об'єкту                 | Розміри будівлі |           |                               | Встановлена потужність, кВт |
|-------------------------------|-----------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|
|                               | Довжина, м      | Ширина, м | Площа будівлі, м <sup>2</sup> |                             |
| 1. Цех картопляного крохмалю  | 30              | 84        | 2520                          | 200                         |
| 2. Цех кукурудзяного крохмалю | 36              | 84        | 3024                          | 185                         |
| 3. Олійний цех                | 36              | 84        | 3024                          | 150                         |
| 4. Цех гліюлену               | 42              | 60        | 2520                          | 125                         |
| 5. Котельня                   | 30              | 36        | 1080                          | 160                         |
| 6. Насосна станція            | 18              | 18        | 324                           | 80                          |
| 7. Склад                      | 60              | 24        | 1440                          | 50                          |
| Всього                        |                 |           | 13932                         | 950                         |

Характеристики заводу в цілому наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

| Назва параметру                                                   | Одиниці вимірювання | Значення |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
| Кількість змін                                                    | –                   | 2        |
| Тривалість роботи електрообладнання в рік $\tau$                  | год.                | 4250     |
| Час використання максимального навантаження $T_{max}$             | год.                | 2300     |
| Джерело живлення                                                  | –                   | РП-10 кВ |
| Відстань до джерела $l$                                           | км                  | 3,2      |
| Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення $S_{K3}$ | МВА                 | 58       |
| Вхідна реактивна потужність $Q_{e max}$                           | кВАр                | 183      |
| Загальна територія підприємства                                   | м <sup>2</sup>      | 30060    |
| Категорія надійності споживачів:                                  |                     |          |
| I (пристрої пожежної сигналізації, евакуаційне освітлення)        | %                   | 0,03     |
| II (приймачі основних виробничих цехів)                           | %                   | 61       |
| III (приймачі складу, приймачі, що виконують допоміжні функції)   | %                   | 38,97    |

## ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

Розрахунки у розділі 2 виконуємо відповідно до методик, наведених в [1, 2, 5, 10, 11] та описаних в додатку [Д.1].

## 2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Силові електричні навантаження розраховуємо згідно з ієрархічним підходом, починаючи з другого рівня системи електропостачання – групи приймачів, заживлені від окремих силових щитів. Для розрахунку застосовуємо метод впорядкованих діаграм [1, 2].

До складу цеху картопляного крохмалю входять дві ділянки – виробнича та пакувальна. Для кожної з ділянок приймаємо один силовий розподільний щит (відповідно РП1.1 та РП1.2). Розрахунки виконуємо для виробничої ділянки.

Таблиця 2.1 – Розрахунок силових навантажень РП1.1

| Назва електроприймача                | P <sub>н</sub> , кВт                               | n  | P <sub>н</sub> , кВт | К <sub>в</sub> ик | t <sub>г</sub> о | m   | n <sub>с</sub> д | K <sub>м</sub> ах | Розрахункові навантаження |                          |                      |                       |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------|----|----------------------|-------------------|------------------|-----|------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|
|                                      |                                                    |    |                      |                   |                  |     |                  |                   | P <sub>ср</sub> зм, кВт   | Q <sub>ср</sub> зм, квар | P <sub>р</sub> , кВт | Q <sub>р</sub> , квар |
|                                      | <b>РП1.1</b>                                       |    |                      |                   |                  |     |                  |                   |                           |                          |                      |                       |
|                                      | <i>Приймачі із змінним графіком навантаження</i>   |    |                      |                   |                  |     |                  |                   |                           |                          |                      |                       |
| Капноплемийка                        | 4                                                  | 4  | 16                   | 0,38              | 1,01             | 5,5 | 11               | 1,35              | 6,08                      | 6,14                     | 40,51                | 30,92                 |
| Капноплетертка                       | 5,5                                                | 4  | 22                   | 0,39              | 1,02             |     |                  |                   | 8,58                      | 8,75                     |                      |                       |
| Сито відцентрове лопатеве            | 7,5                                                | 4  | 30                   | 0,41              | 1,02             |     |                  |                   | 12,30                     | 12,55                    |                      |                       |
| Центрифуга засаджувальна             | 6                                                  | 2  | 12                   | 0,15              | 1,17             |     |                  |                   | 1,80                      | 2,11                     |                      |                       |
| Машина подрібнювальна для напівкашки | 5                                                  | 1  | 5                    | 0,25              | 1,1              |     |                  |                   | 1,25                      | 1,38                     |                      |                       |
| Сепаратор                            | 6                                                  | 2  | 12                   | 0,5               | 1,02             |     |                  |                   | 6,00                      | 6,12                     |                      |                       |
| Конвеєр стрічковий                   | 22                                                 | 1  | 22                   | 0,58              | 0,59             |     |                  |                   | 12,76                     | 7,53                     |                      |                       |
|                                      | <i>Приймачі із постійним графіком навантаження</i> |    |                      |                   |                  |     |                  |                   |                           |                          |                      |                       |
| Шафа витяжна                         | 3                                                  | 2  | 6                    | 0,65              | 0,75             |     |                  |                   | 3,90                      | 2,93                     | 3,90                 | 2,93                  |
| Всього РП1.1                         |                                                    | 20 | 125                  |                   |                  |     |                  |                   | 52,67                     | 47,49                    | 44,41                | 33,84                 |

|           |      |               |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      |         |    |  |
|-----------|------|---------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|----------------|------|---------|----|--|
|           |      |               |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ                                                                              |  |  |                |      |         |    |  |
| Зм.       | Арк. | № докум.      | Підпис | Дата | Електропостачання крохмального заводу встановленою потужністю 950 кВт.<br>Пояснювальна записка. |  |  | Літ.           | Арк. | Аркушів |    |  |
| Розроб.   |      | Бортнюк М.С.  |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      | 11      | 20 |  |
| Перевір.  |      | Грицюк І.В.   |        |      |                                                                                                 |  |  | ФАБЕ, гр.ЕЕ–42 |      |         |    |  |
|           |      |               |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      |         |    |  |
| Н. контр. |      | Ващелюк Ю.І.  |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      |         |    |  |
| Затверд.  |      | Волинець В.І. |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      |         |    |  |

Таблиця 2.2 – Розрахунок навантажень силових приймачів підприємства

| Номер цеху | $P_H$ , кВт | Середні навантаження за найбільш завантажену зміну |                    |                   | Розрахункові навантаження |              |             |
|------------|-------------|----------------------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------|
|            |             | $P_{ср.зм}$ , кВт                                  | $Q_{ср.зм}$ , кВАр | $S_{ср.зм}$ , кВА | $P_p$ , кВт               | $Q_p$ , кВАр | $S_p$ , кВА |
| 1          | 200         | 88,67                                              | 83,13              | 121,55            | 87,61                     | 73,05        | 114,07      |
| РП1.1      | 125         | 52,67                                              | 47,49              | 70,92             | 44,41                     | 33,84        | 55,84       |
| РП1.2      | 75          | 36,00                                              | 35,64              | 50,66             | 43,20                     | 39,20        | 58,34       |
| 2          | 185         | 88,80                                              | 97,68              | 132,01            | 133,20                    | 107,45       | 171,14      |
| 3          | 150         | 69,00                                              | 82,80              | 107,78            | 96,60                     | 91,08        | 132,77      |
| 4          | 125         | 56,25                                              | 67,50              | 87,87             | 78,75                     | 74,25        | 108,23      |
| 5          | 160         | 112,00                                             | 84,00              | 140,00            | 162,40                    | 92,40        | 186,85      |
| 6          | 80          | 60,00                                              | 48,00              | 76,84             | 138,00                    | 52,80        | 147,76      |
| 7          | 50          | 15,00                                              | 15,30              | 21,43             | 28,50                     | 16,83        | 33,10       |
| Всього     | 950         | 489,72                                             | 478,41             | 687,47            | 725,06                    | 507,86       | 893,91      |

## 2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Освітлення виробничих цехів, для яких нормативна освітленість становить 300 лк, виконуємо за допомогою промислових LED світильників Biom, вибраних з [3]; освітлення допоміжних будівель (нормативна освітленість 75 лк) – за допомогою світильників MAXUS [3].

Живлення світильників виконане від щитів освітлення, встановлених у відповідному цеху / будівлі.

Освітлювальні навантаження, створювані вибраними світильниками, розраховуємо за методом питомої потужності (табл.2.4).

