

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
менеджменту

## Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Аналіз ефективності використання пристроїв динамічної  
компенсації реактивної потужності в системі електропостачання Товариства з  
обмеженою відповідальністю «Вінниця-млин»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕСЕ-18м  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

Ілик О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 року

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр  
Спеціальність– 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма – Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ЕСЕМ  
д.т.н. проф. Бурбело М.Й.

„\_\_\_\_\_” вересня 2019 р

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську кваліфікаційну роботу**  
Ілику Олександр Миколайовичу

1. Тема роботи: Аналіз ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінниця-млин»

керівник роботи: Бурбело Михайло Йосипович, д.т.н. професор,  
затверджена наказом по ВНТУ від « 02 » жовтня 2019 року, № 254

2. Строк подання студентом роботи «05» грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: відомості про електричні навантаження та планування підприємства, про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.

Наукові публікації з питань динамічної компенсації реактивної потужності в електричних мережах промислових підприємств.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Вступ.

1. Характеристика підприємства та шляхи використання пристроїв компенсації реактивної потужності ТОВ «Вінниця-млин»

1.1 Характеристика технологічного процесу підприємства

1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства та цеху

1.3 Стан використання реактивної потужності на підприємстві ТОВ «Вінниця-млин» та напрямки у його поліпшенні

2. Визначення оптимальних параметрів системи електропостачання

2.1 Розрахунок навантажень підприємства

2.2 Визначення кількості та потужності цехових ТП

2.3 Визначення координат розміщення ТП

2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

2.5 Оптимізація компенсації реакт. потужн. в системі електропостачання підприємства

3. Аналіз ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності ТОВ «Вінниця-млин»

3.1 Сучасні заходи та технічні засоби компенсації реактивної потужності

3.2 Динамічне керування компенсуючими пристроями як найбільш ефективний та довершений спосіб компенсації реактивної потужності

4 Економічна частина роботи

4.1 Розрахунок собівартості електроенергії на підприємстві

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

- 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту  
 5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії  
 5.3 Дослідж. стійкості роботи електричних мереж в умовах дії загрозливих чинників НС  
**ВИСНОВКИ**

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Генплан підприємства. 2. Однолінійна схема ЕПП. 3. Схема заповнення РП. 4. Схема частотно-керованого електропривода. 5. Основні техн.-ек. показники СЕП. 6. Розрахунок КРП. 7. Модель дослідження роботи частотно-керованого електропривода. 8., 9. Осцилограми струму та його гармонічний спектр.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                                      | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---|---|----------------|------------------|
|   |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях | Кобилянський О.В., д.п.н., професор       |                |                  |
| Економічна частина                          | Шулле Ю.А., к.т.н., доцент                |                |                  |
| Спеціальна частина                          | Бурбело М.Й., д.т.н. професор             |                |                  |
| Нормоконтроль                               | Войтюк Ю.П., к.т.н., ст. викладач         |                |                  |

7. Дата видачі завдання « 23 » вересня 2019 року

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного роботи   | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1     | Розрахунок оптимальних параметрів системи електропостачання  | 09.10.2019                    |          |
| 2     | Аналіз сучасних технічних засобів компенсації реактивної потужності та способів керування ними             | 18.10.2019                    |          |
| 3     | Оцінка ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності ТОВ «Вінниця-млин» | 01.11.2019                    |          |
| 4     | Економічна частина роботи  | 10.11.2019                    |          |
| 5     | Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях  | 21.11.2019                    |          |
| 6     | Написання пояснювальної записки  | 02.12.2019                    |          |

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник магістерської роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Лик О.М.

(прізвище та ініціали)

Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| АНОТАЦІЯ.....   | 5  |
| ВСТУП.....  | 7  |
| РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА ШЛЯХИ<br>ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ<br>ТОВ«ВІННИЦЯ-МЛИН» .....    | 9  |
| 1.1 Характеристика технологічного процесу підприємства.....   | 9  |
| 1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства та цеху .....  | 10 |
| 1.3 Стан використання реактивної потужності на підприємстві ТОВ «Вінниця-<br>млин» та напрямки у його поліпшенні .....                  | 14 |
| РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ<br>ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....  | 25 |
| 2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства .....   | 25 |
| 2.1 Розрахунок навантажень підприємства .....   | 25 |
| 2.2 Визначення кількості та потужності цехових ТП .....   | 30 |
| 2.3 Визначення координат розміщення ТП.....   | 33 |
| 2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства.....   | 36 |
| 2.5 Оптимізація компенсації реактивної потужності в системі<br>електропостачання підприємства.....                                      | 41 |
| РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ<br>ДИНАМІЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТОВ<br>«ВІННИЦЯ-МЛИН».....          | 45 |
| 3.1 Сучасні заходи та технічні засоби компенсації реактивної потужності....   | 45 |
| 3.2 Динамічне керування компенсуючими пристроями як найбільш ефективний<br>та довершений спосіб компенсації реактивної потужності ..... | 50 |
| ВИСНОВКИ.....   | 56 |
| РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....  | 57 |
| 4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання .....   | 58 |
| 4.2 Розрахунок поточних витрат .....  | 59 |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2.1 Розрахунок потреби в робочій силі.....   | 59        |
| 4.2.2 Розрахунок витрат по заробітній платі.....   | 62        |
| 4.2.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються.....   | 65        |
| 4.2.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат.....  | 67        |
| 4.3.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію.....   | 68        |
| 4.3.2 Розрахунок собівартості електроенергії.....  | 70        |
| <b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>   | <b>72</b> |
| 5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта.....  | 73        |
| 5.1.1 Електробезпека.....  | 73        |
| 5.1.2 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць.....   | 74        |
| 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....  | 76        |
| 5.2.1 Мікроклімат.....   | 76        |
| 5.2.2 Склад повітря робочої зони.....  | 77        |
| 5.2.3 Освітлення робочої зони.....   | 78        |
| 5.2.4 Виробничий шум.....  | 80        |
| 5.2.5 Виробничі вібрації.....  | 81        |
| 5.2.6 Психофізіологічні фактори.....   | 82        |
| 5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій..... | 84        |
| 5.3.1 Дослідження стійкості роботи СЕП ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії іонізуючих випромінювань.....   | 85        |
| 5.3.2 Дослідження стійкості роботи СЕП ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії електромагнітного імпульсу.....   | 86        |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>   | <b>90</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>   | <b>91</b> |
| <b>ДОДАТКИ.....</b>  | <b>93</b> |

## АНОТАЦІЯ

Ілик Олександр Миколайович. Аналіз ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінниця-млин». Магістерська кваліфікаційна робота. Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Вінниця: ВНТУ, 2019 - 98 с.

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання динамічної компенсації реактивної потужності ТОВ «Вінниця-млин».

Магістерська кваліфікаційна робота розроблена на основі даних, отриманих під час проходження практики на підприємстві.

В роботі розглянуті питання розрахунку електропостачання підприємства в цілому та одного з його цехів, вибір кількості і потужності трансформаторних підстанцій; вибір провідників, комутаційних апаратів тощо.

Науково-дослідна частина роботи присвячена аналізу ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності ТОВ «Вінниця-млин».

Розраховано основні техніко-економічні показники СЕП підприємства.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: електричні мережі, електропостачання, реактивна потужність.

Рисунків - 24

Таблиць - 24

Бібліографій – 22

## АННОТАЦИЯ

Илык Александр Николаевич. Анализ эффективности использования устройств динамической компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения Общества с ограниченной ответственностью «Винница-млын». Магистерская квалификационная работа. Специальность 141– Электроэнергетика, электротехника и электромеханика – Винница: ВНТУ, 2019–98 с.

В магистерской квалификационной работе рассмотрены вопросы динамической компенсации реактивной мощности ООО «Винница-млын».

Магистерская квалификационная работа выполнена на основании данных, полученных во время прохождения практики на предприятии.

В работе рассмотрены вопросы расчета электроснабжения предприятия в целом и одного из его цехов, выбор количества и мощности трансформаторных подстанций; выбор проводников, коммутационных аппаратов.

Научно-исследовательская часть работы посвящена анализу эффективности использования устройств динамической компенсации реактивной мощности ООО «Винница-млын».

Рассчитаны основные технико-экономические показатели системы электроснабжения.

Рассмотрены вопросы охраны труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: электрическая сеть, электроснабжение, реактивная мощность.

Рисунков - 24

Таблиц - 24

Библиографий – 22

## ВСТУП

Актуальність теми. Функціонування підприємства з точки зору його оптимальності в значній мірі залежить від правильного вибору та синтезу системи електропостачання підприємства. Тут актуальним є вибір раціональних систем живлення, сучасного електрообладнання, провідниково-кабельної продукції, підвищення надійності електропостачання, поліпшення використання існуючих мереж, зниження втрат активної енергії, уніфікація та індустріалізація будівництва нових об'єктів.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності ТОВ «Вінниця-млин», що забезпечується розробкою нової системи з застосуванням статичних тиристорних компенсаторів, де передбачена установка нового електрообладнання та розробкою ряду заходів, що поліпшують електричні режими.

Основними задачами при розрахунку системи електропостачання є:

- оптимізація шляхом вибору напруги, визначення електричних навантажень, дотримуючись вимог надійності системи електропостачання;
- задачі оптимального вибору числа і потужності трансформаторів, засобів компенсації реактивної потужності.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Вінниця-млин».

Предмет дослідження – підвищення якості електропостачання за рахунок покращення компенсації реактивної потужності в системі електропостачання підприємства.

Методи досліджень. У магістерській роботі використовуються загально прийняті методи розрахунку електричних мереж, моделювання в MATLAB Simulink.

Наукова новизна. Розроблено нову математичну модель пристрою КРП в мережі з частотно-керованими електроприводами. Впровадження компенсатора дозволить покращити якість електричної енергії та зменшить її втрати.

Практична цінність. Розроблені комп'ютерні моделі для компенсатора реактивної потужності з цифровими системами управління можуть бути



використані в організаціях, що займаються експлуатацією таких пристроїв з метою дослідження їх характеристик.

**Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.** Основні теоретичні положення й найвагоміші практичні результати виконаного дослідження було опубліковано в матеріалах Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020), де беруть участь працівники науково-дослідних організацій та інженерно-технічні працівники підприємств м. Вінниці та області у 2020 році. За результатами опубліковані тези доповідей [22].

## РОЗДІЛ 1

# ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИБОРІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТОВ «ВІННИЦЯ-МЛИН»

### 1.1 Характеристика технологічного процесу підприємства

ТОВ «Вінниця-млин» переробляє зерно пшениці, здійснює накопичення і перевалку більше 10 видів сільськогосподарської продукції (у тому числі насіння соняшнику, рапсу, гірчиці, льону, зерна пшениці продовольчої, фуражної пшениці і ячменю, проса, вівса, жита, шроту соняшнику і інших культур, а також гранульованих висівок), має всі можливості для доведення зерна до експортних кондицій.

Підприємство здатне приймати і відвантажувати продукцію автомобільним, залізничним, водним видами транспорту; виконувати очищення, сушку сировини, що поступає. Комбінат здійснює виробництво сортового пшеничного хлібопекарського борошна вищого і першого гатунків, а також макаронного борошна, манної крупи; надає послуги з гранулювання і перевалки висівок.

Млин оснащений технологічним устаткуванням, виготовленим за ліцензією швейцарської фірми "Бюлер". На млині також встановлена система автоматизованого управління технологічним процесом. Продуктивність млина складає 405 тонн за добу. Виробничі потужності здатні забезпечити річне споживання борошна в області.

Діє, також, цех гранулювання розсипних висівок. Продуктивність цеху складає 24 тонни за годину. Планується і надалі підвищення продуктивності даної ділянки.

Елеватор. Універсальне високотехнологічне устаткування елеватора дозволяє здійснювати одночасне приймання і відвантаження продукції на автомобільний, водний, залізничний види транспорту.

У підготовчому відділенні млина зерно відчищають від домішок і воно проходить водно-теплову обробку.

Зерно, що надійшло в підготовче відділення, автоматично зважують, а потім направляють на очищення.

Одна з основних зерноочисних машин підготовчого відділення - це сепаратор, у якому зерно очищається на ситах і повітряному потоці. Після очищення в сепараторах і трієрах у зерні ще залишаються невеликі фракції каменів, грудки землі, уламки скла, шматочки руди, черепашки, поєднані загальною назвою - мінеральні домішки. Як правило, у зерні міститься небагато таких домішок, наприклад 2—3 камінчики в кілограмі зерна. Незважаючи на порівняно невеликий вміст мінеральних домішок, вони різко погіршують якість готової продукції. Тому в зерні, що направляється в відділення помолу, не допускається наявність мінеральних домішок. На вітчизняних млинах зерно від мінеральних домішок очищають спочатку з великою продуктивністю, але при цьому разом з мінеральними домішками видаляють до 5% повноцінного зерна. Потім цю фракцію обробляють на іншій машині з меншою продуктивністю, де цілком розділяється зерно і мінеральні домішки. Очищене від мінеральних домішок зерно надходить на подальшу обробку, а фракція, що містить мінеральні домішки, — на другий етап очищення. Для цього застосовують порівняно невелику камневідділяючу машину. Основні камневідділяючі машини забезпечують продуктивність до 20 т/ч і виконані на зразок сепараторів шафового типу.

## 1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства та цеху

Електропостачання підприємства здійснюється на напрузі 10 кВ. Основними споживачами підприємства є електричні двигуни виробничих механізмів, що забезпечують потреби на усіх ланках технологічного процесу. Двигуни є асинхронні і живляться від РП.

Система електропостачання ТОВ «Вінниця-млин» містить також побутові

споживачі електроенергії і освітлювальне навантаження. Відомості про електричні навантаження ТОВ «Вінниця-млин» наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Відомості про електричні навантаження цехів підприємства

| № за генпланом | Споживачі               | Рн, кВт |
|----------------|-------------------------|---------|
| 1              | Склад готової продукції | 73      |
| 2              | Склад висівок           | 86      |
| 3              | Майстерня               | 152     |
| 4              | Вальцевий парк          | 302     |
| 5              | Бункера                 | 135     |
| 6              | Вагова автомобільна     | 71      |
| 7              | Вагова                  | 116     |
| 8              | Склад накопичення       | 65      |
| 9              | Адміністративна будівля | 42      |
| 10             | Прохідна                | 4       |
| 11             | Транспортер             | 41      |

Генплан підприємства представлено на рис. 1.1.

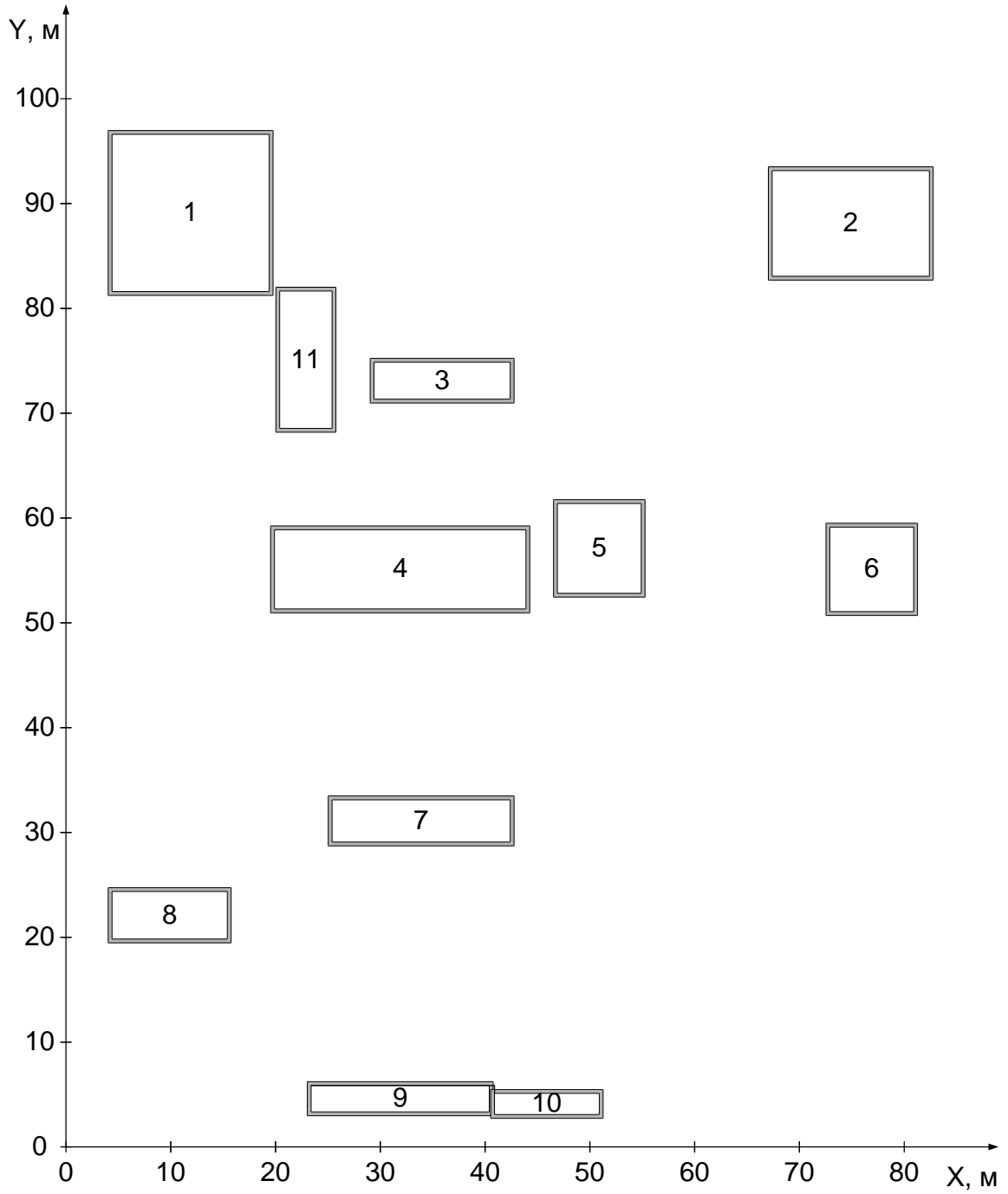


Рисунок 1.1 - Генплан підприємства

Нижче на рисунку 1.2 наведено план цеху з розташуванням технологічного обладнання.

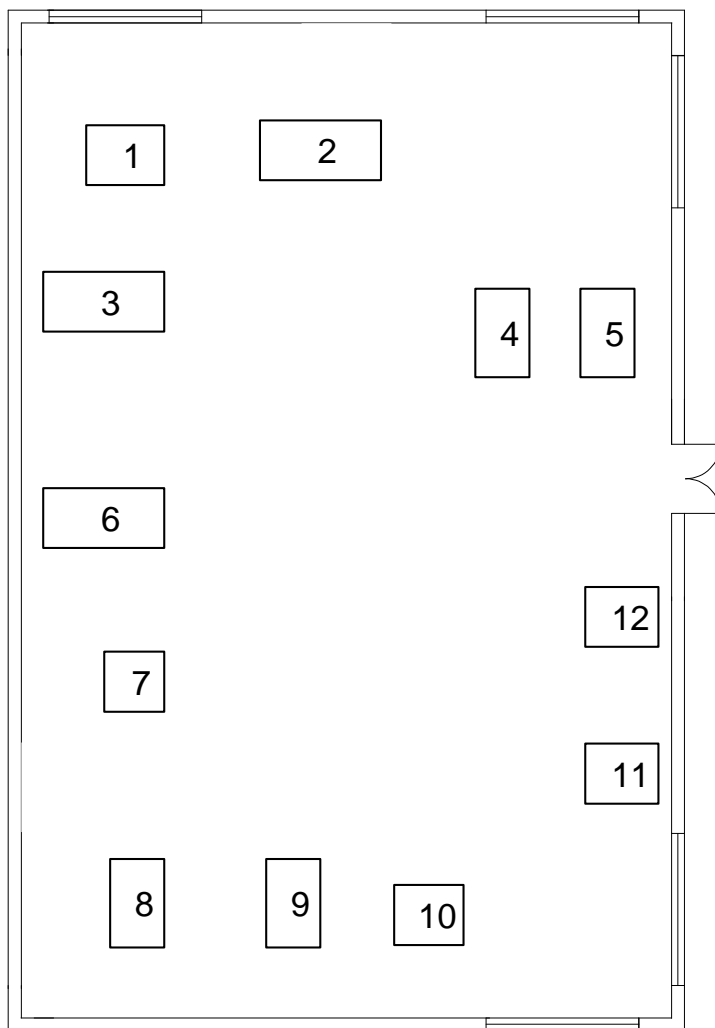


Рисунок 1.2- План цеху «Вальцевий парк»

Відомості про електроприймачі цеху наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Відомості про електричні навантаження цеху

| №  | ЕП                          | $P_n$ , кВт |
|----|-----------------------------|-------------|
| 1  | 1-осушувальна установка     | 44          |
| 2  | 2-осуш. установка           | 36          |
| 3  | 1-й шліфувальний верстат    | 30          |
| 4  | 1-а розмел.устан.           | 30          |
| 5  | 4-осуш. установка           | 22          |
| 6  | 5-осуш. установка           | 22          |
| 7  | 3-осуш. установка           | 22          |
| 8  | 2-а розмел.устан.           | 22          |
| 9  | 3-а розмел.устан.           | 15          |
| 10 | 4-а розмел.устан.           | 15          |
| 11 | 5-а розмелювальна установка | 22          |
| 12 | 6-а розмелювальна установка | 22          |

### 1.3 Стан використання реактивної потужності на підприємстві ТОВ «Вінниця-млин» та напрямки у його поліпшенні

Електроенергія – це товар, якість якого повинна відповідати вимогам стандартів. Нині споживача цікавлять три питання: якої якості електроенергію він купив і чи варта вона цих грошей (у тому розумінні, який збиток йому приносить кожне порушення якості електроенергії); на які цілі й у якій кількості він споживає електроенергію, яку купує, (раціонально чи ні); як грамотно керувати енергоспоживанням, щоб звести до мінімуму витрати електроенергії (у який момент і які навантаження варто відімкнути, щоб не перевищити ліміт споживання).

Як тільки споживач одержує достовірну інформацію про те, куди й скільки він витрачає кіловат-годин, його сумарне споживання знижується на 10–15%. Це тільки частина потенціалу енергозбереження, яку можна зреалізувати без великих витрат на модернізацію електромережі й устаткування.

Електричній мережі загалом потрібен баланс генерації й споживання активної й реактивної потужності. Основним нормативним показником підтримки балансу активної потужності в кожний момент часу є частота змінного струму, яка є загальносистемним критерієм. А основним нормативним показником підтримки балансу реактивної потужності в кожний момент часу є рівень напруги – місцевий критерій, що для кожного вузла навантаження й кожного щабля номінальної напруги істотно відрізняється. Тому на відміну від балансу активної потужності необхідно забезпечити баланс реактивної потужності не тільки загалом в енергосистемі, а й у вузлах навантаження. Підтримці цього балансу сприяє наявність в мережі таких основних пристроїв як синхронні компенсатори; конденсаторні батареї; статичні тиристорні компенсатори; компенсаційні перетворювачі та ін., а також допоміжні засоби компенсації, які крім компенсації реактивної потужності покращують показники якості електричної енергії. І від того, де і як «гуляє» реактивна потужність (РП)

по мережі, залежить багато чого, якщо не все. От чому необхідно серйозно відноситися до проблеми компенсації РП.

Нині, коли будівництво нових генеруючих потужностей дуже дороге й неможливе в короткий термін, актуальним стає максимальне використання діючих ЛЕП і трансформаторів, шляхом підвищення їхньої пропускної здатності за рахунок застосування різних пристроїв керованої компенсації РП.

Слід відзначити, що реактивний струм додатково завантажує високовольтні лінії й трансформатори, призводить до збільшення втрат активної (АП) і реактивної потужності (РП), впливає на рівень напруги в споживача. Велика величина РП у мережі призводить до несинусоїдальності напруги, з'являються додаткові втрати в мережі, електричних машинах і трансформаторах, скорочується термін роботи ізоляції кабелів і іншого устаткування, з'являються перешкоди й збої в роботі комп'ютерів, пристроїв автоматики, телемеханіки й зв'язку, виникають резонансні перенапруги в електричних мережах.

При компенсації РП відбувається зменшення споживання РП і повернення її в мережу. Внаслідок цього повна потужність  $S$ , споживана з мережі, практично вся використовується на корисну роботу.  $Q_1$  зменшується до значення  $Q_2$ .

Використання установок компенсації реактивної потужності (УКРП) дає змогу:

- розвантажити ЛЕП живлення, силові трансформатори й розподільні пристрої;
- поліпшити якість електроенергії в мережі;
- знизити витрати на оплату електроенергії й загальні витрати на енергоспоживання;
- підімкнути додаткове активне навантаження без збільшення потужності силового трансформатора й без збільшення перетину кабелю живлення;
- збільшити термін роботи електроустаткування;
- автоматично відслідковувати зміни навантаження й компенсації РП.

При вирішенні проблеми підвищення якості й надійності електропостачання підприємств і зниження енергоспоживання за допомогою



компенсації РП, виникають такі питання:

- чому в одній мережі конденсаторні установки працюють відмінно, дуже ощадно, а в іншій – неефективно;

- чому при їхньому використанні в деяких випадках виникають небажані наслідки;

- чому, вирішивши одну проблему, виникають інші.

Тож, аби зрозуміти суть процесів, що протікають у конкретній електромережі, потрібна достовірна технічна інформація. Для цього потрібно провести моніторинг параметрів електромережі. Потрібно визначити одночасно кілька десятків характеристик електромережі з інтервалом у частки секунди (струми, напруги, активні, реактивні й повні потужності по кожній фазі,  $\cos \phi$ , гармонійний склад мережі тощо).

Аналіз результатів вимірювань у різних ділянках системи електропостачання ТОВ «Вінниця-млин» дає змогу визначити устаткування, що впливає на якість електроенергії і генерує перешкоди, що можуть виводити з ладу комп'ютери й інше електронне устаткування.

Економічний ефект від використання УКРП виражається в значній економії енергоресурсів підприємств, зниженні витрат на ремонти й аварії, а також прямою вигодою у вигляді зниження плати за споживану електроенергію.

Таким чином можна зробити такий висновок: для енергосистем, промислових підприємств реактивна потужність завжди була й залишається неминучим атрибутом технологічного циклу споживання електроенергії, що впливає на його економічну ефективність. І тому використання такого потужного важеля впливу, як керування реактивною потужністю, – один з найбільш ефективних і малозатратних способів енергозбереження як в енергосистемах, так і в мережах підприємств і ЖКГ. І тому від того, як технічно грамотно буде вирішуватися це питання споживачами, з одного боку, і енергопостачальними організаціями, з іншого, буде залежати надійність всієї системи електропостачання.

В п. 2.5 даної роботи наводиться розрахунок компенсації реактивної потужності на ТОВ «Вінниця-млин» та проводиться перевірка ефективності встановлення засобів компенсації реактивної потужності.

В системі електропостачання ТОВ «Вінниця-млин» споживання реактивної потужності визначається особливістю технології, а також тим, що електричні мережі підприємства короткі і вартість втрат активної енергії від передачі по ним реактивної відносно невелика. Схеми електропостачання підприємства – радіальна з однією трансформацією напруги і містить декілька відхідних приєднань (рис. 2.3), від кожного з яких живиться декілька одночасно працюючих технологічних установок, а також інших приймачів електроенергії. Для отримання і реєстрації графіка реактивних навантажень здійснювалися разові заміри, які виконувалися один раз в годину. В проміжках часу між замірами вважається, що стан системи залишається незмінним, рис. 1.3.

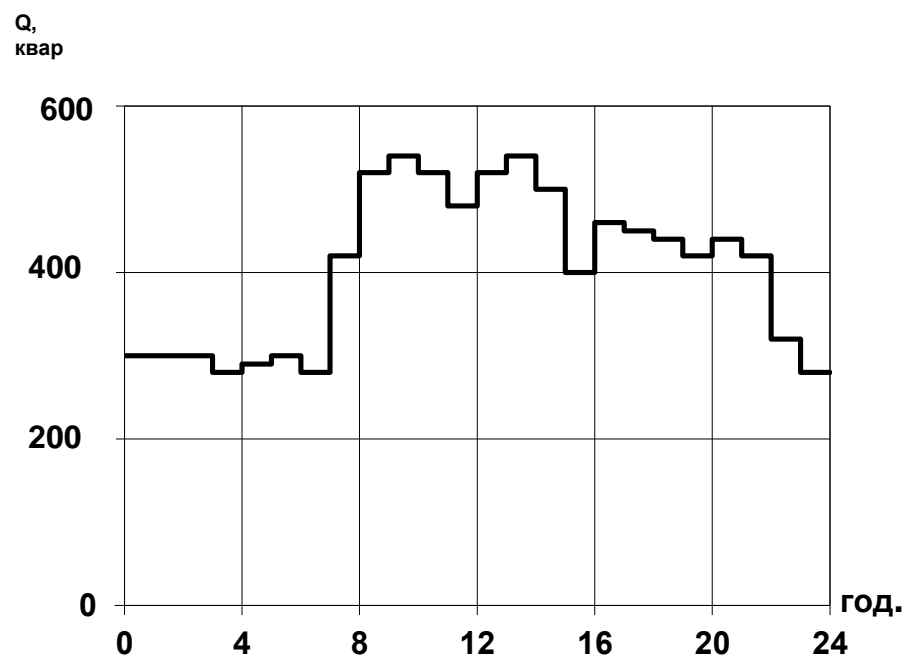


Рисунок 1.3 – Добовий графік реактивної потужності підприємства

Поширеними технічними засобами компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах є такі: синхронні компенсатори; синхронні двигуни; конденсаторні батареї; статичні конденсатори з тиристорним управлінням;

компенсаційні перетворюючі тощо. Присутність таких пристроїв в електричній мережі промислового підприємства сприяє підтримці балансу реактивної потужності і заданих рівнів напруги в вузлах їх приєднання. При цьому відомо два напрямки зменшення реактивних навантажень: зниження реактивного навантаження самого електроприймача або влаштування спеціальних компенсуювальних пристроїв. В останньому випадку задіюються сучасні джерела реактивної потужності.

В переважній частині випадків для керування електричними режимами в промислових системах електропостачання використовуються технічні засоби (оптимізуючі пристрої) дискретного управління (такі, що дозволяють здійснювати дискретні керуючі впливи на систему шляхом комутації окремих секцій). Серед таких пристроїв, що знайшли широке використання в промислових електромережах, є конденсаторні установки (КУ). Керовані параметри стану систем електроспоживання є динамічними, бо змінюються в часі, що дає підставу для формування задачі керування режимами електроспоживання у вигляді задачі оптимального управління [7].

Стрімкий розвиток напівпровідникової техніки обумовлює можливість створення технічно досконалих регульованих пристроїв управління реактивною потужністю. Їх поява зумовлена зокрема тим, що при комутаціях батарей конденсаторів (БК) звичайними вимикачами виникають систематичні кидки струму та з'являється перенапруга. Для обмеження цих явищ, практично їх усунення, в 60-х роках ХХ ст. у Московському енергетичному інституті були запропоновані способи, що дозволили знизити кидки струму при вмиканні БК і перенапруги при їх вимиканні. Це дозволило зняти обмеження за частотою комутацій БК і надати пристроям такі властивості, при яких їх стало можливо застосовувати в задачах компенсації реактивної потужності. Розробка статичних джерел реактивної потужності основана на базі пристроїв, здатних здійснювати обмін енергією з мережею. Тому реактор і конденсаторна батарея повинні бути основним устаткуванням статичного джерела реактивної потужності. Статичні тиристорні компенсатори мають можливість в безперервному режимі і

практично миттєво, відповідно до запитів мережі, вводить ємнісну або індуктивну складову, регулюючи напругу в лінії та підтримуючи необхідний рівень генерації реактивної потужності. Цей ефект був досягнутий за рахунок застосування замість звичайних вимикачів тиристорних ключів, що забезпечують комутацію БК в певний момент часу.

Споживачі реактивної потужності на підприємстві ТОВ «Вінниця-млин» - це переважно асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором, характерним для яких є істотне збільшення споживання активної та реактивної потужностей, а також струму під час пуску. Дослідженню пускових режимів АД присвячені зокрема роботи [9, 10, 11]. Коефіцієнт завантаження  $i$ -го двигуна по активній потужності

$$\beta_i = \frac{P_i}{P_{ном.i}}$$

може змінюватись в інтервалі для таких характерних режимів:

- 1) неробочий хід двигуна;
- 2) номінальне навантаження двигуна  $\beta_{ном} = 1$ ;
- 3) максимальне навантаження двигуна  $\beta_{max} = 1,8$ .

Водночас, коефіцієнт завантаження двигуна по реактивній потужності

$$\alpha_i = \frac{Q_i}{Q_{ном.i}}$$

змінюється в порівняно вузьких межах  $\alpha_{max} = 1,2$  [8].