Таблиця 2.3 – Вибір джерел світла

| Номер цеху | Розряд зорової роботи | $E_{норм}$ , лк | Тип світильника               | F, лм | P, кВт |
|------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|-------|--------|
| 1          | Va                    | 300             | Biom 100W 7500Lm              | 7500  | 100    |
| 2          | Va                    | 300             | Biom 100W 7500Lm              | 7500  | 100    |
| 3          | Va                    | 300             | Biom 100W 7500Lm              | 7500  | 100    |
| 4          | Va                    | 300             | Biom 100W 7500Lm              | 7500  | 100    |
| 5          | VIII6                 | 75              | MAXUS LED TROFFER 40W 4000 Lm | 4000  | 40     |
| 6          | VIII6                 | 75              | MAXUS LED TROFFER 40W 4000 Lm | 4000  | 40     |
| 7          | VIII6                 | 75              | MAXUS LED TROFFER 40W 4000 Lm | 4000  | 40     |

Таблиця 2.4 – Розрахунок освітлювального навантаження підприємства

| Номер цеху | F, м <sup>2</sup> | h, м | P <sub>пит</sub> , $\frac{Вт}{м^2}$ | P <sub>о</sub> , кВт | K <sub>пра</sub> | K <sub>п</sub> | tgφ  | P <sub>р.о</sub> , кВт | Q <sub>р.о</sub> , квар |
|------------|-------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------------------|----------------|------|------------------------|-------------------------|
| 1          | 2520              | 8    | 4,36                                | 10,99                | 1,2              | 0,9            | 0,33 | 11,87                  | 3,92                    |
| 2          | 3024              | 8    | 4,36                                | 13,18                | 1,2              | 0,9            | 0,33 | 14,24                  | 4,70                    |
| 3          | 3024              | 8    | 4,36                                | 13,18                | 1,2              | 0,9            | 0,33 | 14,24                  | 4,70                    |
| 4          | 2520              | 8    | 4,36                                | 10,99                | 1,2              | 0,9            | 0,33 | 11,87                  | 3,92                    |
| 5          | 1080              | 5    | 4,05                                | 4,37                 | 1,2              | 0,9            | 0,33 | 4,72                   | 1,56                    |
| 6          | 324               | 5    | 4,05                                | 1,31                 | 1,2              | 0,9            | 0,33 | 1,42                   | 0,47                    |
| 7          | 1440              | 5    | 4,05                                | 5,83                 | 1,2              | 0,9            | 0,33 | 6,30                   | 2,08                    |
| Всього     | 13932             |      |                                     | 59,86                |                  |                |      | 64,65                  | 21,33                   |

Для вуличного освітлення приймаємо з [4] джерела світла Horoz Electric 074-005-0050-010 Orlando-50, 50 Вт, 4953 лм:

$$\sum \varepsilon = \frac{10^3 \cdot 2,8 \cdot 0,81 \cdot 11,5}{4953} = 5,27 \text{ лк};$$

$$\frac{L}{h} = 9; L = 9 \cdot 11,5 = 103,5 \text{ м};$$

$$L_{\Sigma} = 2784 \text{ м}; N = \frac{2784}{103,5} = 26,9 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 27;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 27 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 1,35 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1,35 = 1,46 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{розр.зовн}} = 1,46 \cdot 0,33 = 0,48 \text{ кВАр}.$$

### 2.3. Визначення результуючих навантажень

Третьому рівню системи електропостачання відповідають групові електричні навантаження на шинах низької напруги трансформаторної підстанції (табл.2.5). Враховуємо силові та освітлювальні навантаження.

За значеннями сумарних середніх навантажень вибиратимемо силові трансформатори, за значеннями розрахункових – кабельні лінії 0,4 кВ, розподільні щити, комутаційно-захисну апаратуру.

Таблиця 2.5 – Розрахунок результуючих навантажень

| Номер<br>цеху           | $P_{вст\Sigma}$ ,<br>кВт | $P_{ср.зм\Sigma}$ ,<br>кВт | $Q_{ср.зм\Sigma}$ ,<br>квар | $S_{ср.зм\Sigma}$ ,<br>кВА | $P_{p\Sigma}$ ,<br>кВт | $Q_{p\Sigma}$ ,<br>квар | $S_{p\Sigma}$ ,<br>кВА |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1                       | 210,99                   | 100,54                     | 87,05                       | 132,98                     | 99,48                  | 76,96                   | 125,78                 |
| РП1.1                   | 125,00                   | 52,67                      | 47,49                       | 70,92                      | 44,41                  | 33,84                   | 55,84                  |
| РП1.2                   | 85,99                    | 47,87                      | 39,56                       | 62,10                      | 55,07                  | 43,12                   | 69,94                  |
| 2                       | 198,18                   | 103,04                     | 102,38                      | 145,25                     | 147,44                 | 112,15                  | 185,24                 |
| 3                       | 163,18                   | 83,24                      | 87,50                       | 120,77                     | 110,84                 | 95,78                   | 146,49                 |
| 4                       | 135,99                   | 68,12                      | 71,42                       | 98,69                      | 90,62                  | 78,17                   | 119,67                 |
| 5                       | 164,37                   | 116,72                     | 85,56                       | 144,72                     | 167,12                 | 93,96                   | 191,73                 |
| 6                       | 81,31                    | 61,42                      | 48,47                       | 78,24                      | 139,42                 | 53,27                   | 149,25                 |
| 7                       | 55,83                    | 21,30                      | 17,38                       | 27,49                      | 34,80                  | 18,91                   | 39,60                  |
| Освітлення<br>території | 1,35                     | 1,46                       | 0,48                        | 1,54                       | 1,46                   | 0,48                    | 1,54                   |
| Всього                  | 1011,21                  | 555,83                     | 500,23                      | 749,68                     | 791,17                 | 529,67                  | 959,29                 |

#### 2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

На кресленні 1 графічної частини проєкту зображено генеральний план підприємства (мірило зменшення 1:400). Для ілюстрації результатів розрахунків, виконаних в п.2.3, на генеральний план нанесено картограму електричних навантажень.

Трансформаторну підстанцію заводу доцільно розміщувати безпосередньо або якомога ближче до центру електричних навантажень. Таким чином забезпечуються мінімально можливі довжини кабельних ліній внутрішньозаводського електропостачання, а отже, мінімальні витрати на спорудження цих ліній та мінімальні втрати електричної енергії.

Параметри картограми навантажень та координати центру навантажень розраховані в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Визначення центру електричних навантажень

| № цеху       | х, м | у, м | $P_{\Sigma} \cdot x$ | $P_{\Sigma} \cdot y$ | $Q_{\Sigma} \cdot x$ | $Q_{\Sigma} \cdot y$ | г  | $\alpha$ |
|--------------|------|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----|----------|
| 1            | 195  | 78   | 19399                | 7759                 | 15008                | 6003                 | 28 | 43       |
| 2            | 144  | 54   | 21231                | 7962                 | 16149                | 6056                 | 34 | 35       |
| 3            | 90   | 54   | 9976                 | 5985                 | 8620                 | 5172                 | 31 | 46       |
| 4            | 33   | 42   | 2990                 | 3806                 | 2579                 | 3283                 | 28 | 47       |
| 5            | 39   | 150  | 6518                 | 25069                | 3664                 | 14094                | 35 | 10       |
| 6            | 141  | 132  | 19658                | 18403                | 7511                 | 7031                 | 31 | 4        |
| 7            | 84   | 156  | 2923                 | 5429                 | 1588                 | 2950                 | 16 | 65       |
| Всього       |      |      | 82694                | 74413                | 55120                | 44589                |    |          |
| $X_{\Sigma}$ | 104  |      |                      |                      |                      |                      |    |          |
| $Y_{\Sigma}$ | 89   |      |                      |                      |                      |                      |    |          |

## 2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності

Для перетворення напруги з 10 на 0,4 кВ застосовуємо трансформаторну підстанцію. Переважна більшість електроприймачів заводу належить II категорії надійності електропостачання, що вимагає двох незалежних джерел живлення з можливістю ввімкнення резерву вручну. Тому кількість трансформаторів – 2. Між трансформаторами передбачаємо секційну перемичку на рівні напруги 0,4 кВ для можливості їх взаємного резервування.

Для забезпечення допустимого післяаварійного перевантаження трансформаторів їх потужність підбираємо таким чином, щоб в нормальному режимі вони були завантажені не більше, ніж на 70%.

Трансформатори марки ТМ – 10 / 0,4 обираємо з [4] (табл.2.7). Оцінюємо їх завантаження реактивною потужністю та, за потреби, обираємо з [5] низьковольтні конденсаторні батареї (НБК) марки ККУ-0,4 (табл.2.8).

Розглядаємо два можливих варіанти встановлення трансформаторів та конденсаторних батарей та обираємо з них варіант з меншими приведеними затратами (табл.2.9).

Таблиця 2.7 – Вибір трансформаторів

| Варіант встановлення | $\sigma, \frac{\text{кВА}}{\text{М}^2}$ | $S_T, \text{кВА}$ | N    | $N_{\min}$ | m | $N_{\text{опт}}$ | $Q_{\max T}, \text{кВАр}$ |
|----------------------|-----------------------------------------|-------------------|------|------------|---|------------------|---------------------------|
| I                    | 0,05                                    | 400               | 1,99 | 2          | 0 | 2                | 68,22                     |
| II                   |                                         | 630               | 1,26 | 2          | 0 | 2                | 684,82                    |

Таблиця 2.7 – Вибір низьковольтних батарей конденсаторів

| Варіант встановлення | $Q_{\text{НБК1}}, \text{кВАр}$ | $k_{p1}$ | $k_{p2}$ | $\gamma$ | $Q_{\text{НБК2}}, \text{кВАр}$ | $Q_{\text{НБК}}, \text{кВАр}$ | Потужність НБК |
|----------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|
| I                    | 432,01                         | 12       | 17       | 0,35     | 0                              | 432,01                        | 200            |
| II                   | 0                              | 12       | 27       | 0,3      | 122,229                        | 122,23                        | 70             |

Таблиця 2.9 – Техніко-економічне порівняння можливих варіантів встановлення

| Варіант встановлення | $\Delta P_x, \text{кВт}$ | $\Delta P_k, \text{кВт}$ | $\tau, \text{год}$ | $W, \text{тис.кВт} \cdot \text{год}$ | $C_e, \text{тис.грн}$ | $K, \text{тис.грн}$ | $Z, \text{тис.грн}$ |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| I                    | 0,95                     | 5,6                      | 1098               | 9,58114                              | 72,3376               | 787,44              | 170,77              |
| II                   | 1,18                     | 8,5                      | 1098               | 12,3161                              | 92,987                | 887,36              | 203,91              |

Вибираємо  $2 \times \text{ТМ} - 400 / 10; 2 \times \text{ККУ} - 0,4 - 200 - 10 - 21\text{У3}$ .

$$1,4 \cdot 400 = 560 \text{кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,3897) \cdot 749,68}{2} = 457,53 \text{кВА}.$$

Тобто післяаварійне перевантаження трансформаторів – в допустимих межах.

## 2.6. Компенсація реактивної потужності

Застосування компенсації реактивної потужності забезпечує розвантаження мереж заводу, покращення якості електроенергії, можливість регулювання напруги.

При проектуванні компенсації, окрім пропускної здатності трансформаторів за реактивною потужністю, слід враховувати задане постачальником значення вхідної реактивної потужності. Якщо потужності

вибраних в п.2.5 батарей виявиться недостатньо, її потрібно буде збільшити (табл.2.10).

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності в мережі 10 кВ

| Показник                 | Од.вимір. | Значення |
|--------------------------|-----------|----------|
| $Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$ | кВАр      | 500,23   |
| $Q_{\text{еmax}}$        | кВАр      | 183      |
| $Q_{\text{НБК ф}}$       | кВАр      | 400      |
| $\Delta Q_{\text{Т}}$    | кВАр      | 20       |
| $K_{\text{НС}}$          | –         | 0,90     |
| $Q_{\text{М1}}$          | кВАр      | 450,21   |
| $Q_{\text{К1}}$          | кВАр      | 266,78   |
| $Q_{\text{НС Т}}$        | кВАр      | 140,23   |
| $Q_{\text{ВБК}}$         | кВАр      | -93,22   |

Значення  $Q_{\text{ВБК}}$  менше 0, тому остаточно приймаємо вибрані в п.2.5 НБК.

## 2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Четвертий рівень системи електропостачання відповідає рівню 10 кВ трансформаторної підстанції. За значеннями навантажень, розрахованими на цьому рівні, обиратимемо лінії зовнішнього живлення та висковольтні комутаційно-захисні апарати (табл.2.11).

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

| Розрахункове навантаження | Одиниці вимірювання | Значення |
|---------------------------|---------------------|----------|
| 1                         | 2                   | 3        |
| $P_{\text{р3}}$           | кВт                 | 555,83   |
| $Q_{\text{р2}}$           | кВАр                | 500,23   |
| $Q_{\text{НБК}}$          | кВАр                | 400      |
| $P_{\text{р3}}$           | кВт                 | 555,83   |
| $Q_{\text{р3}}$           | кВАр                | 100,23   |

Продовження таблиці 2.11

| 1            | 2    | 3      |
|--------------|------|--------|
| $S_{p3}$     | кВА  | 564,79 |
| $\Delta P_T$ | кВт  | 11,30  |
| $\Delta Q_T$ | кВАр | 56,48  |
| $P_{p4}$     | кВт  | 567,12 |
| $Q_{p4}$     | кВАр | 156,71 |
| $S_{p4}$     | кВА  | 588,38 |

## 2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Для живлення трансформаторної підстанції обираємо з [7] кабелі АПвЕгП – 10. Кількість паралельних кабелів – 2. Для можливості виведення в ремонт одного з кабелів трансформаторну підстанцію оснащено ремонтною перемичкою з роз'єднувачами на рівні напруги 10 кВ.

Для вибору перерізів висковольтних кабелів застосовуємо метод економічної густини струму [6]. Розглядаємо чотири варіанти виконання та обираємо варіант з найменшими приведеними затратами.

$$I_{\text{норм}} = \frac{588,38}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 16,98 \text{ А}; I_{\text{П АВ}} = \frac{588,38}{\sqrt{3} \cdot 10} = 33,97 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{33,97}{1,9} = 17,88 \text{ мм}^2; \text{розглядаємо перерізи від } 35 \text{ мм}^2 \text{ включно.}$$

Таблиця 2.12 – Вибір кабельних ліній високої напруги

| $F$ ,<br>мм <sup>2</sup> | $I_{\text{доп}}$ ,<br>А | $I'_{\text{доп}}$ ,<br>А | $r_0$ ,<br>$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ | $x_0$ ,<br>$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ | $\Delta U_{\text{норм}}$ ,<br>В | $\Delta U_{\text{норм}}$ ,<br>% | $\Delta U_{\text{П АВ}}$ ,<br>% |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 35                       | 143                     | 147,29                   | 0,641                                    | 0,09                                     | 53,36                           | 0,53                            | 1,07                            |
| 50                       | 169                     | 174,1                    | 0,58                                     | 0,086                                    | 48,54                           | 0,49                            | 0,97                            |
| 70                       | 211                     | 217,3                    | 0,45                                     | 0,084                                    | 38,64                           | 0,39                            | 0,77                            |
| 95                       | 260                     | 267,8                    | 0,31                                     | 0,083                                    | 28,04                           | 0,28                            | 0,56                            |

Таблиця 2.13 – Техніко-економічне порівняння кабелів різного перерізу

| F,<br>мм <sup>2</sup> | K <sub>зл</sub> | $\Delta P_H$ ,<br>кВт | $\Delta P_D$ ,<br>кВт | C <sub>e</sub> ,<br>тис.<br>грн. | K,<br>тис.<br>грн. | З,<br>тис.<br>грн. |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| 35                    | 0,115           | 135,17                | 1,797                 | 14,897                           | 3091,2             | 401,297            |
| 50                    | 0,098           | 170,82                | 1,626                 | 13,480                           | 3788,8             | 487,080            |
| 70                    | 0,078           | 206,59                | 1,262                 | 10,458                           | 3942,4             | 503,258            |
| 95                    | 0,063           | 216,10                | 0,869                 | 7,205                            | 4601,6             | 582,405            |

Приймаємо 2 × АПвЕгП – 10 – 3 × 35.

## 2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Для розподілу електроенергії між приймачами цехів та будівель застосовуємо розподільні щити [8] та ввідно-розподільні пристрої [9] (табл.2.14). Живлення до них підведене від шин 0,4 кВ трансформаторної підстанції низьковольтними кабелями АВВГ – 0,4, вибраними з [10], (табл.2.15).

Схема живлення – радіально-магістральна (креслення 1). Магістрально живлення підведене до силового щита складу.

Таблиця 2.14 – Вибір розподільних пристроїв 0,4 кВ

| Назва<br>РП | S <sub>рΣ</sub> ,<br>кВА | I <sub>п.ав</sub> ,<br>А | Тип розподільного пристрою   | I <sub>доп.РП</sub> ,<br>А | n <sub>прийм</sub> | n <sub>мод</sub> |
|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|
| РП1.1       | 55,84                    | 84,84                    | ПР11-3045-21У3               | 100                        | 20                 | 20               |
| РП1.2       | 69,94                    | 106,26                   | ПР11-3051-21У3               | 250                        | 22                 | 24               |
| ВРП2        | 185,24                   | 281,45                   | ЕУ-ВРП2-1-400-1-1-11-2-21-У4 | 400                        | 4                  | 4                |
| ВРП3        | 146,49                   | 222,57                   | ЕУ-ВРП2-1-250-1-1-11-2-21-У4 | 400                        | 4                  | 4                |
| ВРП4        | 119,67                   | 181,82                   | ЕУ-ВРП2-1-250-1-1-11-2-21-У4 | 250                        | 3                  | 4                |
| РП5         | 231,33                   | 351,47                   | ПР11- 3087-21 У3             | 400                        | 18                 | 24               |
| РП6         | 149,25                   | 226,76                   | ПР11-3051-21У1               | 250                        | 12                 | 12               |
| РП7         | 39,60                    | 60,17                    | ПР11-3045-21У3               | 100                        | 10                 | 12               |