Значення активної та реактивної потужностей і струму АД можна визначити за спрощеними формулами

$$P = \frac{U^2 \frac{R_r}{s}}{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X^2}; \quad Q = \frac{U^2 X}{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X^2}; \quad I = \frac{U / \sqrt{3}}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X^2}},$$

де  $U$  – напруга живлення;

$R_r$  – опір ротора;

$X = X_s + X_r$  – сумарний опір статора і ротора двигуна;

$s$  – ковзання ротора.

Питання щодо параметрів режиму, які з'являються в системі під час пуску АД, їх покращення з використанням індивідуальної компенсації реактивної потужності досить докладно висвітлені в [8]. Автори пропонують для підвищення ефективності процесів електроспоживання АД під час їх пуску та в різкозмінних режимах навантаження застосовувати пристрої регулювання реактивної потужності, принцип дії яких оснований на використанні спектральних пасивних параметрів. Процеси електроспоживання асинхронних двигунів (АД) під час їх пуску характеризуються значним споживанням реактивної потужності (рис. 1.4). В різкозмінних режимах навантаження реактивна потужність залишається практично незмінною (рис. 1.5), але внаслідок коливань активної потужності коефіцієнти потужності змінюються в широких межах (рис. 1.6).

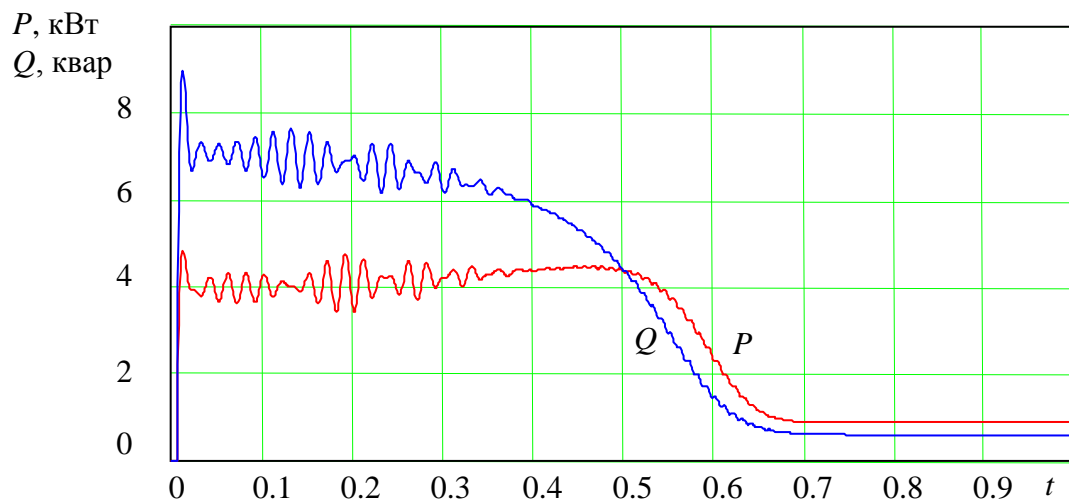


Рисунок 1.4 - Залежності поточних значень активної і реактивної потужностей під час пуску АД

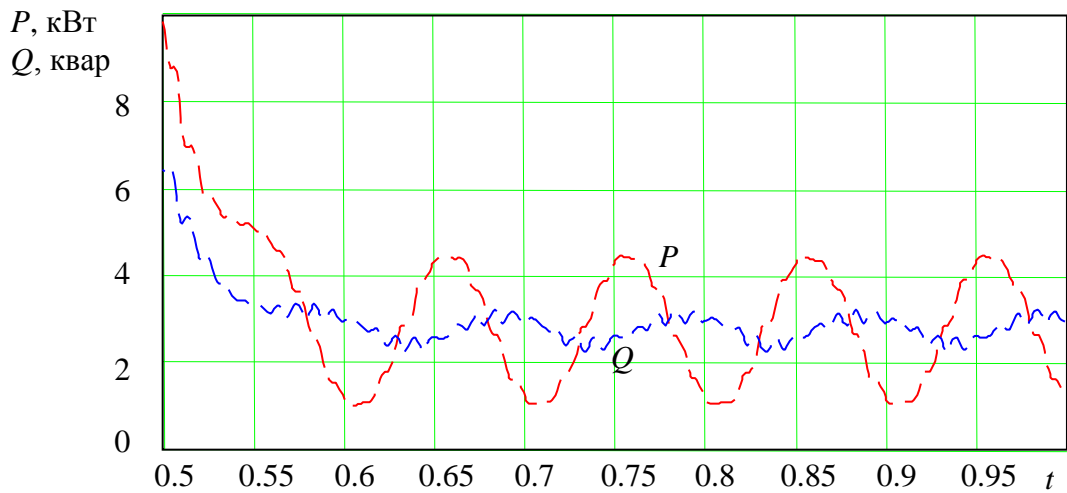


Рисунок 1.5 - Залежності поточних значень активної і реактивної потужностей під час різкозмінного режиму навантаження АД

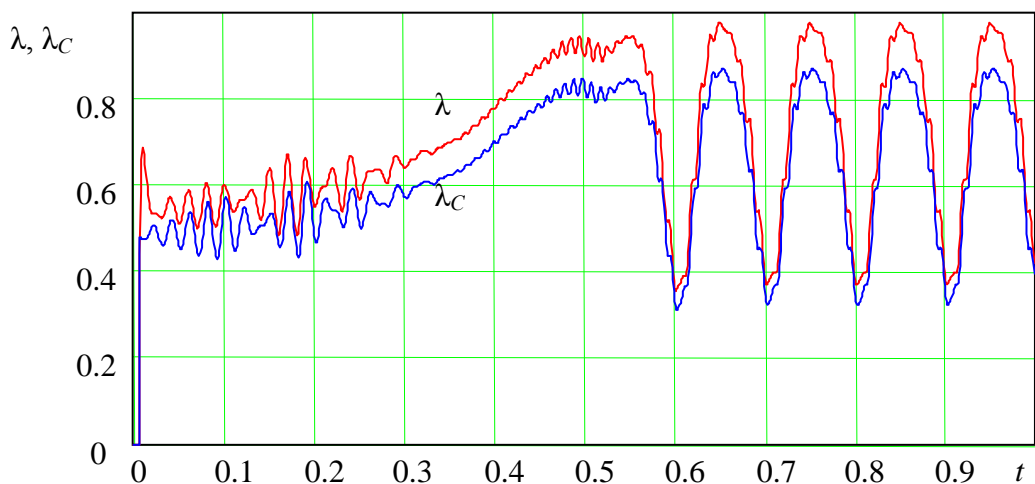


Рисунок 1.6 - Залежність поточних значень коефіцієнта потужності під час пуску та різкозмінного режиму навантаження АД

Реактивна потужність, яка генерується у разі керування пристроями динамічної компенсації за провідністю

$$b_C = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u(t) H\{i(t)\} dt}{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \frac{-\frac{1}{T} \int_0^T i(t) H\{u(t)\} dt}{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

забезпечує повну компенсацію реактивної потужності в пускових режимах АД.

За останні роки асинхронний регульований електропривод зазнав істотних змін, витіснивши з багатьох галузей виробництва традиційний привод постійного струму а також синхронний привод. Частотне керування приводом стало свого роду технічним стандартом. Регульований електропривод є також невід'ємним елементом системи енергозбереження.

Практично вийшли з використання такі способи регулювання асинхронного приводу: зміною числа пар полюсів, введенням додаткових опорів у коло ротора, зміною напруги живлення двигуна тощо. Таке широке розповсюдження частотно-керований привод отримав завдяки досягненням у області силової електроніки і мікропроцесорної техніки. Саме на основі силових транзисторів з ізольованим затвором побудовані сучасні перетворювачі частоти (ПЧ) напругою до 1000 В. Таке поєднання асинхронного двигуна та ПЧ дало змогу отримати високі енергетичні та динамічні показники регулювання приводу.

ПЧ керує електричним двигуном і являє собою електронний статичний пристрій. На виході перетворювача формується електрична напруга зі змінною амплітудою і частотою (рис. 1.7).

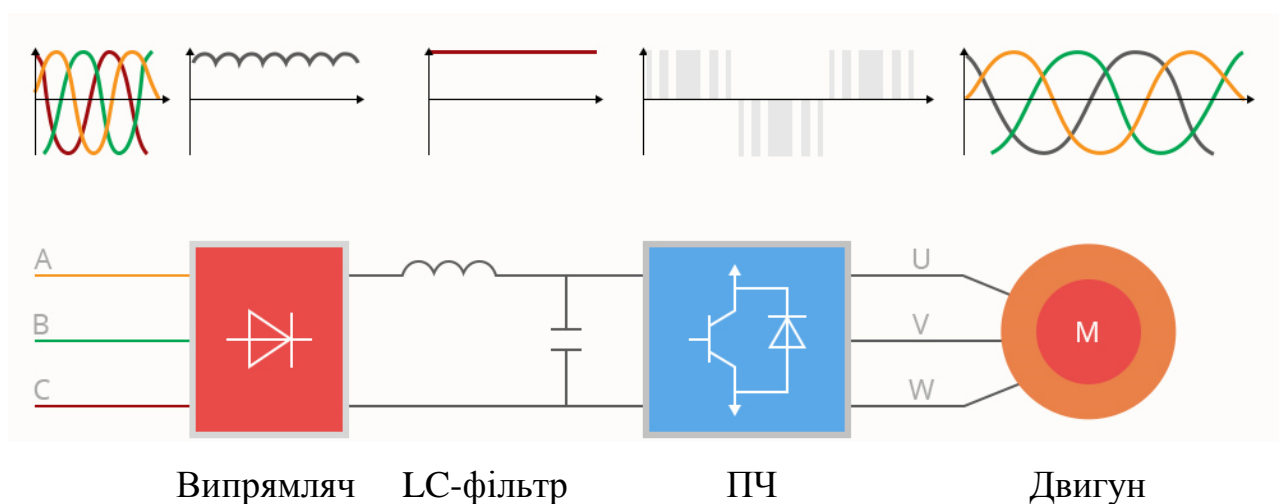


Рисунок 1.7 – Схема частотно-керованого електропривода

Загальний вигляд одного з таких електроприводів, які застосовуються на підприємстві «Вінниця-млин», зображено на рис. 1.8.

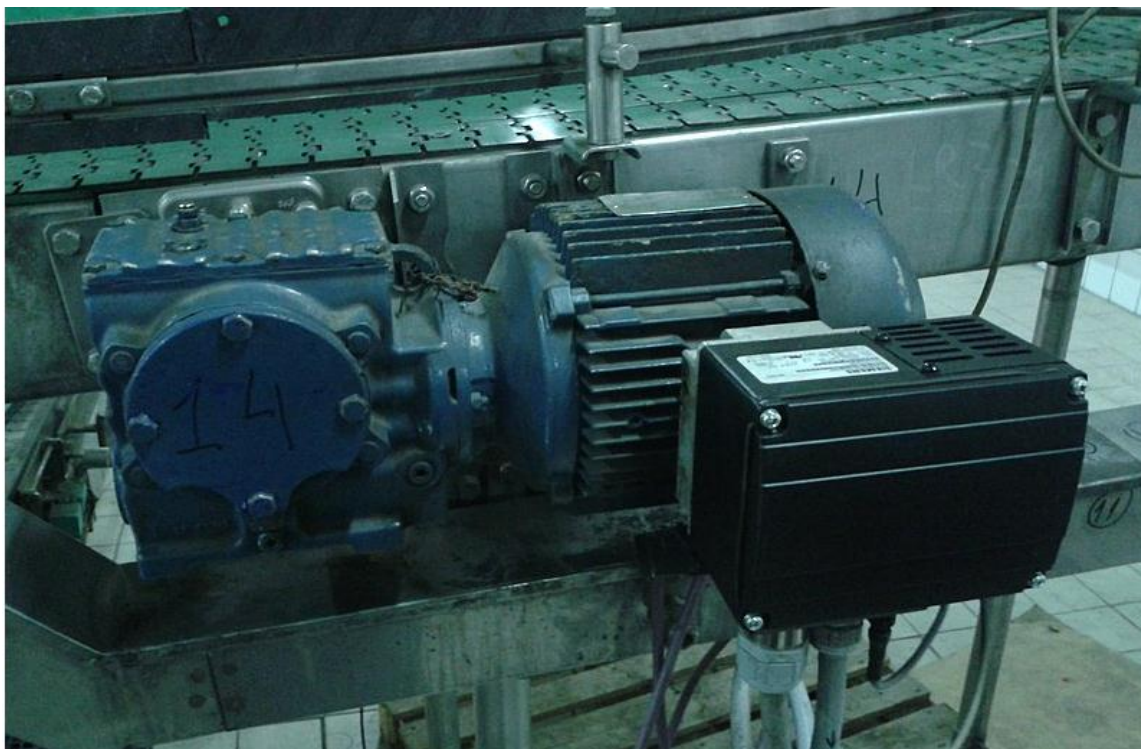


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд частотно-регульованого електропривода

Слід відзначити, що в даний час підвищений інтерес викликають асинхронні електропривода, виконані на основі автономного інвертора струму з широтно-імпульсною модуляцією. Це пов'язано з істотними перевагами даного типу асинхронного електропривода, основними з яких є: по-перше, - технічна простота реалізації режиму рекуперації енергії в живильну мережу, по-друге, - формування статорних напруг з малою амплітудою перепаду і зменшеною крутизною фронтів (в порівнянні з широко поширеними асинхронними електроприводами на основі автономного інвертора напруги з широтно-імпульсною модуляцією).

ТОВ «Вінниця-млин», на якому застосовуються сучасні ефективні технології переробки зерна, нове електрообладнання та поряд з цим присутні компенсуючі пристрої на основі нерегульованих конденсаторних батарей, що не дає можливості отримати максимальний ефект від компенсації реактивної потужності, не враховуються на підприємстві також і особливості роботи



частотно-керованого електропривода з врахуванням динамічної компенсації реактивної потужності в пускових режимах .

Подальший розгляд сучасних засобів компенсації реактивної потужності, аналіз їхніх переваг і недоліків а також пристроїв для динамічної компенсації реактивної потужності в пускових режимах електроприводів, дослідження частотно-керованого електропривода з допомогою моделі в середовищі MATLAB з використанням програми Simulink виконано тут в п. 3.2.

## РОЗДІЛ 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

#### 2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

Складний комплекс технічних та економічних питань, що виникають при розробці електропостачання сучасного промислового підприємства вимагає таких вхідних даних як електричні навантаження, їх визначення виконується з метою вибору та перевірки струмоведучих елементів і трансформаторів по нагріву та економічним міркуванням, розрахунку відхилень та коливань напруги, вибору компенсуючих та захисних пристроїв, тощо та складає перший етап розробки будь якої системи електропостачання.

#### 2.1 Розрахунок навантажень підприємства

Розрахункові максимальні відповідно активне і реактивне навантаження підприємства визначають з виразів

$$P_M = k_o \left[ \left( \sum_{k=1}^N P_{Mk} + P_{зц..Mk} \right) + \sum_{n=1}^M P_{зз..Mn} \right];$$

$$Q_M = k_o \left[ \left( \sum_{k=1}^N Q_{Mk} + Q_{зц..Mk} \right) + \sum_{n=1}^M Q_{зз..Mn} \right],$$

де  $P_{Mk}$ ,  $Q_{Mk}$  – розрахункові максимальні відповідно активне і реактивне навантаження  $k$ -х ТП або цеху;

$N$  – число ТП або цехів;

$P_{зц.м_k}, Q_{зц.м_k}$  – розрахункові максимальні відповідно активне і реактивне навантаження загальноцехового ЕП високої напруги 10 кВ в  $k$ -му цеху, який приєднаний безпосередньо до РП 10 кВ.

$k_0$  – коефіцієнт одночасності максимумів навантаження;

$P_{зз.м_n}, Q_{зз.м_n}$  – розрахункові максимальні відповідно активне і реактивне навантаження загальнозаводського ЕП, що приєднаний безпосередньо до ГПП, ПГВ.

Максимальні навантаження цехів можуть бути визначені за формулами

$$P_M = P_{M.C} + P_{M.O};$$

$$Q_M = Q_{M.C} + Q_{M.O},$$

де  $P_{M.C}, Q_{M.C}$  – відповідно активна та реактивна потужності силових споживачів цеху;

$P_{M.O}, Q_{M.O}$  – відповідно активна та реактивна потужності освітлювальних ЕП цеху.

В свою чергу активна та реактивна потужності силових споживачів цеху визначаються за методом коефіцієнта попиту

$$P_{M.C} = k_n \cdot P_n;$$

$$Q_{M.C} = P_{M.C} \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

де  $k_n$  – коефіцієнт попиту [1, 2];

$P_n$  – номінальна потужність усіх силових споживачів цеху;

$\operatorname{tg}\varphi$  – коефіцієнт реактивної потужності усіх силових споживачів цеху.