Таблиця 2.15 – Вибір кабелів 0,4 кВ

| Назва<br>КЛ | n | $S_{p\Sigma}$ ,<br>кВА | $I_{норм}$ ,<br>А | $I_{п.ав}$ ,<br>А | Переріз<br>кабелю | $I_{доп}$ ,<br>А | $I'_{доп}$ ,<br>А | $I''_{доп}$ ,<br>А | l,<br>км | $r_0$ ,<br>$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ | $x_0$ ,<br>$\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ | $\Delta U_{норм}$ ,<br>% | $\Delta U_{п.ав}$ ,<br>% |
|-------------|---|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ТП – РП1.1  | 2 | 55,84                  | 42,42             | 84,84             | 4×35              | 95               | 98                | 103                | 0,092    | 0,95                                     | 0,06                                     | 1,42                     | 2,84                     |
| ТП – РП1.2  | 2 | 69,94                  | 53,13             | 106,26            | 4×50              | 110              | 113               | 119                | 0,069    | 0,67                                     | 0,06                                     | 0,96                     | 1,91                     |
| ТП – ВРП2   | 2 | 185,24                 | 140,72            | 281,45            | 4×240             | 401              | 413               | 433                | 0,029    | 0,125                                    | 0,059                                    | 0,25                     | 0,50                     |
| ТП – ВРП3   | 2 | 146,49                 | 111,28            | 222,57            | 4×150             | 230              | 237               | 248                | 0,022    | 0,22                                     | 0,06                                     | 0,24                     | 0,47                     |
| ТП – ВРП4   | 2 | 119,67                 | 90,91             | 181,82            | 4×120             | 200              | 206               | 216                | 0,102    | 0,28                                     | 0,06                                     | 1,10                     | 2,21                     |
| ТП – РП5    | 2 | 231,33                 | 175,73            | 351,47            | 4×240             | 401              | 413               | 433                | 0,112    | 0,125                                    | 0,059                                    | 1,21                     | 2,43                     |
| ТП – РП6    | 2 | 149,25                 | 113,38            | 226,76            | 4×150             | 230              | 237               | 248                | 0,059    | 0,22                                     | 0,06                                     | 0,65                     | 1,30                     |
| РП5 – РП7   | 1 | 39,60                  | 60,17             | 60,17             | 4×25              | 75               | 77                | 81                 | 0,035    | 1,33                                     | 0,07                                     | 1,06                     | 1,06                     |

## 2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахуємо струми короткого замикання в мережі високої напруги, за значеннями яких в подальшому перевірять вибрані кабелі зовнішнього живлення за термічною стійкістю до цих струмів та високовольтну апаратуру за електродинамічною та термічною стійкістю.

Для розрахунку обираємо відносно наближене зведення параметрів заступної схеми до базових умов.

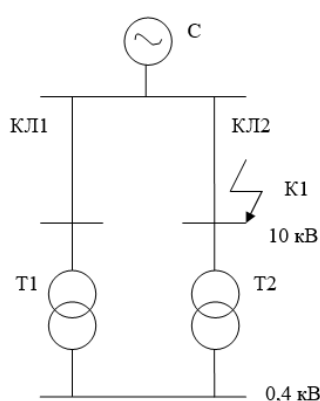


Рисунок 2.1 – Електрична схема короткозамкненого кола

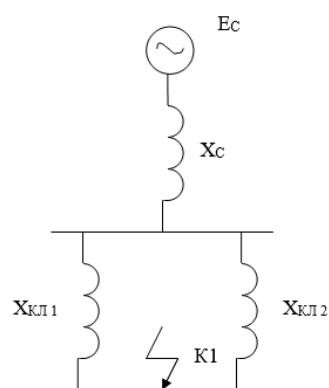


Рисунок 2.2 – Заступна схема короткозамкненого кола

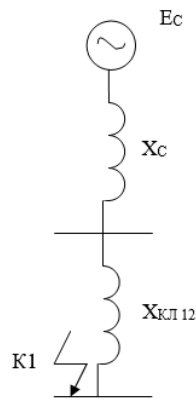


Рисунок 2.3 – Схема короткозамкненого кола після об'єднання паралельних ліній

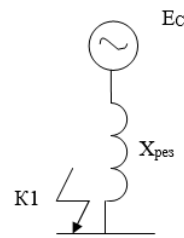


Рисунок 2.4 – Спрощена схема короткозамкненого кола

Таблиця 2.16 – Розрахунок струмів КЗ. Перевірка вибраних КЛ за термічною стійкістю

| Показник                         | Одиниці вимірювання            | Значення             |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| $S_{КЗ}$                         | МВА                            | 58                   |
| $\dot{X}_{C*}$                   | —                              | 1,724                |
| $\dot{R}_{КЛ1*}, \dot{R}_{КЛ2*}$ | —                              | 1,860                |
| $\dot{X}_{КЛ1*}, \dot{X}_{КЛ2*}$ | —                              | 0,261                |
| $\dot{R}_{КЛ12*}$                | —                              | 0,930                |
| $\dot{X}_{КЛ12*}$                | —                              | 0,131                |
| $\dot{R}_{рез*}$                 | —                              | 0,930                |
| $\dot{X}_{рез*}$                 | —                              | 1,855                |
| $\dot{Z}_{рез*}$                 | —                              | 2,075                |
| $I_6$                            | кА                             | 5,50                 |
| $I_{n0}$                         | кА                             | 2,650                |
| $k_y$                            | —                              | 1,42                 |
| $i_y$                            | кА                             | 5,322                |
| $K_T$                            | $\frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$ | 125                  |
| $t_n$                            | с                              | 0,25                 |
| $F_{min}$                        | мм <sup>2</sup>                | 10,6                 |
| Тип та переріз кабелю з п.2.8    | —                              | АПвЕгП – 10 – 3 × 35 |
| $B_K$                            | кА <sup>2</sup> · с            | 1,76                 |

## 2.11. Вибір обладнання

### 2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Розподільний пристрій напругою 10 кВ трансформаторної підстанції обладнаний комірками [13], назву та призначення яких наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики комірок КСО399

| Призначення                                | Обладнання                                                                           | Кількість | Каталожний номер |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|
| Комірки КСО 399 10 кВ                      |                                                                                      |           |                  |
| Ввідні                                     | Комірка КСО 399-03106 УЗ з вимикачем навантаження ВН-РА 030-10-630 УЗ                | 2         | 03               |
| Комутація і захист силових трансформаторів | Комірка КСО 399-04061 УЗ з вимикачем навантаження ВН-РА 03П-10-630 УЗ і запобіжником | 2         | 04               |
| Секційна                                   | Комірка КСО 399-01106 УЗ роз'єднувачами РВ030-10-630 УЗ                              | 1         | 01               |
| Розподільчі панелі ЩО 99 0,4 кВ            |                                                                                      |           |                  |
| Ввідні                                     | ЩО 99-2101 УЗ                                                                        | 2         | –                |
| Лінійні                                    | ЩО 99-2308 УЗ                                                                        | 4         | –                |
| Секційна                                   | ЩО 99-2208 УЗ                                                                        | 1         | –                |

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,98 < 630 \text{ А};$$

$$33,97 < 630 \text{ А};$$

$$5,332 < 51 \text{ кА};$$

$$1,76 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

### 2.11.2. Вибір роз'єднувачів

В секційних високовольних комірках трансформаторної підстанції для створення видимого розриву електричних кіл без навантаження встановлено роз'єднувачі із заземлюючими ножами, обрані з [15].

РВ030 – 10 – 630

$10 = 10 \text{ кВ};$

$26,76 < 630 \text{ А};$

$53,51 < 630 \text{ А};$

$5,322 < 41 \text{ кА};$

$1,76 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$

### 2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

У ввідних високовольтних комірках трансформаторної підстанції для комутації струмів нормального та післяаварійного режимів встановлено вимикачі навантаження із заземлюючими ножами; в трансформаторних комірках – вимикачі навантаження з вбудованими запобіжниками для захисту трансформаторів від струмів коротких замикань.

Вимикачі вибрані з [16]; запобіжники – з [17].

ВН – РА 030 – 10 – 630 УЗ:

$10 = 10 \text{ кВ};$

$16,98 < 630 \text{ А};$

$33,97 < 630 \text{ А};$

$2,65 < 31,5 \text{ кА};$

$5,332 < 80 \text{ кА};$

$1,76 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$

ВН – РА 03П – 10 – 630 УЗ:

$10 = 10 \text{ кВ};$

$16,98 < 630 \text{ А};$

$33,97 < 630 \text{ А};$

$2,65 < 31,5 \text{ кА};$

$5,332 < 80 \text{ кА};$

$1,76 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$

ПКТ – 10 – 40 – 12,5 УЗ:

$33,97 < 63 \text{ А};$

$2,65 < 12,5 \text{ кА};$

$45,9 < 217 \text{ кА},$

$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,65 = 45,9 \text{ МВА}.$

## 2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

### 2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Всі електроприймачі виробничої ділянки цеху картопляного крохмалю належать до II категорії надійності, тому для їх живлення застосовано радіальну схему. Кабелі та їх характеристики вибрані з [18] – таблиця 2.18 та перевірені за втратами напруги – таблиця 2.19.