Активна та реактивна потужності освітлювальних ЕП цеху визначаються за формулами, відповідно

$$P_{м.о} = k_{н.о} \cdot k_{пра} \cdot P_o \cdot F;$$

$$Q_{м.о} = P_{м.о} \cdot tg\varphi_o,$$

де  $k_{н.о}$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження [1,3];

$k_{пра}$  – коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі [1];

$P_o$  – питома потужність освітлення [3];

$F$  – площа приміщення;

$tg\varphi_o$  – коефіцієнт реактивної потужності освітл. навантаження [4].

Приклад розрахунку навантаження майстерні (цех №3).

$$P_{м.с} = 0,6 \cdot 152 = 91,2 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{м.с} = 91,2 \cdot 0,62 = 56,52 \text{ (квар)};$$

$$P_{м.о} = 0,9 \cdot 1,2 \cdot 0,015 \cdot 91 = 1,47 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{м.о} = 1,47 \cdot 1,33 = 1,97 \text{ (квар)};$$

$$P_{м} = 91,2 + 1,47 = 92,67 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{м} = 56,52 + 1,97 = 58,49 \text{ (квар)};$$

$$S_{м} = \sqrt{92,67^2 + 58,49^2} = 109,59 \text{ (кВА)}.$$

Аналогічно здійснюються розрахунки навантажень усіх цехів. Результати розрахунків подано в таблиці 2.1.

Сума усіх розрахункових активних потужностей підприємства складає 652,17 кВт, а сума усіх розрахункових реактивних потужностей підприємства – 458,42 квар. Середній коефіцієнт використання на підприємстві  $k_{в.сер} = 0,495$ , а кількість приєднань на збірних шинах РП 10 кВ дорівнює 2 (оскільки на підприємстві попередньо прогнозується живлення цехів від двох трансформаторів, які відповідно мають 2 високовольтні вводи від РП 10 кВ). В такому випадку за таблицею [1] вибирається коефіцієнт одночасності максимумів навантаження  $k_o = 0,95$ .

Виходячи з поданих вище даних, розрахункові максимальні відповідно активне і реактивне та повне навантаження підприємства:

$$P_{м} = 0,95 \cdot 686,49 = 652,17 \text{ (кВт)};$$

$$Q_M = 0,95 \cdot 458,42 = 435,50 \text{ (квар)};$$
$$S_M = \sqrt{652,17^2 + 435,50^2} = 784,21 \text{ (кВА)}.$$

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантажень підприємства

| №  | ЕП                      | Силове навантаження |       |      |       |      |         |          |      |      |       | Освітлювальне навантаження |       |           |         |          |        |         |        |  |  | Всього |  |  |
|----|-------------------------|---------------------|-------|------|-------|------|---------|----------|------|------|-------|----------------------------|-------|-----------|---------|----------|--------|---------|--------|--|--|--------|--|--|
|    |                         | Рн,кВт              | кв    | кп   | cosfc | tgfc | Рмс,кВт | Qмс,кВАр | Кпо  | Кпра | Ро    | Г,м                        | cosfo | tgfo      | Рмо,кВт | Qмо,кВАр | Рм,кВт | Qм,кВАр | Sm,кВА |  |  |        |  |  |
| 1  | Склад готової продукції | 73                  | 0,45  | 0,5  | 0,9   | 0,48 | 36,5    | 17,68    | 0,6  | 1,1  | 0,012 | 225                        | 1     | 0,00      | 1,78    | 0,00     | 38,28  | 17,68   | 42,17  |  |  |        |  |  |
| 2  | Склад висвіок           | 86                  | 0,45  | 0,5  | 0,9   | 0,48 | 43      | 20,83    | 0,6  | 1,1  | 0,012 | 300                        | 1     | 0,00      | 2,38    | 0,00     | 45,38  | 20,83   | 49,93  |  |  |        |  |  |
| 3  | Майстерня               | 152                 | 0,54  | 0,6  | 0,85  | 0,62 | 91,2    | 56,52    | 0,9  | 1,2  | 0,015 | 91                         | 0,6   | 1,33      | 1,47    | 1,97     | 92,67  | 58,49   | 109,59 |  |  |        |  |  |
| 4  | Вальцевий парк          | 302                 | 0,72  | 0,8  | 0,8   | 0,75 | 241,6   | 181,20   | 0,9  | 1,2  | 0,015 | 360                        | 0,6   | 1,33      | 5,83    | 7,78     | 247,43 | 188,98  | 311,34 |  |  |        |  |  |
| 5  | Бункера                 | 135                 | 0,68  | 0,75 | 0,85  | 0,62 | 101,25  | 62,75    | 0,6  | 1,1  | 0,012 | 136                        | 1     | 0,00      | 1,08    | 0,00     | 102,33 | 62,75   | 120,03 |  |  |        |  |  |
| 6  | Вагова автомобільна     | 71                  | 0,36  | 0,4  | 0,8   | 0,75 | 28,4    | 21,30    | 0,9  | 1,2  | 0,015 | 128                        | 0,6   | 1,33      | 2,07    | 2,76     | 30,47  | 24,06   | 38,83  |  |  |        |  |  |
| 7  | Вагова                  | 116                 | 0,36  | 0,4  | 0,8   | 0,75 | 46,4    | 34,80    | 0,9  | 1,2  | 0,015 | 136                        | 0,6   | 1,33      | 2,20    | 2,94     | 48,60  | 37,74   | 61,53  |  |  |        |  |  |
| 8  | Склад накопичення       | 65                  | 0,45  | 0,5  | 0,8   | 0,75 | 32,5    | 24,38    | 0,6  | 1,1  | 0,012 | 99                         | 1     | 0,00      | 0,78    | 0,00     | 33,28  | 24,38   | 41,25  |  |  |        |  |  |
| 9  | Адміністративна будівля | 42                  | 0,54  | 0,6  | 0,9   | 0,48 | 25,2    | 12,20    | 0,85 | 1,35 | 0,021 | 85                         | 1     | 0,00      | 2,05    | 0,00     | 27,25  | 12,20   | 29,86  |  |  |        |  |  |
| 10 | Прохідна                | 4                   | 0,54  | 0,6  | 0,9   | 0,48 | 2,4     | 1,16     | 0,85 | 1,35 | 0,021 | 40                         | 1     | 0,00      | 0,96    | 0,00     | 3,36   | 1,16    | 3,56   |  |  |        |  |  |
| 11 | Транспортер             | 41                  | 0,36  | 0,4  | 0,85  | 0,62 | 16,4    | 10,16    | 0,6  | 1,1  | 0,012 | 130                        | 1     | 0,00      | 1,03    | 0,00     | 17,43  | 10,16   | 20,18  |  |  |        |  |  |
|    | Всього                  | 1087                | 0,495 |      |       |      | 664,85  | 442,9795 |      |      |       | 1730                       |       | 21,643988 | 15,44   | 652,17   | 435,50 | 784,21  |        |  |  |        |  |  |

## 2.2 Визначення кількості та потужності цехових ТП

Потужність і число цехових ТП істотно впливають на техніко-економічні показники як заводської, так і цехових мереж.

Номінальну потужність цехових ТП вибираємо за питомою густиною навантаження на  $1 \text{ м}^2$  площі цеху

$$S_{num} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}},$$

де  $S_{\Sigma}$  – сумарне навантаження цехів при напрузі 0,38 кВ;

$F_{\Sigma}$  – загальна площа цих цехів.

Інтервали економічних потужностей трансформаторів [1]:

$$S_{ном.т.} = \begin{cases} 630, 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{num} < 0,2 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2; \\ 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{num} = 0,2 \div 0,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2; \\ 2500 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{num} = 0,3 \div 0,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2. \end{cases}$$

Кількості трансформаторів в цехових ТП вибираються, виходячи із категорії надійності електропостачання підприємства, а також за такими рекомендаціями: при  $S_{num} < 0,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$  більш раціональним є використання однострансформаторних ТП, а при  $S_{num} > 0,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$  доцільно застосовувати двотрансформаторні підстанції незалежно від категорії надійності електропостачання.

Після визначення потужності трансформаторів і кількості трансформаторів цехових ТП, визначається економічне число однострансформаторних підстанцій за формулою

$$N_{ек} \geq \frac{S_{\Sigma}}{S_{ном.т.}},$$

а двотрансформаторних – за формулою

$$N_{ек} \geq \frac{S_{\Sigma}}{2 \cdot S_{ном.т.} \cdot k_3},$$

де  $k_3 = 0,7 - 0,75$  – при переважанні споживачів I категорії;

$k_3 = 0,8 - 0,85$  – при переважанні споживачів II, III категорій;

На основі вище приведених тверджень проведемо розрахунки по вибору кількості і потужності трансформаторів цехових ТП.

Визначимо сумарну повну розрахункову потужність всіх цехів, електричне обладнання яких живиться на напрузі 0,4 кВ

$$S_{\Sigma} = \sum S_{mk} = 828,27 \text{ (кВА)}.$$

Визначимо загальну площу всіх цехів, електричне обладнання яких живиться на напрузі 0,4 кВ

$$F_{\Sigma} = \sum F_{mk} = 1730 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Питома густина навантаження на 1 м<sup>2</sup> площі

$$S_{num} = \frac{828,27}{1730} = 0,48 \text{ (кВ} \cdot \text{А/м}^2\text{)}.$$

Згідно поданих вище рекомендацій, оскільки  $S_{num} = 0,48 > 0,4$  кВ·А/м<sup>2</sup>, доцільно застосовувати двотрансформаторні підстанції.

Отже, можна вибрати двотрансформ. підстанції з  $S_{ном.т.} = 630$  чи 1000 кВА.



Визначаємо економічне число двотрансформаторних підстанцій. Розглянемо два варіанти:

1. При  $S_{ном.т.} = 630$  кВА, враховуючи, що підприємство належить до споживачів II категорії з надійності електропостачання, число ТП

$$N_{ек} \geq \frac{828,27}{2 \cdot 630 \cdot (0,8 - 0,85)} = 0,82 \div 0,77 \text{ (шт.)},$$

2. При  $S_{ном.т.} = 1000$  кВА число ТП

$$N_{ек} \geq \frac{828,27}{2 \cdot 1000 \cdot (0,8 - 0,85)} = 0,52 \div 0,49 \text{ (шт.)}$$

Отже, можливе необхідно встановити одно трансформаторну підстанцію з потужностями трансформаторів 630 кВА, або 1000 кВА.

Розподілимо трансформаторні підстанції між цехами і визначимо їх фактичний коефіцієнт завантаження. Дані розрахунку приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

| Варіант 1 |                         |          |                | Варіант 2 |                         |          |                |
|-----------|-------------------------|----------|----------------|-----------|-------------------------|----------|----------------|
| Цех       | S <sub>м</sub> ,<br>кВА | 630 кВА  |                | Цех       | S <sub>м</sub> ,<br>кВА | 1000 кВА |                |
|           |                         | N,<br>шт | k <sub>з</sub> |           |                         | N,<br>шт | k <sub>з</sub> |
| 1-11      | 828,27                  | 2        | 0,66           | 1-11      | 828,27                  | 2        | 0,41           |

Для визначення найкращого варіанту трансформатора необхідно провести техніко-економічне порівняння двох запропонованих варіантів.

### 2.3 Визначення координат розміщення ТП

Для визначення місця розташування ТП побудуємо картограму навантажень і визначимо центр електричних навантажень підприємства. Картограму навантажень будуємо на кресленні генерального плану підприємства. Навантаження кожного з цехів зображаємо кругом, площа якого пропорційна розрахунковій активній потужності

$$P_{mk} = \pi r_k^2 m_P,$$

де  $r_k$  – радіус круга;

$m_P$  – масштаб побудови.

Вибираємо масштаб побудови картограми навантажень: прийmemo радіус круга навантаження бункера (цех №5) 15 м, тоді масштаб побудови визначаємо:

$$m_P = \frac{P_{M5}}{\pi \cdot r_5^2} = \frac{102,33}{3,14 \cdot 15^2} = 0,14 \text{ (кВт/м}^2\text{)}.$$

Далі визначаються радіуси кругів навантажень при даному масштабі. Наприклад радіус круга для складу готової продукції (цех №1):

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{M1}}{\pi \cdot m_P}} = \sqrt{\frac{38,28}{3,14 \cdot 0,14}} = 9,17 \text{ (м)}.$$

Кут сектору освітлювального навантаження для складу готової продукції:

$$\alpha_1 = \frac{360 \cdot P_{Mo}}{P_M} = \frac{360 \cdot 1,78}{38,28} = 16,76^\circ.$$

Розрахунки по інших цехах зводимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Дані для побудови картограми навантажень

| №  | ЕП                      | х  | у   | Р <sub>мо,кВт</sub> | Р <sub>м,кВт</sub> | гк, м | α <sub>к</sub> , ° |
|----|-------------------------|----|-----|---------------------|--------------------|-------|--------------------|
| 1  | Склад готової продукції | 12 | 89  | 1,78                | 38,28              | 9,17  | 16,76              |
| 2  | Склад висівок           | 75 | 88  | 2,38                | 45,38              | 9,99  | 18,85              |
| 3  | Майстерня               | 36 | 73  | 1,47                | 92,67              | 14,27 | 5,73               |
| 4  | Вальцевий парк          | 32 | 55  | 5,83                | 247,43             | 23,33 | 8,49               |
| 5  | Бункера                 | 51 | 57  | 1,08                | 102,33             | 15,00 | 3,79               |
| 6  | Вагова автомобільна     | 77 | 55  | 2,07                | 30,47              | 8,19  | 24,50              |
| 7  | Вагова                  | 34 | 31  | 2,20                | 48,60              | 10,34 | 16,32              |
| 8  | Склад накопичення       | 10 | 22  | 0,78                | 33,28              | 8,55  | 8,48               |
| 9  | Адміністративна будівля | 32 | 4,5 | 2,05                | 27,25              | 7,74  | 27,06              |
| 10 | Прохідна                | 46 | 4   | 0,96                | 3,36               | 2,72  | 103,16             |
| 11 | Транспортер             | 23 | 75  | 1,03                | 17,43              | 6,19  | 21,27              |

Координати центра електричних навантажень (ЦЕН) знаходять за формулами

$$x_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_{mk} x_k}{\sum_{k=1}^N P_{mk}}, \quad y_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_{mk} y_k}{\sum_{k=1}^N P_{mk}},$$

де  $x_k$ ,  $y_k$  – координати геометричних центрів об'єктів на генплані підприємства. Отже

$$x_0 = \frac{38,28 \cdot 12 + \dots + 17,43 \cdot 23}{38,28 + \dots + 17,43} = 38,01 \text{ (м);}$$

$$y_0 = \frac{38,28 \cdot 89 + \dots + 17,43 \cdot 75}{38,28 + \dots + 17,43} = 54,86 \text{ (м)}.$$

Враховуючи те, що центр електричних навантажень співпадає з цехом №4, то, з урахуванням зручності прокладення живлячої кабельної лінії встановлюємо ТП в місці з координатами

$$x_0 = 17 \text{ (м)};$$

$$y_0 = 48,5 \text{ (м)}.$$

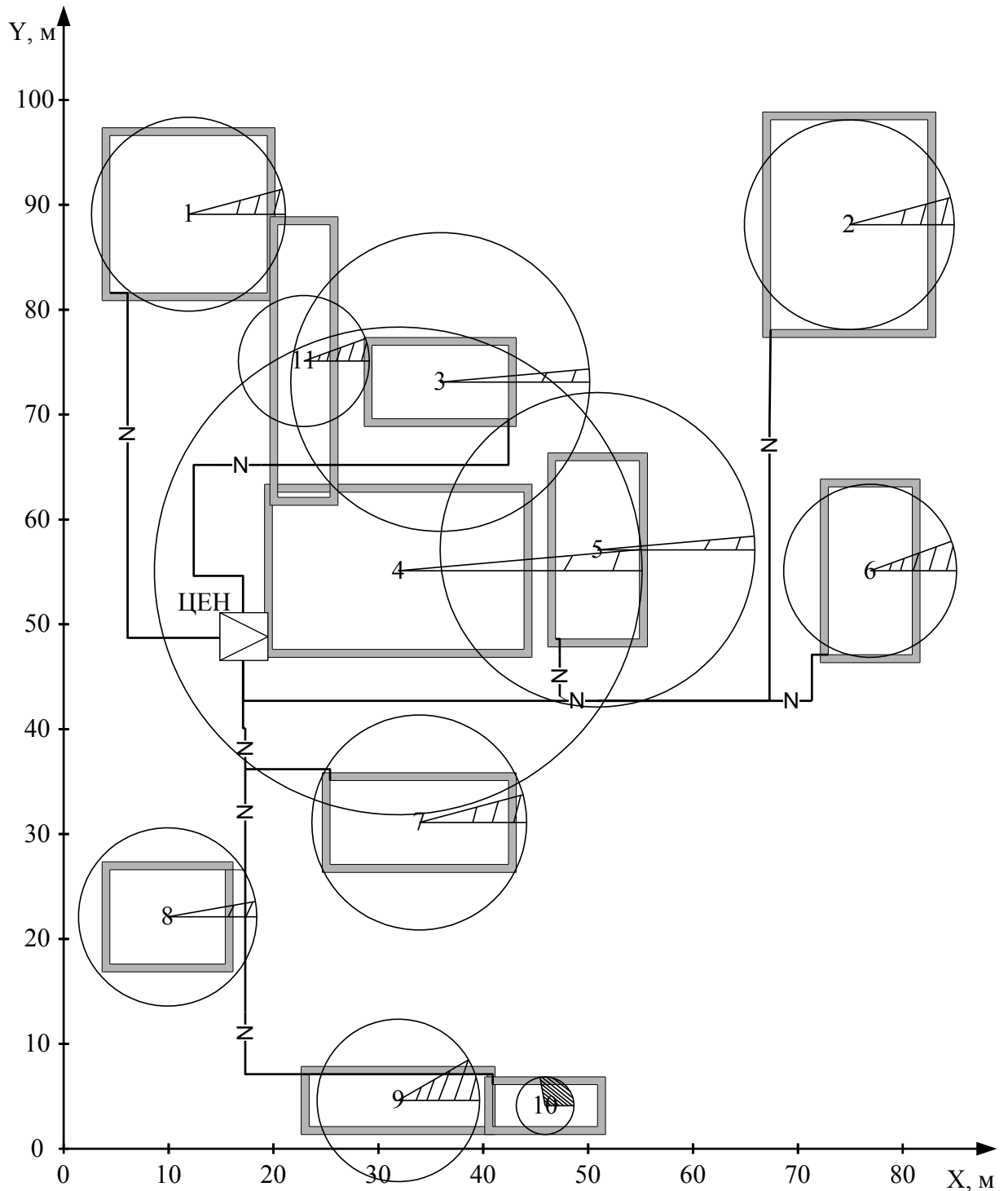


Рисунок 2.1 – Картограма навантажень підприємства

#### 2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

Підприємство ТОВ "Вінниця-млин" має невелику потужність 0,65 МВт, що менше ніж 5 МВт. В такому випадку [1] воно може отримувати електроенергію

на напрузі 10 кВ. До того ж на підстанції кондитерської фабрики "Рошен", що розташована неподалік, є наявність вільних потужностей на вказаній напрузі.

В попередньому п. 2.3 було запропоновано два варіанти трансформаторів в трансформаторній підстанції підприємства. Параметри трансформаторів подано в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Параметри трансформаторів

| $S_{н.тр}$ , кВА | $U_{н.т}$ , кВ | $\Delta P_{xx}$ , кВт | $\Delta P_k$ , кВт | $I_{xx}\%$ | $U_k\%$ |
|------------------|----------------|-----------------------|--------------------|------------|---------|
| 630              | 10             | 1,5                   | 8                  | 2,5        | 5,5     |
| 1000             | 10             | 2,1                   | 10,5               | 1,4        | 6       |

Схема електропостачання є радіальною. Від РП 10 кВ ВАТ "Рошен" є можливість заживлення підстанції підприємства. Виконаємо порівняння варіантів спорудження двотрансформаторних підстанцій потужністю 630 кВА і 1000 кВА методом зведених річних витрат (рисунок 2.2).

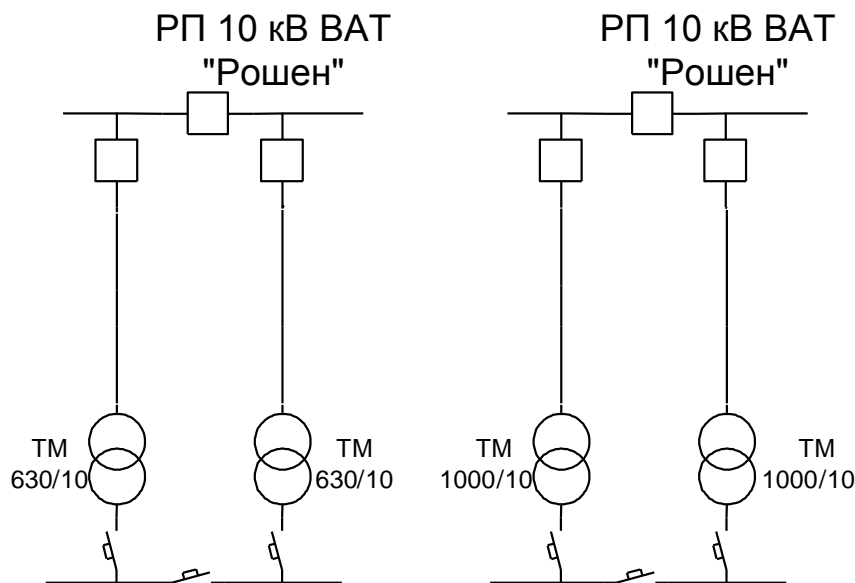


Рисунок 2.2 – Варіанти схем внутрішньозаводського електропостачання

Для найкращого варіанта ТП є найменші приведені витрати, що визначаються за формулою:

$$B_{np} = (E_n + E_a)K + m\Delta P + Z_{пер},$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт відрахувань (0,1);

$E_a$  – коефіцієнти амортизаційних відрахувань ( $E_a = 0,063$  [1]);

$K$  – капітальні вкладення, грн;

$m$  – питома вартість річних втрат активної потужності, грн/кВт;

$\Delta P$  – втрати потужності в трансформаторах, кВт;

$Z_{пер}$  – математичне сподівання збитків від перерви електропостачання.

Оскільки на підприємстві проектується двотрансформаторна підстанція, то збитки від переривання електропостачання не передбачаються.

Втрати потужності в трансформаторах визначаються за формулою:

$$\Delta P_{тр} = n \cdot \Delta P_{хх} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \left( \frac{S_M}{S_{ном.т.}} \right)^2 \text{ [кВт]},$$

де  $\Delta P_{хх}$  – втрати холостого ходу трансформаторів ТП, кВт;

$\Delta P_{кз}$  – втрати короткого замикання трансформаторів ТП, кВт;

$n$  – кількість трансформаторів в ТП.

Вартість річних втрат потужності визначають за діючими тарифами

$$m = t \cdot \tau,$$

де  $t$  – тариф за електроенергію, грн/кВт·год;

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \text{ – час максимальних втрат, год, (тут } T_M = \frac{\sum P_j t_j}{P_M}$$

– час використання максимуму навантаження (год), або ж визначається за таблицею 2.25 [1], в залежності від кількості змін роботи підприємства).

Враховуючи, що  $t=2,5$  грн/кВт·год, а  $T_M=3000$  (двозмінний графік роботи), питома вартість річних втрат активної потужності

$$m = 2,5 \cdot \left( 0,124 + \frac{3000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 787,42 \text{ (грн/кВт)}.$$

Втрати потужності для трансформаторів 630 кВА:

$$\Delta P_{630} = 2 \cdot 1,5 + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot \left( \frac{828,27}{630} \right)^2 = 9,91 \text{ (кВт)},$$

Втрати потужності для трансформаторів 1000 кВА:

$$\Delta P_{1000} = 2 \cdot 2,1 + \frac{1}{2} \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{828,27}{1000} \right)^2 = 7,80 \text{ (кВт)}.$$

Вартість спорудження двотрансформаторних ТП [1]:

$$K_{630} = 127620 \text{ (грн)},$$

$$K_{1000} = 142470 \text{ (грн)},$$

Приведені річні витрати при спорудженні двотрансформаторних підстанцій з трансформаторами, потужністю відповідно 630 і 1000 кВА:

$$B_{np630} = (0,1 + 0,063) \cdot 127620 + 787,42 \cdot 9,91 = 28608,43 \text{ (грн)},$$

$$B_{np1000} = (0,1 + 0,063) \cdot 142470 + 787,42 \cdot 7,8 = 29365,28 \text{ (грн)}.$$

Таким чином, перший варіант з ТП 2x630 кВА більш економічний.

Вибираємо радіальну схему електропостачання (рисунок 2.3). Резервування відбувається з використанням секційного вимикача на низькій стороні ТП. Живлення ТП відбувається від РП ВАТ "Рошен".

Високовольтні вимикачі вибираються за номінальною напругою і розрахунковим струмом з врахуванням післяаварійних режимів та можливих



нерівномірностей розподілу струмів між лініями і секціями шин:

$$U_{ном.в.} \geq U_{ном.мережі}$$

$$I_{ном.в.} \geq I_{м.ав.},$$

де  $I_{м.ав.}$  – розрахунковий максимальний струм для післяаварійного режиму.

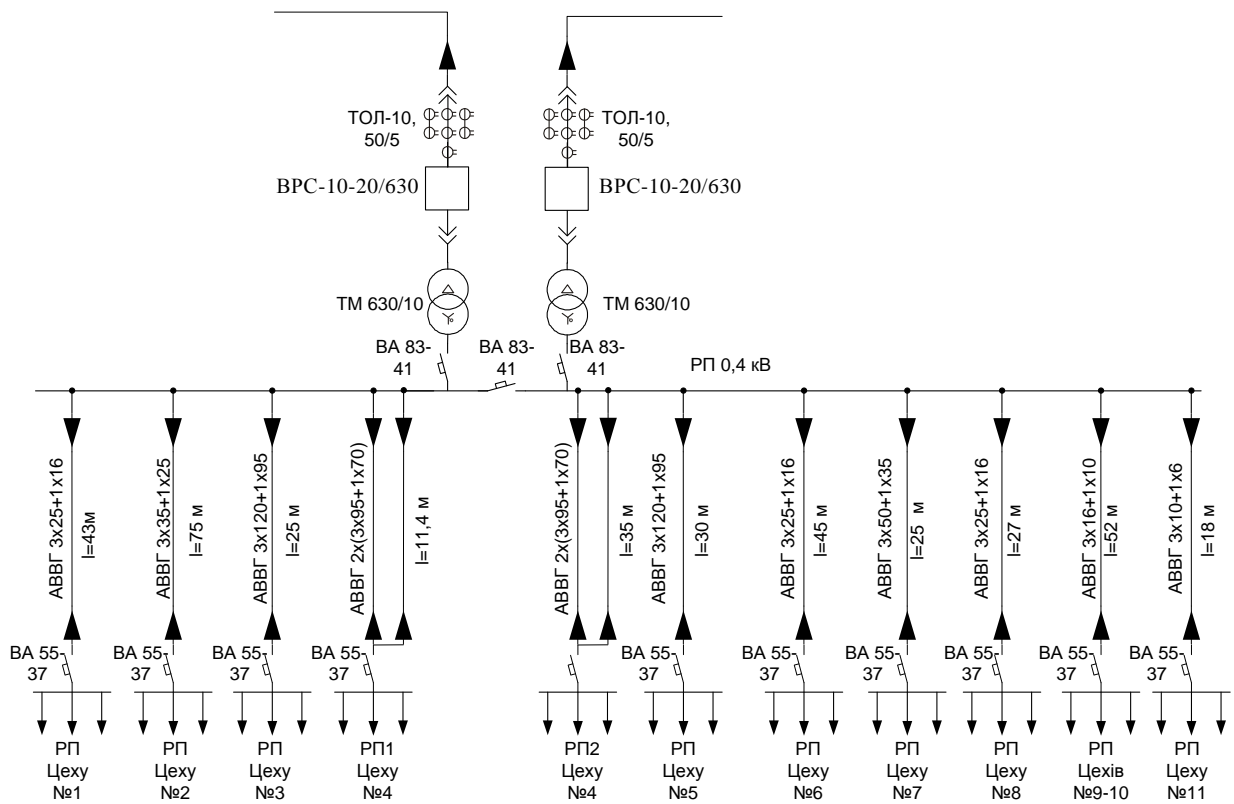


Рисунок 2.3 – Схема заводської мережі

Визначимо струм для нормального і післяаварійного режимів для ліній підприємства напругою 10 кВ:

$$I_M = \frac{S_M}{2\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{784,21}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 22,63 \text{ (А)};$$

$$I_{M.av} = \frac{1,4S_{ном.т.}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,92 \text{ (A)}.$$

На стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі ВРС-10-20/630 з номінальними даними: номінальна напруга вимикача  $U_{ном} = 10$  кВ; номінальний струм вимикача  $I_{ном.в} = 630$  А  $> I_{M.av}$ ; номінальний струм відключення  $I_{ном.відкл} = 20$  кА.

Для зовнішнього живлення вибираємо кабель силовий з алюмінієвими жилами, ізоляція із зшитого поліетилену, з повздожньою герметизацією екрану і підсиленою зовнішньою оболонкою з поліетелену типу АПвЭгПу-10 3(1x35) [5]. Результати розрахунків приведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибір високовольтних вимикачів і перерізу провідників

| Лінія | $I_{м.}, \text{ А}$ | $I_{M.av}, \text{ А}$ | Вимикач       | $I_{ном.в}, \text{ А}$ | $S_{ек}, \text{ мм}^2$ | Провідник          | $I_{доп}, \text{ А}$ |
|-------|---------------------|-----------------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| РП-ТП | 22,63               | 50,92                 | ВРС-10-20/630 | 630                    | 16,2                   | АПвЭгПу-10 3(1x35) | 119                  |

## 2.5 Оптимізація компенсації реактивної потужності в системі електропостачання підприємства

Для перевірки ефективності встановлення засобів компенсації реактивної потужності на ТОВ «Вінниця-млин» необхідно вирішити задачу, математична модель якої представлена цільовою функцією витрат на експлуатацію засобів компенсації реактивної потужності

$$Z(q_k) = \frac{C_0}{U^2} \{ 2(q_H - q_k)^2 \cdot (r_T + r_L) \} + \\ + (q_{k1} + q_{k2}) \cdot (E \cdot B_k + \Delta P_k \cdot C_0) \rightarrow \min,$$

де  $C_0$  – питома вартість втрат потужності, грн/кВт;

$U$  – номінальна напруга мережі, кВ;

$q_n$  – реактивні потужності вузлів навантажень, квар;

$q_k$  – реактивні потужності конденсаторних батарей, що необхідно увімкнути у відповідні вузли навантаження, квар;

$r_t, r_l$  – активні опори трансформаторів і ліній електропередавання підприємства, Ом;

$E$  – сумарний коефіцієнт відрахувань від капіталовкладень;

$B_k$  – питома вартість конденсаторних установок, грн/квар;

$\Delta P_k$  – питомі втрати активної потужності в конденсаторних батареях, кВт/квар;

$C_o$  – питома вартість втрат потужності, грн/кВт.

Обмеженнями при вирішенні цієї задачі є значення потужностей конденсаторних установок, що не можуть бути від'ємними:  $q_{ki} \geq 0, i=1,2$ . Разом з тим метою енергозбереження на підприємстві є зменшення капіталовкладень, що пов'язані і з другою їх складовою оплатою за реактивну енергію.