Таблиця 2.18 – Вибір кабелів внутрішньоцехової мережі

| Назва електроприймача                | Р <sub>н</sub> , кВт | cos φ | I, А  | F, мм <sup>2</sup> | I <sub>тр.доп</sub> , А | Кабель       |
|--------------------------------------|----------------------|-------|-------|--------------------|-------------------------|--------------|
| <b>РП.1</b>                          |                      |       |       |                    |                         |              |
| Каптоплемийка                        | 4                    | 0,70  | 8,64  | 2,5                | 26                      | ВВГнгд-5×2,5 |
| Картоплетертка                       | 5,5                  | 0,70  | 11,94 | 2,5                | 26                      | ВВГнгд-5×2,5 |
| Сито відцентрове лопатеве            | 7,5                  | 0,70  | 16,28 | 2,5                | 26                      | ВВГнгд-5×2,5 |
| Центрифуга зсаджувальна              | 6                    | 0,65  | 14,03 | 2,5                | 26                      | ВВГнгд-5×2,5 |
| Машина подрібнювальна для напівкашки | 5                    | 0,67  | 11,29 | 2,5                | 26                      | ВВГнгд-5×2,5 |
| Сепаратор                            | 6                    | 0,70  | 13,02 | 2,5                | 26                      | ВВГнгд-5×2,5 |
| Конвеєр стрічковий                   | 22                   | 0,86  | 38,81 | 6                  | 45                      | ВВГнгд-5×6   |
| Шафа витяжна                         | 3                    | 0,80  | 5,70  | 2,5                | 26                      | ВВГнгд-5×2,5 |

Таблиця 2.19 – Перевірка кабелів за втратами напруги

| Назва електроприймача                | n | r <sub>0</sub> , Ом/км | x <sub>0</sub> , Ом/км | l, км | ΔU%   | Кабель       |
|--------------------------------------|---|------------------------|------------------------|-------|-------|--------------|
| <b>РП.1</b>                          |   |                        |                        |       |       |              |
| Каптоплемийка                        | 4 | 8                      | 0,09                   | 0,012 | 0,269 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,01  | 0,224 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,012 | 0,269 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,018 | 0,403 | ВВГнгд-5×2,5 |
| Картоплетертка                       | 4 | 8                      | 0,09                   | 0,02  | 0,616 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,018 | 0,555 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,02  | 0,616 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,026 | 0,801 | ВВГнгд-5×2,5 |
| Ситовідцентрове лопатеве             | 4 | 8                      | 0,09                   | 0,027 | 1,135 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,025 | 1,051 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,031 | 1,303 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,032 | 1,345 | ВВГнгд-5×2,5 |
| Центрифуга зсаджувальна              | 2 | 8                      | 0,09                   | 0,034 | 1,145 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,031 | 1,044 | ВВГнгд-5×2,5 |
| Машина подрібнювальна для напівкашки | 1 | 8                      | 0,09                   | 0,054 | 1,514 | ВВГнгд-5×2,5 |
| Сепаратор                            | 2 | 8                      | 0,09                   | 0,05  | 1,681 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,046 | 1,547 | ВВГнгд-5×2,5 |
| Конвеєр стрічковий                   | 1 | 3,33                   | 0,09                   | 0,022 | 1,134 | ВВГнгд-5×6   |
| Шафа витяжна                         | 2 | 8                      | 0,09                   | 0,027 | 0,453 | ВВГнгд-5×2,5 |
|                                      |   | 8                      | 0,09                   | 0,048 | 0,809 | ВВГнгд-5×2,5 |

### 2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ

Розрахуємо струми короткого замикання в мережі низької напруги, за значеннями яких в подальшому перевірять вибрані кабелі внутрішньозаводського електропостачання за термічною стійкістю до цих струмів та низьковольтну апаратуру.

Для розрахунку обираємо абсолютне наближене зведення параметрів заступної схеми до базових умов.