Вихідні дані для вирішення задачі компенсації подано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вихідні дані задачі КРП

|   |        |
|---|--------|
| Напруга приведення $U$ (кВ)   | 10     |
| Питома вартість втрат потужності $B_o$ (грн/кВт)                              | 787,42 |
| Питома вартість КП $B_k$ (грн/квар)   | 100    |
| Питомі втрати активної потужності в КП $\Delta P_k$ (кВт/Мвар)                | 4,5    |
| Економічний еквівалент реактивної потужності, $D_p$ , кВт/квар                | 0,01   |
| Вартість активної електроенергії, грн/кВт*год                                 | 2,5    |
| Нормативне базове знач. к-та стимулювання кап. вкладень в засоби КРП, Сбаз    | 1      |
| Сумарний коефіцієнт відрахувань від капвкладень $E$                           | 0,223  |
| Коефіцієнт середнього завантаження споживача, під'єданого до трансформатора 1 | 0,66   |
| Коефіцієнт середнього завантаження споживача, під'єданого до трансформатора 2 | 0,66   |
| Нормативний коефіцієнт врахування збитків, $K$                                | 3      |
| Кількість годин в році  | 8760   |
| Вхідна реактивна поткжність $Q_{vx}$ (квар)                                   | 400    |
| Термін окупності, років   | 1      |

Розрахунки доцільно проводити за допомогою електронного процесора Excel, можливості якого дозволяють вирішувати оптимізаційні задачі. Таблична форма вирішення оптимізаційної задачі подана на рисунку 2.4.

| Елемент                          | Qк, квар | Рн, кВт   | Qн, квар | Ro, ом | L, км | R, ом | Q, кВАр | Зпер, грн | Зкомп, грн | З, грн    | WQсп, квар*год | WQген, квар*год |
|----------------------------------|----------|---|----------|--------|-------|-------|---------|-----------|------------|-----------|----------------|-----------------|
| Rж                               |          |   |          | 0      | 10    | 0     | 96,9604 | 0         | 0          | 0         |                |                 |
| Rтг                              |          |   |          | 0      |       | 0     | 96,9604 | 0         | 0          | 0         |                |                 |
| Rм                               |          |   |          | 1,94   | 0,8   | 1,552 | 96,9604 | 114,8912  | 0          | 114,89116 |                |                 |
| Rт1                              | 264,7169 | 543,5   | 326,1    | 2,142  |       | 2,142 | 61,3831 | 63,55118  | 6841,18198 | 6904,7332 | 354892,55      | 0               |
| Rл                               |          |   |          | 1,94   | 0,8   | 1,552 | 35,5773 | 15,46832  | 0          | 15,468319 |                |                 |
| Rт2                              | 290,5227 | 543,5   | 326,1    | 2,142  |       | 2,142 | 35,5773 | 21,34867  | 7508,0925  | 7529,4412 | 205693,48      | 0               |
| Сума                             | 555,2396 | 1087  | 652,2    |        |       |       |         |           |            | 14564,534 | 560586,04      | 0               |
| tgφ                              | 0,0892   | коефіцієнт реактивної потужності                                |          |        |       |       |         |           |            |           |                |                 |
| П1                               | 2802,93  | основна плата за РП, грн  |          |        |       |       |         |           |            |           |                |                 |
| П2                               | 0        | надбавка за недостатнє оснащення підприємства засобами КРП, грн |          |        |       |       |         |           |            |           |                |                 |
| Т                                | 2802,93  | плата за реактивну енергію, грн                                 |          |        |       |       |         |           |            |           |                |                 |
| Економія, грн                    |          |   |          |        |       |       |         |           |            |           |                | 13880,99        |
| Початкові капіталовкладення, грн |          |   |          |        |       |       |         |           |            |           |                | 55523,96        |
| Термін окупності                 |          |   |          |        |       |       |         |           |            |           |                | 4               |

Рисунок 2.4 – Таблична форма вирішення задачі КРП

В результаті проведення серії розрахунків побудовано графік залежності терміну окупності річної економії коштів підприємства від терміну окупності заходів з компенсації реактивної потужності, який представлено на рисунку 2.5.

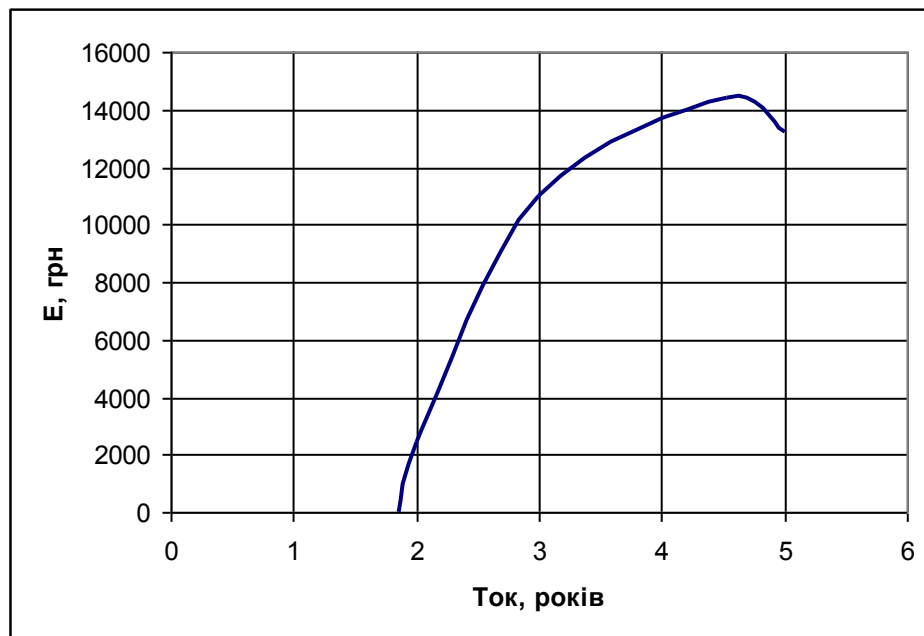


Рисунок 2.5 – Графік залежності економії щорічних капітальних витрат підприємства від терміну окупності системи КРП

З графіка (рисунок 2.5) видно, що найбільша щорічна економія буде за умови оснащення підприємством системою КРП, термін окупності якої складатиме 4,53 роки.

Потужності конденсаторних батарей, що відповідають різним термінам окупності системи КРП представлено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Визначення потужностей конденсаторних батарей

|            |          |          |         |       |         |
|------------|----------|----------|---------|-------|---------|
| Ток, років | 1,863873 | 2        | 3       | 4,531 | 5       |
| Qк1, квар  | 0        | 0        | 122,505 | 326,1 | 332,269 |
| Qк2, квар  | 0,091921 | 48,99018 | 208,104 | 326,1 | 330,092 |
| Е, грн     | 4,931744 | 2449,509 | 11020,3 | 14393 | 13247,2 |

Виходячи з цього графіка можна обрати оптимальну для фінансових можливостей підприємства систему КРП.

## РОЗДІЛ 3

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ ДИНАМІЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТОВ «ВІННИЦЯ-МЛИН»

## 3.1 Сучасні заходи та технічні засоби компенсації реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності є важливою складовою частиною комплексу організаційно-технічних заходів з регулювання режимів електроспоживання і обмеження максимумів навантаження на промислових підприємствах.

Основними споживачами реактивної потужності на промислових підприємствах є:

- асинхронні двигуни - 45-65%.
- трансформатори всіх ступенів трансформації – 20-25%.

Сучасні асинхронні двигуни споживають реактивний струм, що складає біля 20-40% від номінального струму. Асинхронні електродвигуни споживають, при номінальному навантаженні, реактивну потужність, що визначається за формулою:

$$Q_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{НОМ}} / \eta_{\text{НОМ}},$$

де:  $P_{\text{НОМ}}$ ,  $\eta_{\text{НОМ}}$  - відповідно номінальна потужність (кВт) і ККД двигуна;

$\text{tg}\varphi_{\text{НОМ}}$  - тангенс, який відповідає номінальному значенню  $\cos\varphi_{\text{НОМ}}$  двигуна. Реактивна потужність, що споживається з мережі при холостому ході (квар), визначається за формулою:

$$Q_{\text{ХХ}} \approx \sqrt{3}U_{\text{Д}} \cdot I_{\text{ХХ}},$$

де:  $I_{\text{ХХ}}$  - струм холостого ходу двигуна, А;

$U_{\text{Д}}$  - напруга на зажимах двигуна, кВ. Для двигунів з  $\cos\varphi_{\text{НОМ}}=0,91-0,93$  реактивна потужність холостого ходу складає біля 60% реактивної потужності при номінальному завантаженні двигуна. Для двигунів з  $\cos\varphi_{\text{НОМ}}=0,77-0,8$  реактивна потужність холостого ходу складає біля 70%.

При завантаженнях асинхронного електродвигуна, менше номінального, приріст споживання реактивної потужності в порівнянні з холостим ходом пропорційний квадрату коефіцієнта завантаження двигуна, тоді, реактивна потужність при довільному навантаженні:

$$Q_{AD} = Q_{X.X} + \Delta Q_{НОМ} \beta^2,$$

де:  $\beta = P/P_{НОМ}$  - коефіцієнт завантаження двигуна.

Звідси випливає висновок, що заміна незавантажених двигунів на двигуни меншої потужності буде сприяти зниженню споживання реактивної потужності. Досвід вказує, що якщо середнє навантаження асинхронних двигунів по потужності не перевищує 45% номінальної потужності, то їх слід замінити електродвигунами меншої потужності. Якщо навантаження становить 45-70%, то необхідно провести техніко-економічну перевірку доцільності заміни двигуна на двигун меншої потужності.

В ряді випадків ефективним засобом із зниження споживання реактивної потужності є переключення обмоток недовантаженого асинхронного двигуна з трикутника на зірку, оскільки при цьому пусковий і обертовий момент зменшуються в 3 рази. Переключення можна виконувати при низькому навантаженні – до 35% номінальної потужності. Переключення завантажених на 25% електродвигунів приводить до наближення їх коефіцієнта потужності до номінального.

Одним з ефективних заходів по зниженню споживання реактивної потужності асинхронними електродвигунами є використання обмежувачів холостого ходу станків. Обмежувач холостого ходу автоматично відключає магнітний пускач двигуна на між операційний час.

Сучасні асинхронні електродвигуни проектуються з мінімально можливим повітряним зазором між статором і ротором. Це зменшує опір шляху магнітного потоку і споживання реактивної потужності. Магнітним опором повітряного зазору обумовлено 70-80% реактивної потужності, що споживаються асинхронним двигуном на холостому ході.

При експлуатації електродвигуна, відбувається нерівномірне зношення підшипників, що викликає асиметрію магнітного поля двигуна і погіршення ККД на 1,4-3,7%, а також погіршення коефіцієнта потужності на 0,01-0,025 в порівнянні з паспортними даними. При появі значного осьового зрушення ротора також збільшується споживання реактивної потужності двигуном. Різде погіршення коефіцієнта потужності відбувається також при проточці ротора, замість заміни зношених підшипників при ремонтів, оскільки при цьому збільшується повітряний зазор.

Трапляються випадки коли згорівшу обмотку статора асинхронного двигуна міняють проводами з меншим поперечним розрізом. Або з меншим числом витків, ніж це необхідно за технологією. В той же час зменшення числа витків на 10% зменшує магнітний потік на 10% і підвищує індукцію в сталі. Реактивна потужність і струм холостого ходу двигуна збільшується приблизно на 25%, коефіцієнт потужності погіршується на 0,05-0,06. Погіршується і ККД двигуна внаслідок збільшення активних втрат в сталі.

Сучасні досягнення напівпровідникової техніки дозволяють конструювати такі перетворювачі (компенсаційні), що вони можуть підтримувати максимальний коефіцієнт потужності електроприводу і навіть генерувати реактивну потужність. Такі перетворювачі необхідно використовувати в першу чергу.

Трансформатори є другою найбільш крупною групою електроприймачів по споживанню реактивної потужності.

При холостому ході, коли виводи вторинної обмотки розімкнені, в первинній обмотці протікає струм холостого ходу з діючим значенням  $I_X$ . Повна потужність для однофазного трансформатора  $S = U_1 I_X$ . Її реактивна складова  $Q_X = U_1 I_X \sin \varphi_X$  витрачається на перемагнічування сталі магнітопровода, а активна складова  $P_X = U_1 I_X \cos \varphi_X$  покриває втрати при холостому ході трансформатора.



### Коефіцієнт потужності при холостому ході трансформатора

$$\cos \varphi_X = \frac{P_{CT}}{S} = \frac{I_X^2 R_1 + P_{CT}}{I_X U} = \frac{P_X}{\sqrt{3} U_1 I_X}.$$

Слабо завантажені трансформатори, як і асинхронні двигуни, мають низький коефіцієнт потужності. Тому важливо правильно вибирати потужності трансформаторів при проектуванні, а також здійснювати перегрупування і заміну не завантажених трансформаторів в процесі експлуатації. Заміна трансформаторів на менш потужні признано доцільним у випадку, якщо вони завантажені менше ніж на 30%. Необхідно також слідкувати, щоб у вихідні та неробочі часи трансформатори відключались.

З метою раціоналізації роботи трансформаторів стосовно режимів споживання реактивної потужності також можна переводити навантаження тимчасово завантажених менш ніж на 30% на інші трансформатори; відключення їх при роботі на холостому ході.

Заходи з підвищення коефіцієнта потужності в електроустановках можна розділити на дві групи: перша – при яких не потрібна установка компенсуючих пристроїв, і друга – при яких потребується компенсуючих пристроїв. Компенсація реактивної потужності у споживачів дозволяє:

- знизити струм в передаючих елементах мережі, що призводить до зменшення поперечного розрізу проводів.
- зменшення повної потужності, що знижує потужність трансформаторів і їх число.
- зменшення втрат активної потужності, а відповідно, і потужності генераторів на електростанціях.

Сутність будь-яких заходів із зниження споживання реактивної потужності заключається в обмеженні впливу електроприймача на мережу живлення шляхом впливу на сам електроприймач.

До заходів першої групи відносяться:

1. Підвищення завантаження технологічних агрегатів по потужності, а саме:
  - підвищення завантаження асинхронних двигунів;

- ліквідація режиму роботи асинхронних двигунів без навантаження шляхом установлення обмежувачів холостого ходу, коли між операційний період більший 10с;
  - перемикання обмоток статора асинхронних електродвигунів напругою до 1000 В із трикутника на зірку, якщо їх завантаження менше 40% (знижує потужність двигуна в 3 рази);
  - вибір потужності трансформаторів близькою до необхідного навантаження, заміна або відключення трансформаторів, які завантажені у середньому менше ніж на 30% номінальної потужності;
  - плавне регулювання напруги за допомогою тиристорних пристроїв;
  - поліпшення якості ремонту електродвигунів, при якому зберігаються їх номінальні дані.
2. Підвищення завантаження технологічних агрегатів по часу, в тому числі:
    - використання обмежувачів холостого ходу асинхронних електродвигунів та зварювальних агрегатів.
  3. Заміна асинхронних двигунів синхронними.
  4. Упорядкування технологічного процесу, що створює кращий енергетичний режим роботи електрообладнання. Заміна, перестановка і виключення малозавантажених технологічних агрегатів.
  5. Використанням перетворювачів з великим числом фаз випрямлення, штучної комутації вентилів і обмеженням вмісту вищих гармонік в струмі, що споживається.

До другої групи компенсації реактивної потужності відноситься встановлення компенсуючих пристроїв. Зазвичай компенсація реактивної потужності реалізується за допомогою таких технічних засобів як компенсуючі пристрої різного роду: синхронні двигуни (компенсатори), комплектні конденсаторні батареї, фільтрокомпенсуючі пристрої, статистичні компенсатори (керовані тиристорами реактори або комутовані тиристорами конденсатори), які розміщуються в тих чи інших місцях мережі споживача.

Якщо заходи першої групи не підвищують коефіцієнт потужності до 0,9-0,95, то застосовуються штучні компенсуючі пристрої. Наприклад встановлення конденсаторної батареї біля асинхронного електроприводу, дозволяє уникнути необхідності завантаження мережі живлення електроприводу реактивною потужністю.

Вибір типу, потужності, місця встановлення і принципу керування пристроями компенсації має забезпечувати найбільший ефект. При цьому слід враховувати, що:

- найбільший економічний ефект досягається при розміщенні засобів компенсації безпосередньо поблизу електроприймача;
- статистичні конденсатори можуть встановлюватися поблизу одиничного навантаження, з великим терміном навантаження.
- індивідуальна компенсація найбільш ефективна і доцільна для потужних електроприймачів, але супроводжуватись відключенням компенсуючого пристрою з відключенням споживача.
- синхронні двигуни, які працюють з перезбудженням поля, можуть також бути використанні для підвищення коефіцієнта потужності.

Окремо слід зупинитися на пристроях динамічної компенсації реактивної потужності (КРП) , яка на сьогоднішній день є найбільш ефективним та довершеним способом компенсації. Робота пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності основана на використанні силових комутаційних або тиристорних ключів, тиристорно-регульованих реакторів та нерегульованих або дискретно-регульованих конденсаторних батарей в якості джерел реактивної потужності.

### 3.2 Динамічне керування компенсуючими пристроями як найбільш ефективний та довершений спосіб компенсації реактивної потужності

Як вже було показано вище в п. 3.1, питання компенсації реактивної потужності (вибір типу, потужності, місця установки і режиму роботи

компенсуючого пристрою) залишається одним із основних питань, які розв'язуються при проектуванні і експлуатації систем електропостачання промислових підприємств. Оптимальне вирішення цього питання забезпечує баланс реактивної потужності в електричній мережі підприємства, знижує втрати потужності і електроенергії в системі електропостачання, покращує показники якості електроенергії. Це питання є актуальним для електричних мереж всіх напруг в тому числі і для системи електропостачання підприємства ТОВ «Вінниця-млин», на якому застосовуються сучасні ефективні технології переробки зерна, нове електрообладнання та поряд з цим присутні компенсуючі пристрої на основі нерегульованих конденсаторних батарей, що не дає можливості отримати максимальний ефект від компенсації реактивної потужності. Подальший розгляд сучасних засобів компенсації реактивної потужності, аналіз їхніх переваг і недоліків дасть змогу адаптувати деякі з них для впровадження в електричних мережах підприємства ТОВ «Вінниця-млин» та дозволить радикально змінити можливості регулювання потужності.

Розглянемо окремо модель частотно-керованого електропривода, про який йшла мова в п. 1.3, та проведемо дослідження його характеристик з метою оптимізації процесу динамічної компенсації реактивної потужності під час пуску асинхронних електроприводів в електропостачальній системі обмеженої потужності, якою зокрема є система електропостачання підприємства «Вінниця-млин». Дана модель працює в середовищі MATLAB з використанням програми Simulink, яка застосовується для моделювання, симуляції багатодомених динамічних систем. Його основним інтерфейсом є графічний інструмент для побудови діаграм а також налаштований набір бібліотек блоків.

Графічне середовище, яке тут застосовується, виконує імітаційне моделювання і дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів будувати динамічні моделі. Структурна схема даної моделі зображена на рис. 3.1.

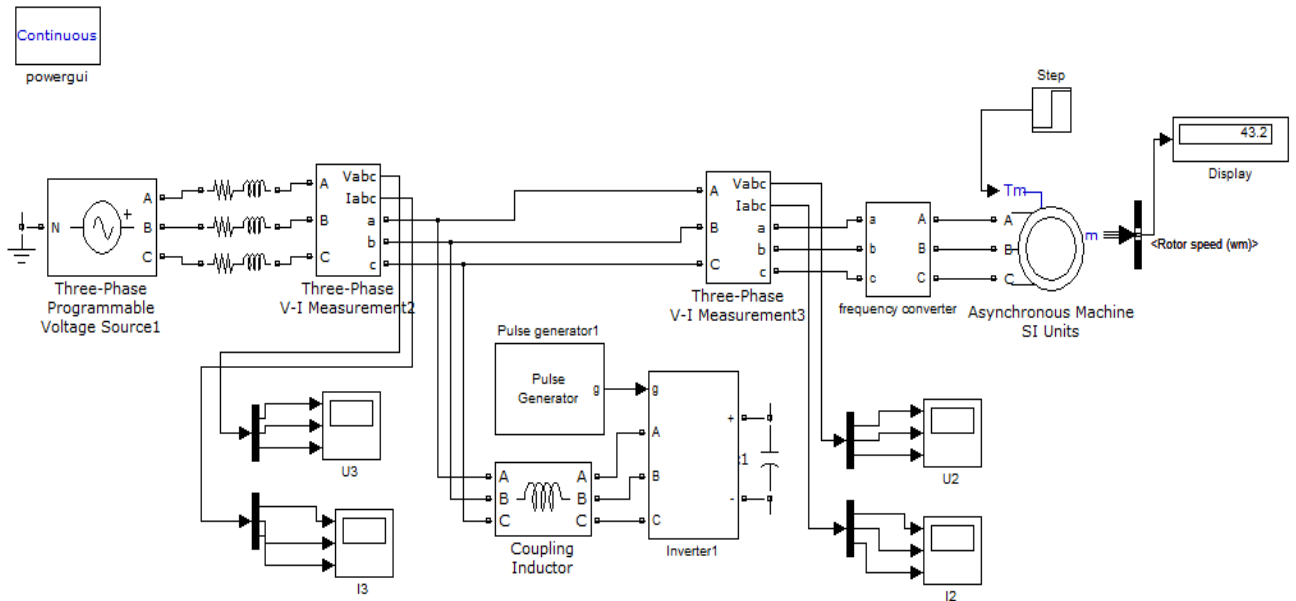


Рисунок 3.1 – Модель дослідження роботи частотно-керованого електропривода з активним фільтром вищих гармонік в **Simulink MATLAB**

Асинхронний двигун запускався на частоті 50 Гц. При цьому струм однієї із фаз на вході перетворювача частоти мав характеристику, яка зображена на осцилограмі рис. 3.2. Подальший аналіз складу цього струму інтерпретується рисунками 3.3 і 3.4. В гармонічному спектрі струму фази А проявлялись гармонічні складові вищих порядків, а саме: превалювали п'ята (37,71%) і сьома (43,24%) гармоніки. Поява спотворень в симетричному синусоїдальному джерелі може бути викликана, по-перше, наявністю зворотної послідовності основної частоти в комутованій напрузі; по-друге, спотворенням гармоніками напруги прямої та зворотної послідовності; по-третє, асиметрією комутаційних опорів.



Рисунок 3.2 – Струм фази А на вході перетворювача частоти

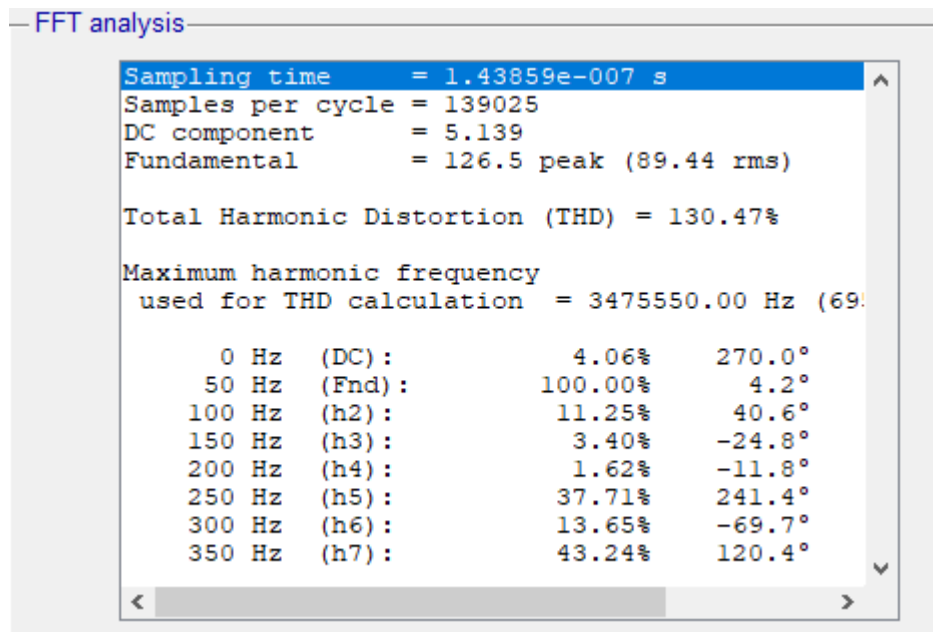


Рисунок 3.3 – FFT аналіз струму фази А на вході перетворювача частоти

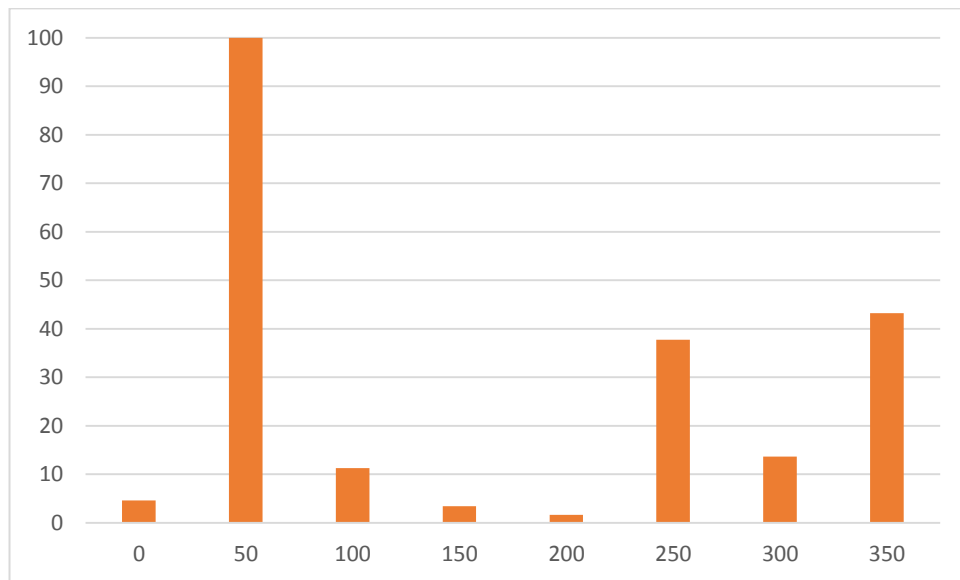


Рисунок 3.4 – Гармонічний спектр струму фази А на вході перетворювача частоти

Далі в експерименті ставився силовий активний фільтр на вході. При цьому струм фази А живлячої мережі мав майже синусоїдальну форму, про що свідчить його осцилограма (рис. 3.5).

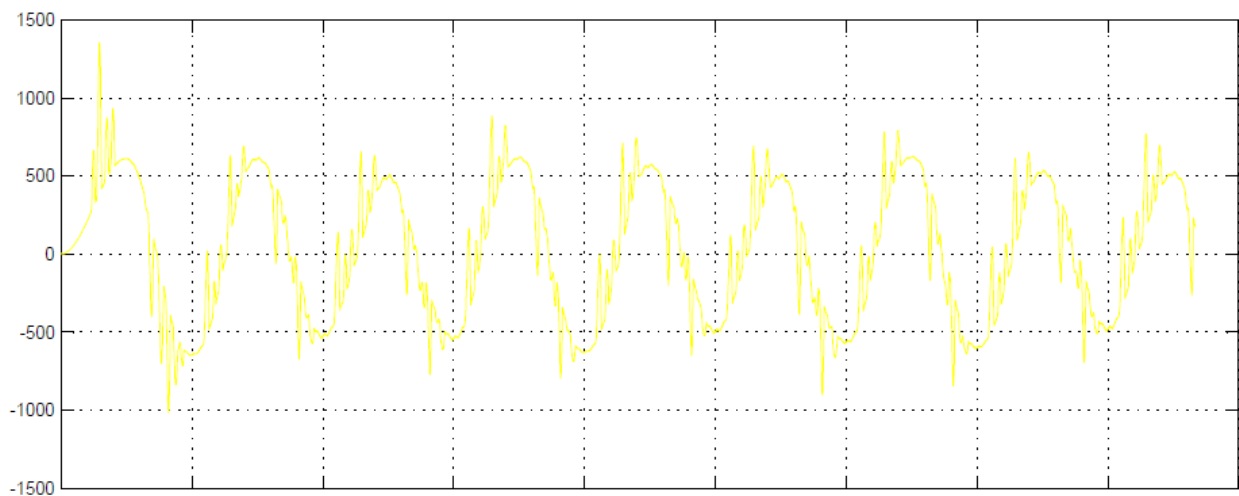


Рисунок 3.5 – Струм фази А живлячої мережі з використанням силового активного фільтра

Спектральний аналіз цього струму (рис. 3.6, рис. 3.7) свідчить про явне зменшення спотворень вищими гармонічними складовими, що спричинилося застосуванням силового активного фільтра.

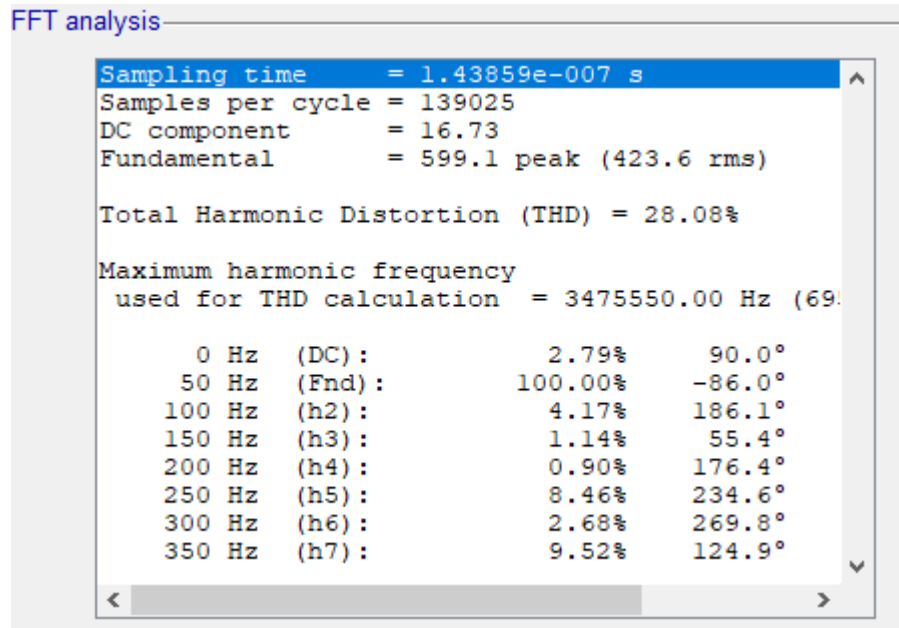


Рисунок 3.6 – FFT аналіз струму фази А мережі з використанням силового активного фільтра

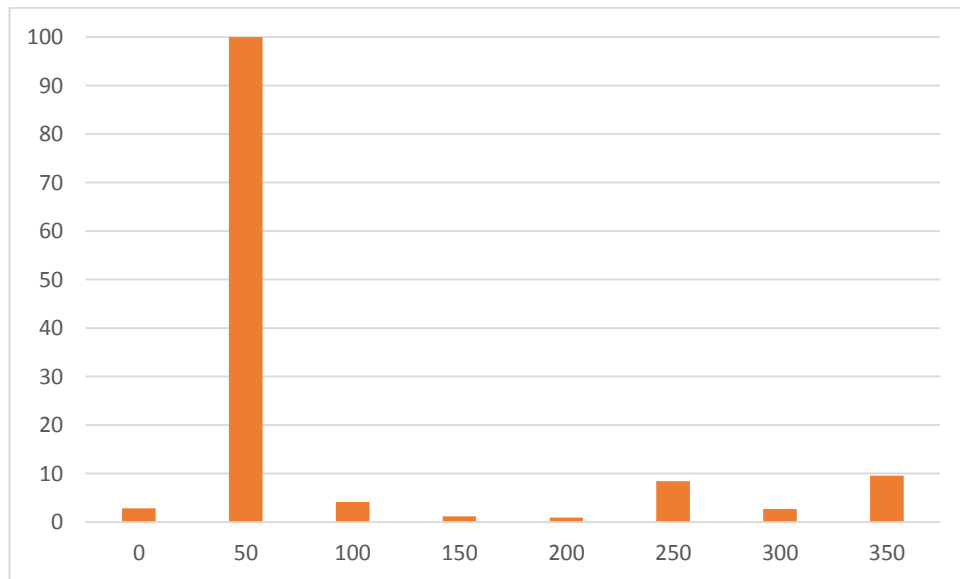


Рисунок 3.7 – Гармонічний спектр струму фази А живлячої мережі з використанням силового активного фільтра

Проведені дослідження свідчать про наявність деякої несунісоїдності на вході перетворювача частоти.



## Висновки

1. Для енергосистем, промислових підприємств реактивна потужність завжди була й залишається немінучим атрибутом технологічного циклу споживання електроенергії, що впливає на його економічну ефективність. І тому керування реактивною потужністю – один з найбільш ефективних і малозатратних способів енергозбереження як в енергосистемах, так і в мережах підприємств.

2. Необхідність в автоматичному управлінні компенсувальними установками зумовлена рядом причин і вони висвітлені тут в п. 3.1.

3. Аналіз пристроїв динамічної компенсації показав, що найбільш ефективними та довершеними є пристрої, що побудовані на основі статичних тиристорних компенсаторів. Вони оцінюються тут як технічно досконалі пристрої управління реактивною потужністю і рекомендуються для впровадження в електричних мережах ТОВ «Вінниця-млин».

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Згідно схеми електричної мережі підприємства, показаної на рисунку 4.1, та вихідних даних, приведених у таблицях 4.1, 4.2, необхідно виконати такі розрахунки:

1. Розрахувати величину капітальних вкладень в трансформаторні підстанції, кабельні лінії та високовольтні вимикачі.
2. Розрахувати оплату за спожиту електроенергію.
3. Розрахувати величину складових експлуатаційних витрат:
  - витрат в мережах підприємства;
  - витрат на заробітну плату;
  - витрат на матеріали;
  - амортизаційних витрат.
4. Розрахувати собівартість електроенергії на підприємстві.