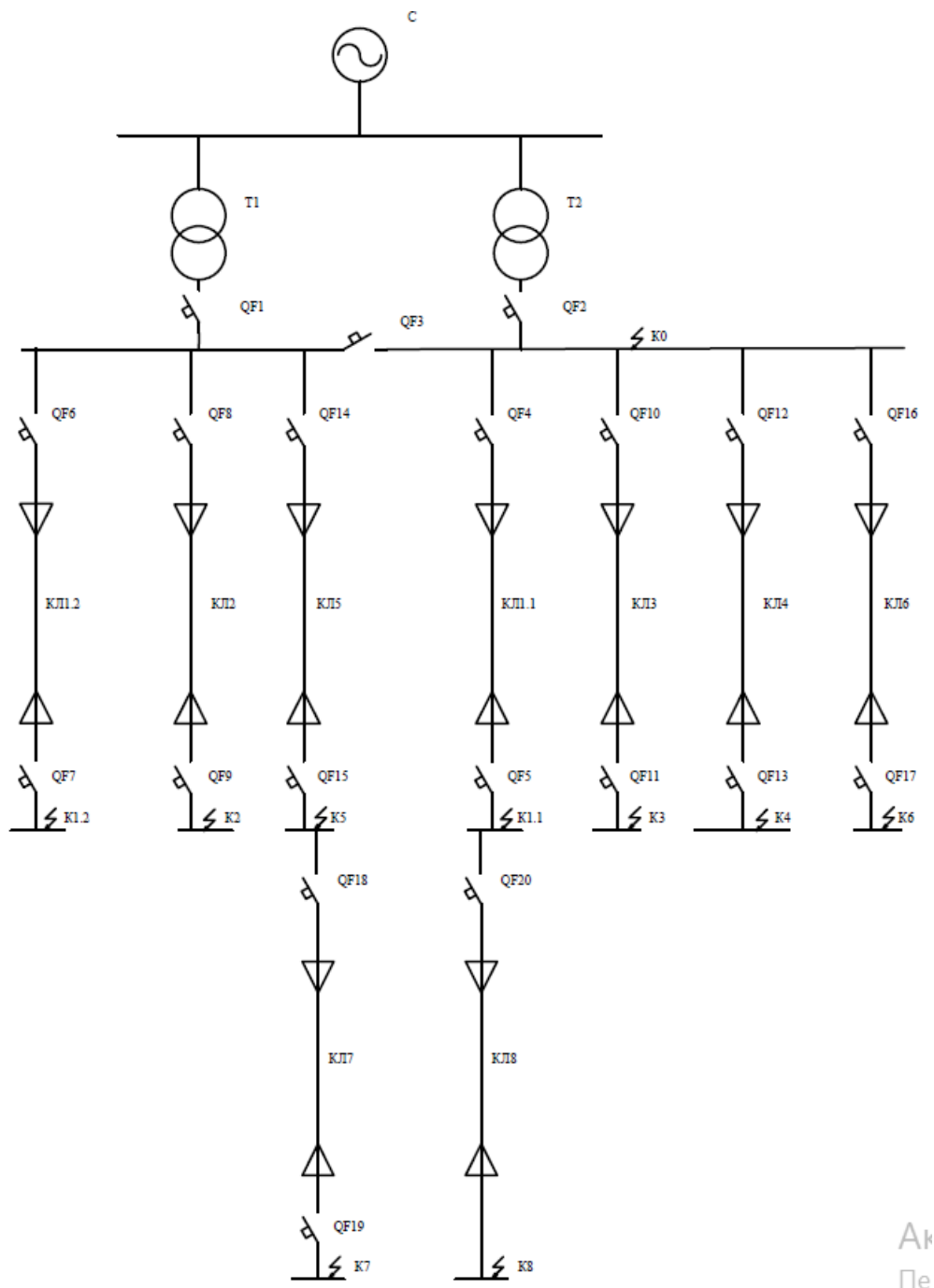


Рисунок 2.6 – Схема короткозамкнутого кола НВ мережі

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

ЛНТУ.971034.000 ПЗ

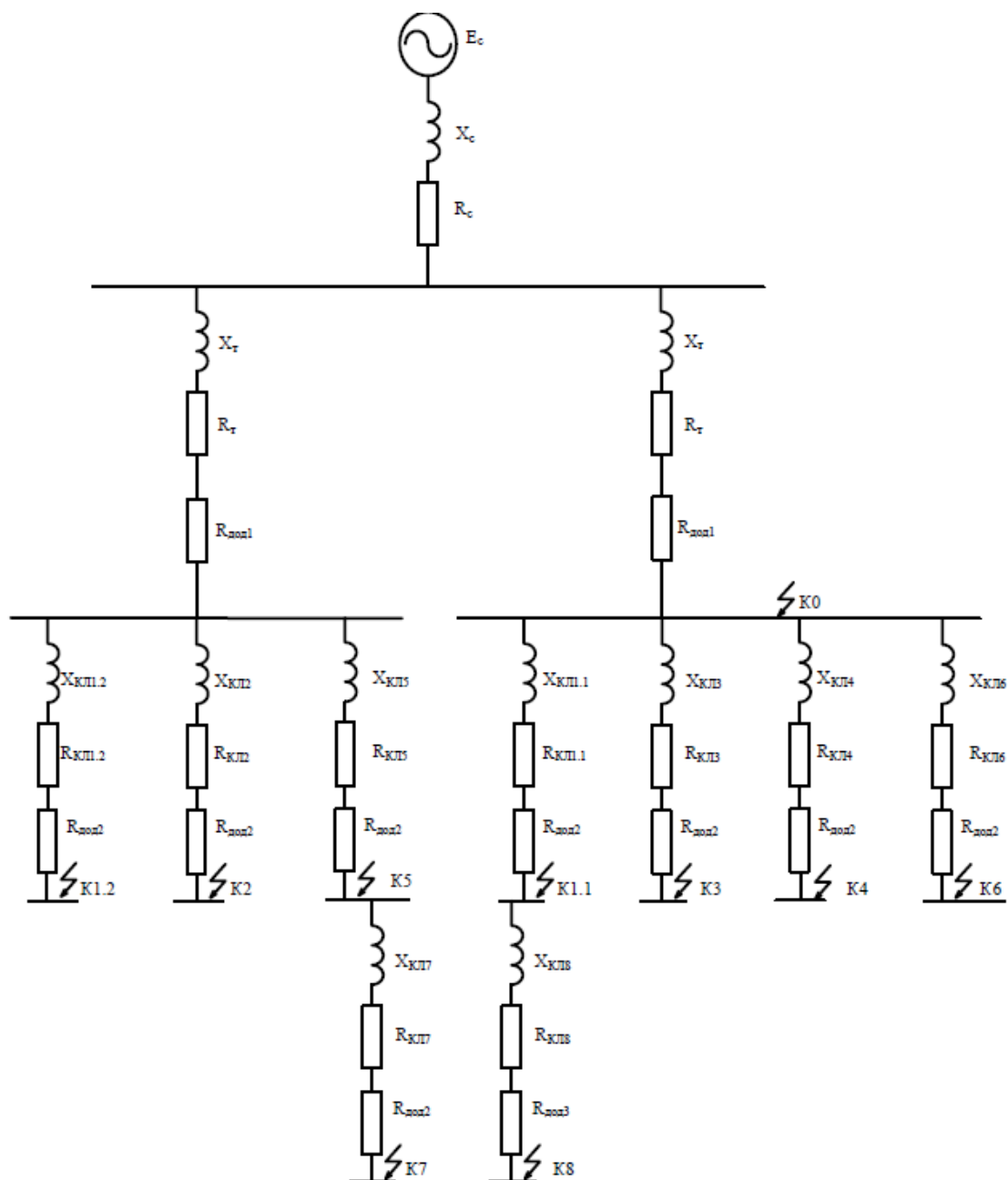


Рисунок 2.7 – Заступна схема НВ мережі

Таблиця 2.20 – Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ в мережі 0,4 кВ

| Показник     | Одиниці вимірювання | Значення |
|--------------|---------------------|----------|
| $U_6$        | кВ                  | 0,4      |
| $I_{к10}$    | кА                  | 2,650    |
| $U_{с10}$    | кВ                  | 10,5     |
| $S_{ном.Т}$  | кВА                 | 400      |
| $\Delta P_k$ | кВт                 | 5,6      |
| $u_k$        | %                   | 6        |

Таблиця 2.21 – Визначення струмів КЗ в точці К0

| Показник         | Одиниці вимірювання | Значення |
|------------------|---------------------|----------|
| $R_c$            | Ом                  | 1,026    |
| $X_c$            | Ом                  | 2,288    |
| $\dot{R}_c$      | МОм                 | 1,488    |
| $\dot{X}_c$      | МОм                 | 3,320    |
| $\dot{R}_T$      | МОм                 | 2,800    |
| $\dot{X}_T$      | МОм                 | 12,000   |
| $\dot{R}_{рез0}$ | МОм                 | 19,288   |
| $\dot{X}_{рез0}$ | МОм                 | 15,320   |
| $Z_{рез0}$       | МОм                 | 24,632   |
| $I_K$            | кА                  | 9,376    |
| $k_y$            | –                   | 1,05     |
| $i_y$            | кА                  | 13,922   |

Таблиця 2.22 – Визначення опорів кабельних ліній

| Назва кабельної лінії | $l$ , км | $r_0$ , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ | $R$ , МОм | $x_0$ , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ | $X$ , МОм |
|-----------------------|----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|
| ТП – РП1.1            | 0,092    | 0,95                                  | 87,590    | 0,06                                  | 5,532     |
| ТП – РП1.2            | 0,069    | 0,67                                  | 46,230    | 0,06                                  | 4,140     |
| ТП – ВРП2             | 0,029    | 0,125                                 | 3,625     | 0,059                                 | 1,711     |
| ТП – ВРП3             | 0,022    | 0,22                                  | 4,84      | 0,06                                  | 1,320     |
| ТП – ВРП4             | 0,102    | 0,28                                  | 28,672    | 0,06                                  | 6,144     |
| ТП – РП5              | 0,112    | 0,125                                 | 14        | 0,059                                 | 6,608     |
| ТП – РП6              | 0,059    | 0,22                                  | 13,0064   | 0,06                                  | 3,547     |
| РП5 – РП7             | 0,035    | 1,33                                  | 46,284    | 0,07                                  | 2,436     |
| РП1.1 – Рmax          | 0,022    | 3,33                                  | 73,26     | 0,09                                  | 1,980     |

Таблиця 2.23 – Визначення струмів КЗ в НВ мережі

| Точка КЗ | $R_{\text{дод}}$ , МОм | $\dot{R}_{\text{рез}}$ , МОм | $\dot{X}_{\text{рез}}$ , МОм | $\dot{Z}_{\text{рез}}$ , МОм | $I_K$ , кА | $k_y$ | $i_y$ , кА | $F_{\text{min}}$ , мм <sup>2</sup> | Вибраний переріз |
|----------|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------|-------|------------|------------------------------------|------------------|
| K1.1     | 20                     | 111,88                       | 20,85                        | 113,81                       | 2,029      | 1     | 2,870      | 7,5                                | 4×35             |
| K1.2     | 20                     | 70,52                        | 19,46                        | 73,15                        | 3,157      | 1     | 4,465      | 11,7                               | 4×50             |
| K2       | 20                     | 27,91                        | 17,03                        | 32,70                        | 7,063      | 1     | 9,988      | 26,2                               | 4×240            |
| K3       | 20                     | 29,13                        | 16,64                        | 33,55                        | 6,884      | 1     | 9,736      | 25,5                               | 4×150            |
| K4       | 20                     | 52,96                        | 21,46                        | 57,14                        | 4,041      | 1     | 5,715      | 15,0                               | 4×120            |
| K5       | 20                     | 38,29                        | 21,93                        | 44,12                        | 5,234      | 1     | 7,402      | 19,4                               | 4×240            |
| K6       | 20                     | 37,29                        | 18,87                        | 41,80                        | 5,525      | 1     | 7,814      | 20,5                               | 4×150            |
| K7       | 20                     | 84,57                        | 24,36                        | 88,01                        | 2,624      | 1     | 3,711      | 9,7                                | 4×25             |
| K8       | 30                     | 195,14                       | 22,83                        | 196,47                       | 1,175      | 1     | 1,662      | 4,4                                | 5×6              |

### 2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Система обліку електричної енергії крохмального заводу має таку структуру:

комерційний облік – лічильники, що обліковують активну енергію в напрямку споживання та реактивну енергію в напрямку споживання та генерування, вибрані з [19] та підключені до вторинних обмоток трансформаторів струму, вибраних з [20];

технічний облік – лічильники, що обліковують реактивну енергію, генеровану конденсаторними батареями, вибрані з [19] та підключені до вторинних обмоток трансформаторів струму, вибраних з [20].

Також до вторинних обмоток трансформаторів струму підключені амперметри.

$$I_{\text{норм}} = \frac{959,29}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 728,75 \text{ A};$$

$$I_{\text{max}} = \frac{959,29}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1457,49 \text{ A}.$$

Вторинне навантаження трансформаторів струму :

$$r_k = 0,05 \text{ Ом}; \text{ тоді згідно з [10];}$$

$$S_{\text{прил}} = 10 \text{ ВА};$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 4}{2,5} = 0,045 \text{ Ом};$$

$$z_2 \approx r_2 = 0,4 + 0,045 + 0,05 = 0,495 \text{ Ом}.$$

Комерційний облік :

$$T - 0,66 \text{ 1500 / 5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$728,75 < 1500 \text{ A};$$

$$1457,49 < 1500 \text{ A};$$

$$13,922 < 51 \text{ кА};$$

$$21,98 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

Технічний облік :

$$T - 0,66 \text{ 400 / 5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$351,47 < 400 \text{ А};$$

$$7,402 < 51 \text{ кА};$$

$$6,85 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

#### 2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі призначені для захисту елементів електричних кіл від струмів короткого замикання та перевантаження. Автоматичні вимикачі встановлено у ввідних та в секційній панелях розподільного пристрою 0,4 кВ трансформаторної підстанції, в лінійних панелях на початку ліній живлення кожного силового щита, на вводах силових щитів, на початку ліній живлення окремих струмоприймачів.

Автоматичні вимикачі вибрано з [21] (табл.2.31).

Таблиця 2.24 – Вибір автоматичних вимикачів

| Номер вимикача | Тип вимикача                | Каталожні дані           |                              |                              | Розрахункові дані        |                         |                          |                       |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
|                |                             | U <sub>ном</sub> ,<br>кВ | I <sub>ном розщ</sub> ,<br>А | I <sub>гр вимк</sub> ,<br>кА | U <sub>уст</sub> ,<br>кВ | I <sub>ном</sub> ,<br>А | I <sub>п.ав</sub> ,<br>А | I <sub>к</sub> ,<br>А |
| 1              | 2                           | 3                        | 4                            | 5                            | 6                        | 7                       | 8                        | 9                     |
| QF1            | e.industrial.acb.1600D.1600 | 0,4                      | 1600                         | 80                           | 0,4                      | 728,75                  | 1457,49                  | 9,376                 |
| QF2            | e.industrial.acb.1600D.1600 | 0,4                      | 1600                         | 80                           | 0,4                      | 728,75                  | 1457,49                  | 9,376                 |
| QF3            | e.industrial.acb.1600D.1600 | 0,4                      | 1600                         | 80                           | 0,4                      | 728,75                  | 1457,49                  | 9,376                 |
| QF4            | BA 88 – 33                  | 0,4                      | 100                          | 35                           | 0,4                      | 42,42                   | 84,84                    | 2,029                 |
| QF5            | BA 88 – 33                  | 0,4                      | 100                          | 35                           | 0,4                      | 42,42                   | 84,84                    | 2,029                 |
| QF6            | BA 88 – 33                  | 0,4                      | 125                          | 35                           | 0,4                      | 53,13                   | 106,26                   | 3,157                 |
| QF7            | BA 88 – 33                  | 0,4                      | 125                          | 35                           | 0,4                      | 53,13                   | 106,26                   | 3,157                 |

Продовження таблиці 2.24

| 1    | 2          | 3   | 4   | 5  | 6   | 7      | 8      | 9     |
|------|------------|-----|-----|----|-----|--------|--------|-------|
| QF8  | BA 88 – 37 | 0,4 | 315 | 35 | 0,4 | 140,72 | 281,45 | 7,063 |
| QF9  | BA 88 – 37 | 0,4 | 315 | 35 | 0,4 | 140,72 | 281,45 | 7,063 |
| QF10 | BA 88 – 35 | 0,4 | 250 | 35 | 0,4 | 111,28 | 222,57 | 6,884 |
| QF11 | BA 88 – 35 | 0,4 | 250 | 35 | 0,4 | 111,28 | 222,57 | 6,884 |
| QF12 | BA 88 – 35 | 0,4 | 200 | 35 | 0,4 | 90,91  | 181,82 | 4,041 |
| QF13 | BA 88 – 35 | 0,4 | 200 | 35 | 0,4 | 90,91  | 181,82 | 4,041 |
| QF14 | BA 88 – 37 | 0,4 | 400 | 35 | 0,4 | 175,73 | 351,47 | 5,234 |
| QF15 | BA 88 – 37 | 0,4 | 400 | 35 | 0,4 | 175,73 | 351,47 | 5,234 |
| QF16 | BA 88 – 35 | 0,4 | 250 | 35 | 0,4 | 113,38 | 226,76 | 5,525 |
| QF17 | BA 88 – 35 | 0,4 | 250 | 35 | 0,4 | 113,38 | 226,76 | 5,525 |
| QF18 | BA 88 – 33 | 0,4 | 63  | 35 | 0,4 | 60,17  | 60,17  | 2,624 |
| QF19 | BA 88 – 33 | 0,4 | 63  | 35 | 0,4 | 60,17  | 60,17  | 2,624 |
| QF20 | BA 88 – 32 | 0,4 | 40  | 35 | 0,4 | 38,81  | 38,81  | 1,175 |

### 2.12.5. Вибір рубильників

Рубильники призначені для створення видимого розриву кіл низької напруги. Рубильники, обрані з [22], встановлено у ввідних та в секційних панелях розподільного пристрою 0,4 кВ трансформаторної підстанції.

$$PE\ 19 - 43; 1600\ A;$$

$$0,38 < 0,66\ кВ;$$

$$728,75 < 1600\ A;$$

$$1457,49 < 1600\ A;$$

$$13,922 < 50\ кА;$$

$$21,98 < 900\ кА^2 \cdot с.$$

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Основним способом регулювання напруги в системі електропостачання крохмального заводу є застосування пристроїв перемикання без збудження, встановлених в первинних обмотках силових трансформаторів. Використання ПБЗ дає можливість зміни напруги в межах  $\pm 5\%$  від її номінального значення. Виконаємо розрахунок положень ПБЗ силових трансформаторів:

з пп.2.12.2 використовуємо такі дані та методику [Д.2]

$$R_T = 2,8 \cdot 10^{-3} = 0,003 \text{ Ом}; \quad X_T = 12,0 \cdot 10^{-3} = 0,012 \text{ Ом.}$$

$$P_{cp} = 555,83 \text{ кВт}; \quad Q_{cp} = 500,23 \text{ кВт}; \quad n_T = 2;$$

$$U_{норм} = \pm 5\% \cdot U_{ном}; \quad U_{норм} = (0,95 \div 1,05) \cdot 380 = 360 \div 399 \text{ В};$$

$$\Delta U_T = \frac{555,83 \cdot 0,003 + 500,23 \cdot 0,012}{2 \cdot 10} = 0,38 \text{ кВ};$$

$$U_{нн.6} = (1 - 0,05) \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 0,36 \text{ кВ}; \quad K_{Т.ном} = \frac{10}{0,38} = 26,32;$$

$$K_{Т.6} = \frac{10 - 0,38}{2 \cdot 0,38} = 26,65;$$

Таблиця 3.1 – Визначення положень ПБЗ та відповідних їм коефіцієнтів трансформації

| Положення ПБЗ | Додаткове число витків, % | Відносне число витків | Коефіцієнт трансформації |
|---------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1             | 5                         | 1,050                 | 27,99                    |
| 2             | 2,5                       | 1,025                 | 27,32                    |
| 3             | 0                         | 1,000                 | 26,65                    |
| 4             | -2,5                      | 0,975                 | 25,99                    |
| 5             | -5                        | 0,950                 | 25,32                    |

$$U_{нн.д} = \frac{10 - 0,38}{26,65} = 0,361 \text{ кВ}; \quad \frac{0,361 - 0,36}{0,361} \cdot 100 = 0,28\%.$$

|           |      |               |        |      |                                                                                                 |  |  |  |                |      |         |   |  |
|-----------|------|---------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|----------------|------|---------|---|--|
|           |      |               |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ                                                                              |  |  |  |                |      |         |   |  |
| Зм.       | Арк. | № докум.      | Підпис | Дата |                                                                                                 |  |  |  |                |      |         |   |  |
| Розроб.   |      | Бортнюк М.С.  |        |      | Електропостачання крохмального заводу встановленою потужністю 950 кВт.<br>Пояснювальна записка. |  |  |  | Літ.           | Арк. | Аркушів |   |  |
| Перевір.  |      | Грицюк І.В.   |        |      |                                                                                                 |  |  |  |                |      | 31      | 1 |  |
|           |      |               |        |      |                                                                                                 |  |  |  | ФАБЕ, гр.ЕЕ–42 |      |         |   |  |
| Н. контр. |      | Ващелюк Ю.І.  |        |      |                                                                                                 |  |  |  |                |      |         |   |  |
| Затверд.  |      | Волинець В.І. |        |      |                                                                                                 |  |  |  |                |      |         |   |  |

## РОЗДІЛ 4

### САПР

Розрахунки системи електропостачання крохмального заводу є автоматизованими за допомогою Microsoft Excel 2003. В даному розділі наведено приклад автоматизації вибору потужності силових трансформаторів з врахуванням компенсації реактивної потужності, а також оцінки доцільності використання додаткових високовольтних компенсуювальних пристроїв (рис. 4.1).

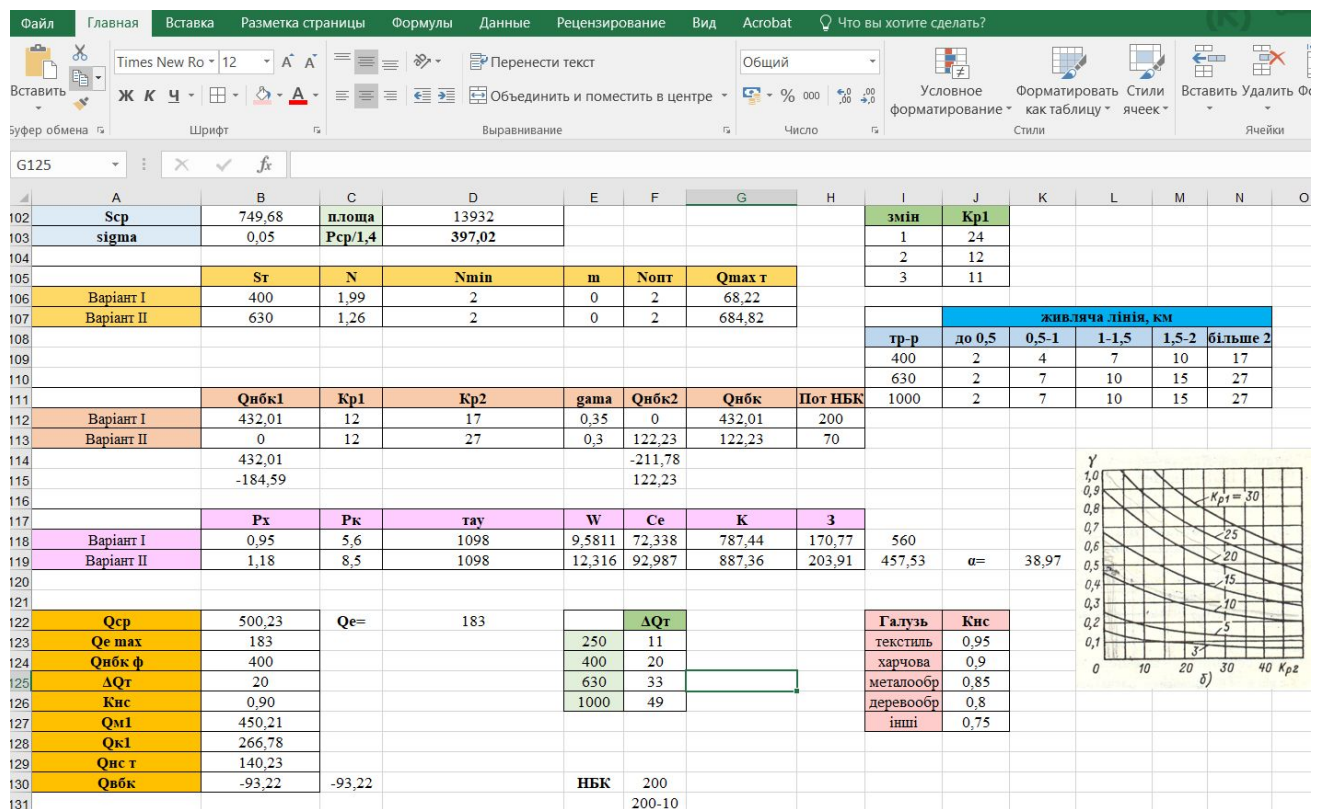


Рисунок 4.1 – Вибір силових трансформаторів з врахуванням компенсації реактивної потужності

|           |               |          |        |      |                                                                                                 |      |         |
|-----------|---------------|----------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|           |               |          |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ                                                                              |      |         |
| Зм.       | Арк.          | № докум. | Підпис | Дата | Електропостачання крохмального заводу встановленою потужністю 950 кВт.<br>Пояснювальна записка. |      |         |
| Розроб.   | Бортнюк М.С.  |          |        |      |                                                                                                 |      |         |
| Перевір.  | Грицюк І.В.   |          |        |      |                                                                                                 |      |         |
| Н. контр. | Ващелюк Ю.І.  |          |        |      |                                                                                                 |      |         |
| Затверд.  | Волинець В.І. |          |        |      |                                                                                                 |      |         |
|           |               |          |        |      | Літ.                                                                                            | Арк. | Аркушів |
|           |               |          |        |      |                                                                                                 | 32   | 1       |
|           |               |          |        |      | ФАБЕ, гр.ЕЕ-42                                                                                  |      |         |

## РОЗДІЛ 5

### ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Неструмівідні частини електричного обладнання цеху картопляного крохмалю з'єднані з контуром заземлення, до складу якого входять горизонтальний та вертикальні електроди [Д.3].

Розрахуємо цей контур [24]:

$$l = (30 + 84) \cdot 2 = 228 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 228} \cdot \ln \frac{228^2}{0,4 \cdot 0,04} = 2,0 \text{ Ом};$$

$$R_H = 10 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{2,0 \cdot 10}{2,0 + 10} = 1,65 \text{ Ом};$$

$$R_{BO} = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,016} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,7 + 1}{4 \cdot 0,7 - 1} \right) = 55 \text{ Ом};$$

$$\eta_B = 0,62; \eta_{\Gamma} = 0,33;$$

$$n_B = \frac{55}{1,65 \cdot 0,62} = 53,7 \text{ шт} \Rightarrow n_B = 54 \text{ шт};$$

$$R_{шт} = \frac{55 \cdot 2,0}{0,33 \cdot 55 + 0,62 \cdot 56 \cdot 2,0} = 1,29 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

|           |               |          |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      |         |   |  |
|-----------|---------------|----------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|----------------|------|---------|---|--|
|           |               |          |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ                                                                              |  |  |                |      |         |   |  |
| Зм.       | Арк.          | № докум. | Підпис | Дата | Електропостачання крохмального заводу встановленою потужністю 950 кВт.<br>Пояснювальна записка. |  |  | Літ.           | Арк. | Аркушів |   |  |
| Розроб.   | Бортнюк М.С.  |          |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      | 33      | 1 |  |
| Перевір.  | Грицюк І.В.   |          |        |      |                                                                                                 |  |  | ФАБЕ, гр.ЕЕ–42 |      |         |   |  |
|           |               |          |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      |         |   |  |
| Н. контр. | Вашелюк Ю.І.  |          |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      |         |   |  |
| Затверд.  | Волинець В.І. |          |        |      |                                                                                                 |  |  |                |      |         |   |  |

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Прийняті технічні рішення та досягнуті результати в ході проектування системи електропостачання крохмального заводу:

при розрахунку електричних навантажень застосовано ієрархічний підхід, що дозволило отримати їх точні значення на кожному рівні електропостачання;

трансформаторну підстанцію розташовано максимально близько до центру навантажень, завдяки чому досягнуто мінімальної довжини ліній 0,4 кВ та втрат електричної енергії;

вибрано найбільш доцільні з економічної точки зору потужності силових трансформаторів та перерізи високовольних кабельних ліній на основі техніко-економічного порівняння різних варіантів встановлення;

силові трансформатори перевірено ze перевантажувальною здатністю, тобто забезпечено їх нормальну роботу в післяаварійному режимі;

застосовано компенсацію реактивної потужності, завдяки чому вдалось досягнути розвантаження електричних мереж високої напруги та трансформаторів, а також покращення показників якості електричної енергії;

передбачено апарати захисту силових трансформаторів та кабельних ліній низької напруги від струмів ненормальних режимів;

передбачено можливість регулювання напруги в системі електропостачання підприємства;

застосовано систему вимірювання параметрів режиму електричної системи та обліку електричної енергії (комерційного та технічного);

забезпечено високу точність розрахунків завдяки їх автоматизації;

гарантовано безпеку експлуатації електричних мереж заводу завдяки облаштуванню контурів заземлення неструмовідних частин електрообладнання, встановленого в цехах та допоміжних будівлях.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 34   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила улаштування електроустановок : видання офіційне. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 620 с.
2. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів : практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.
3. Промислові LED світильники : каталог. URL : [https://ledmir.com.ua/industrial\\_led\\_lights](https://ledmir.com.ua/industrial_led_lights)
4. Трансформатори силові типу ТМ. URL : [http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/transformatori\\_silovie\\_tipa\\_tm.html](http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/transformatori_silovie_tipa_tm.html)
5. Установки компенсації реактивної потужності ККУ-0,4. URL : <https://avelectric.com.ua/ua/g77561771-ustanovki-kompensatsii-reaktivnoj>
6. Електричні системи та мережі : методичні вказівки до виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання ; уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 72с.
7. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену : каталог. URL : <https://amperia.com.ua/ua/g32628816-silovye-kabeli-izolyatsiej>.
8. Пункт розподільний ЕУ-ПР11 : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/punkt-rozpodilnyi.html>.
9. Ввідно-розподільний пристрій : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/vvidno-rozpodilnyi-prystrii.html>.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛНТУ.971034.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 35   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

10. Кабелі силові АВВГ, АВВГнг, АВВГнгд : каталог. URL : <https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/avvg-avvgng-avvgngd/>.
11. Грицюк Ю.В. Електрична частина станцій і підстанцій. Методичні вказівки до практичних занять. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – 96 с.
12. Електрична частина станцій і підстанцій : методичні вказівки до виконання курсового проекту ; уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. 84с.
13. Камери збірні одностороннього обслуговування КСО 399 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <http://uelko.com/kso399.pdf>.
14. Панелі розподільних щитів ЩО 99 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <https://uelko.com/so99.pdf>.
15. Роз'єднувачі РВ, РВО, РВЗ, РВФЗ, РЛВО : каталог. URL: <http://nvacontact.com/category2/razediniteli-10-kv/>.
16. Вимикач навантаження типу ВН-РА-000 : каталог. ООО Укрелетрокомплект URL: <https://uelko.com/vn-ra.pdf>.
17. Високовольтні запобіжники : каталог. URL: [https://www.websor.ru/vjsokovoltnje\\_predohraniteli.html](https://www.websor.ru/vjsokovoltnje_predohraniteli.html).
18. Кабелі силові ВВГ, ВВГнг, ВВГнгд : каталог. URL : <https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/vvg3-vvg3ng-vvg3ngd-vvg5-vvg5ng-vvg5ngd/>.
19. Лічильники електричної енергії НІК2303 : настанова з експлуатації. Київ, 2016. URL: [http://www.nik.net.ua/uploads/RE\\_2303LE.pdf](http://www.nik.net.ua/uploads/RE_2303LE.pdf).
20. Трансформатори струму ТШ-0,66 : каталог. URL: <http://bek-ltd.com.ua/transformatory-toka-t-0-66>.
21. Вимикачі автоматичні серії ВА88 : інструкція з експлуатації. ІЕК. URL: [https://www.iek.ru/partners/infobaza/files/docs/passp\\_re/bc4722f58a17e3fcaaa9ec94fab2307f.pdf](https://www.iek.ru/partners/infobaza/files/docs/passp_re/bc4722f58a17e3fcaaa9ec94fab2307f.pdf)

22. Роз'єднувач РЕ-19 : каталог продукції : Промелектросервіс. URL:  
<http://www.elektro-portal.com/series/show/razedinitel-re19>.
23. Електроприймачі в системах електроспоживання : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк, І.О. Бандура. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 262с.
24. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДЗТ, 2018. 295 с.