Таблиця 4.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

| Підстанція | Тип трансформатора | Кількість трансформаторів | Факт. потужність підстанції, кВА |
|------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|
| ТП 1       | ТМ-630             | 2                         | 784,21                           |

Таблиця 4.2 – Відомості про кабельні лінії

| Найменування ліній | Довжина лінії, м | Марка кабелю          | К-сть |
|--------------------|------------------|-----------------------|-------|
| РП «Рошен» - ТП1   | 500              | АПвЭгПу-10<br>3(1x35) | 2     |

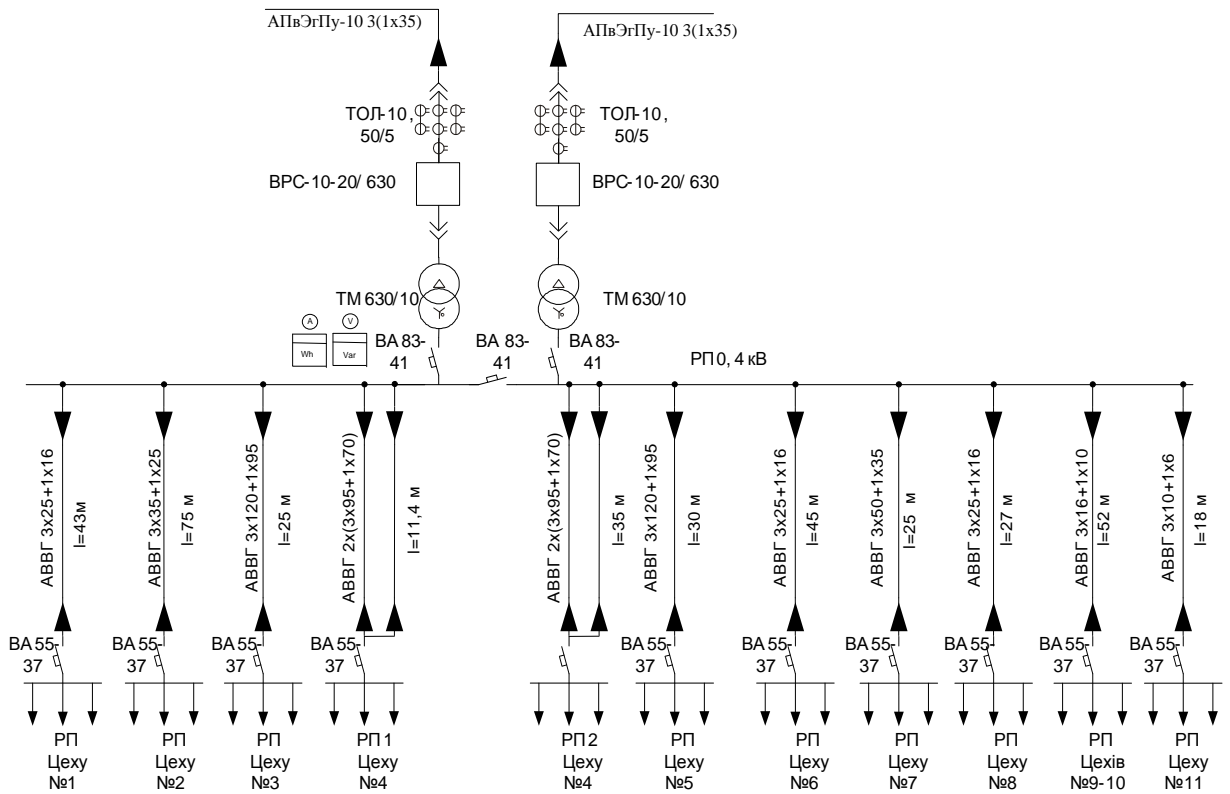


Рисунок 4.1 – Схема електропостачання підприємства

#### 4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередач виконуємо за вартістю кабелів та їх прокладання (табл. 2.4, 2.5 [15]).

Капітальні вкладення для ліній електропередач:

$$K_{л} = (K_{пит} \cdot n + K_{прок}) \cdot L,$$

де  $K_{пит}$  - питома вартість на 1км лінії, тис. грн./км (табл. 2.4, 2.5 [15]), враховуючи збільшення вартості на сьогоднішній день втричі;

$K_{прок}$  - питома вартість прокладання, тис. грн./км;

$L$  - довжина лінії електропередачі, км;

$n$  – кількість кабелів в траншеї, шт.

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від сусіднього з підприємством «Вінниця - млин» РП «Рошен» до ТП 1 (кабель марки АПвЭгПу-10 3(1x35)) в ґрунті II категорії без врахування переходів:

$$K_{л1} = (K_{пит} \cdot n + K_{прок}) \cdot L = (34,68 \cdot 2 + 2,73) \cdot 0,5 = 36,045 \text{ (тис.грн).}$$

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

$$K_{пс} = \sum_{i=1}^1 K_{псі} + K_{пост},$$

де  $K_{псі}$  – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис. грн. [15];

$K_{пост}$  - постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов'язані з устроєм території, зі створенням майстерень, лабораторій і диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис. грн. Постійні витрати прийняти у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

Визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторної підстанції (вона у нас одна), ТП-1:

$$K_{пс1} = 230 + 46 = 276 \text{ (тис.грн).}$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = K_{л} + K_{пс} = 36,045 + 276 = 312,045 \text{ (тис.грн).}$$

## 4.2 Розрахунок поточних витрат

### 4.2.1 Розрахунок потреби в робочій силі

Планова трудомісткість визначається як, люд.-год./рік:

$$T_{тр} = \Pi \cdot t_{норм} \cdot h,$$

де  $\Pi$  - число ремонтів даного виду в рік, на одиницю обладнання;

$t_{\text{норм}}$  - норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год;

$h$  - кількість обладнання певного діапазону потужності, що належить цьому виду ремонтних робіт (маєм на увазі, що для ліній треба врахувати два кола).

Проводимо розрахунки трудомісткості ремонту електрообладнання та заносимо їх результати до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Трудомісткість поточного ремонту та огляду

| Обладнання                            | п,<br>шт | Поточний ремонт  |   |  | Огляд  |   |  |
|---------------------------------------|----------|--|---|--|--|---|--|
|                                       |          | К-сть на<br>оди-<br>ницю<br>облад-<br>нання,<br>рем/р. | Норма<br>трудо-<br>міст-<br>кості,<br>люд.-<br>год. | Заг.<br>трудоміст-<br>кість, люд.-<br>год. | К-сть на<br>оди-<br>ницю<br>облад-<br>нання,<br>огл./рік | Норма<br>трудо-<br>міст-<br>кості,<br>люд.-<br>год. | Заг.<br>трудо-<br>міст-<br>кість,<br>люд.-<br>год. |
| Вимикач 10кВ                          | 2        | 1  | 16  | 32   | 12   | 2   | 48   |
| ТМ-630                                | 2        | 0,33   | 100   | 66   | 12   | 8   | 192  |
| Каб. лінія<br>35 мм <sup>2</sup> , км | 1        | 1  | 46  | 46   | 1  | 11,5  | 11,5   |
| Разом:                                |          |  |   | 144  |  |   | 251,5  |

Планова трудомісткість технічного обслуговування кожної групи енергетичного устаткування і мереж складає, люд.-год./рік:

$$T_{\text{то}} = 12 \cdot t_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot h,$$

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{\text{пр}}$  – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год [15];

$K_{cp}$  – коефіцієнт складності ремонту, який показує частку трудомісткості поточного ремонту, необхідну для технічного обслуговування енергетичного обладнання і мереж на кожен місяць планованого року,  $1/міс$ ,  $K_{c.p} = 0,1$ .

$h$  – кількість обладнання в групі.

Для вимикачів, люд.-год/рік:

$$T_{обсл} = 12 \cdot t_{пр} \cdot K_{cp} \cdot K_{зм} \cdot h = 12 \cdot 16 \cdot 0,1 \cdot 2 = 38,4 \text{ (люд.-год/рік.)}$$

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

| Обладнання                         | К-сть, шт. | Технічне обслуговування |                                 |                      |                                  | Загал. трудомісткість, люд.-год. | Загальна трудомісткість обслуговування з оглядом, люд.-год. |
|------------------------------------|------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
|                                    |            | Змінність роботи        | Коеф. склад. ремонтів, $K_{cp}$ | К-сть місяців в році | Загал. трудомісткість, люд.-год. |                                  |   |
| Вимикач 10кВ                       | 2          | 1                       | 0,1                             | 12                   | 38,4                             | 86,4                             |   |
| ТМ-630                             | 2          | 1                       | 0,1                             | 12                   | 240                              | 408                              |   |
| Каб. лінія 35 мм <sup>2</sup> , км | 1          | 1                       | 0,1                             | 12                   | 27,6                             | 39,1                             |   |
| Разом:                             |            |                         |                                 |                      | 282                              | 533,5                            |   |

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$H_{обсл} = \frac{T_{обсл}}{\Phi_d \cdot K_{ВН}}$$

де  $T_{обсл}$  - річна планова трудомісткість технічного обслуговування з обліком трудозатрат на огляди (перевірки, іспити), створювані як самостійні операції, люд.-год.;

$\Phi_d$  - дійсний (ефективний) фонд часу роботи одного робочого в рік; звичайно приймається рівним 1850-1900 год;

$K_{BH}$  - плановий коефіцієнт виконання норм для даної категорії робітників. При розрахунках можна брати для ремонтного персоналу його значення 1,10, а для експлуатаційного - 1,05;

$$H_{обсл} = \frac{T_{обсл}}{\Phi_{д} \cdot K_{BH}} = \frac{533,5}{1900 \cdot 1,05} = 0,27 \text{ (чол.)};$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$H_{TP} = \frac{T_{TP}}{\Phi_{д} \cdot K_{BH}},$$

де  $T_{TP}$  - річна планова трудомісткість поточного ремонту, люд-год.;

$$H_{TP} = \frac{T_{TP}}{\Phi_{д} \cdot K_{BH}} = \frac{144}{1900 \cdot 1,1} = 0,07 \text{ (чол.)}.$$

Приймаємо за нормами ПУЕ [6]  $H_{TP} = 2$  чол.,  $H_{обс} = 2$  чол.

#### 4.2.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Фонд прямої заробітної плати:

а) для робітників, зайнятих на роботах по експлуатації й обслуговуванню енергообладнання і мереж, розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_e = H_{обс} \cdot \beta_n \cdot t_{ге} \cdot \Phi_{д},$$

де  $H_{обс}$  - число експлуатаційного персоналу по списку, люд.;

$\beta_n$  - коефіцієнт використання річного номінального фонду робочого часу (можна приймати рівним 0.9);

$t_{ге}$  - годинна тарифна ставка, що відповідає середньому тарифному розряду експлуатаційних робітників, рівному 3 та 5 розряду;

$\Phi_{д}$  - ефективний фонд часу одного робітника в рік, год.

Годинну тарифну ставку ( $t_{ге}$ ) рекомендується розраховувати за формулою:

$$t_{re} = ((K3+K4)/2) \cdot C_1,$$

де  $K3, K4$  – тарифні коефіцієнти для 3 та 4 розрядів, відповідно, [16];

$C_1$  – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, визначається за формулою:

$$C_i = \frac{Z_{\min} \cdot k_{r,i}}{\Phi_H},$$

де  $Z_{\min}$  – мінімальний розмір заробітної плати;

$k_{r,i}$  – тарифний коефіцієнт робітника  $i$ -го розряду;

$\Phi_H$  – номінальний місячний фонд робочого часу ( $\Phi_H = 22 \cdot 8 = 176$  год).

Законом України „Про Державний бюджет України на 2015 рік та про внесення змін до деяких законодавчих актів України” від 28.12.2014 р. № 80-VIII встановлено розміри мінімальної заробітної плати – 3872 грн. [16]. Тоді:

$$C_1 = 3872 \cdot 1/176 = 22 \text{ (грн./год.)}.$$

Годинна тарифна ставка робітників 3 та 5 розряду становитиме:

$$t_{re} = ((K3+K4)/2) \cdot C_1 = ((1,18+1,27)/2) \cdot 22 = 26,95 \text{ (грн./год.)}.$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = N_{\text{обс}} \cdot \beta_H \cdot t_{re} \cdot \Phi_d = 2 \cdot 0,9 \cdot 26,95 \cdot 1900 = 92169 \text{ (грн./рік)}.$$

Для робітників, які виконують поточний ремонт енергоустаткування, фонд прямої заробітної плати розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_p = T_{\text{пр}} \cdot t_{rp},$$

де  $t_{rp}$  – годинна тарифна ставка робітників-ремонтників 4 та 5 розрядів

$$t_{rp} = ((K4+K5)/2) \cdot C_1,$$

де  $K4, K5$  – тарифні коефіцієнти для робітників-ремонтників 4 та 5 розрядів, відповідно, [15].



Розраховуємо годинну тарифну ставку робітників-ремонтників 4 та 5 розрядів та відповідний фонд прямої заробітної плати:

$$t_{гр} = ((K_4 + K_5) / 2) \cdot C_1 = ((1,27 + 1,36) / 2) \cdot 22 = 28,93 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = 2 \cdot T_{пр} \cdot t_{гр} = 144 \cdot 28,93 = 4165,92 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_o = \Phi(1 + 0,05 + 0,01 + \alpha), \text{ (грн./рік)},$$

де  $\Phi$  - тарифний фонд заробітної плати експлуатаційних робітників ( $\Phi_e$ ) або фонд прямої заробітної плати ремонтного персоналу ( $\Phi_p$ ), грн./рік;

0.01 - частка доплат за роботу у святкові дні;

0.05 - частка доплат за роботу в нічний час;

$\alpha$  - частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{oe} = \Phi_e(1 + 0,05 + 0,01 + \alpha) = 92169 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 116132,94 \text{ (грн./рік)}$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = \Phi_p(1 + 0,05 + 0,01 + \alpha) = 4165,92 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,25) = 5457,355 \text{ (грн./рік)}.$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15% від фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15,$$

$$\Phi_{оед} = \Phi_{oe} \cdot 1,15 = 116132,94 \cdot 1,15 = 133552,88 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{орд} = \Phi_{op} \cdot 1,15 = 5457,355 \cdot 1,15 = 6275,96 \text{ (грн./рік)}.$$

З метою утворення фонду соціального страхування здійснюються нарахування на заробітну плату. Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Отже, витрати по заробітній платі ( $C_{зп}$ ) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{зп} = \Phi_{од} \cdot \left(1 + \frac{\beta_c + \beta_n + \beta_z}{100}\right),$$

де  $\beta_{п}$  - нарахування в пенсійний фонд,  $\beta_{п} = 32\%$  ;

$\beta_z$  - нарахування у фонд зайнятості,  $\beta_z = 1,5\%$  ;

$\beta_c$  - нарахування на соціальне страхування,  $\beta_c = 1,5\%$ .

Відповідно розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зпе} = \Phi_{оед} \cdot \left(1 + \frac{\beta_c + \beta_n + \beta_z}{100}\right) = 133552,88 \cdot \left(1 + \frac{1,5 + 32 + 1,5}{100}\right) = 180296,40 \text{ (грн./рік)}$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{зпр} = \Phi_{орд} \cdot \left(1 + \frac{\beta_c + \beta_n + \beta_z}{100}\right) = 6275,96 \cdot \left(1 + \frac{1,5 + 32 + 1,5}{100}\right) = 8472,545 \text{ (грн./рік)}.$$

#### 4.2.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Необхідні дані для розрахунку беремо з [15], враховуючи збільшення ціни матеріалу на сьогоднішній день втричі, результати розрахунків заносимо до таблиці 4.5.

Вартість матеріалу на технічну операцію:

$$C_m = 0,01 \cdot \left( \sum_{i=1}^n C_{oi} \cdot T_i + L \cdot C_{лю} \right),$$

де  $C_{oi}$  – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування і-го виду трансформаторів;

$T_i$  – трудомісткість обслуговування і-го виду трансформаторів (беремо з табл. 4.4);

$L$  – сумарна довжина кабелів;

$C_{л0}$  – питома вартість матеріалів на обслуговування кабелів.

Таблиця 4.5 – Розрахунок вартості матеріалів

| Матеріал                      | Ціна матеріалу в грн. | Норми витрати 100 чол-год працємісткості і тех. обслуг. | Вартість матеріалу, грн. |
|-------------------------------|-----------------------|---|--------------------------|
| Силові трансформатори         |                       | 630   | 630                      |
| Сталь сортова, кг             | 7,5                   | 6   | 45                       |
| Провід установочний, м        | 3,1                   | 0,5   | 1,55                     |
| Мідь-Алюміній (гола), кг      | 69,8                  | 62  | 4327,6                   |
| Картон електроізоляційн., кг  | 33,6                  | 1,4   | 47,04                    |
| Лакотканина (ширина 700мм), м | 93,3                  | 0,2   | 18,66                    |
| Кабельний папір, кг           | 27,5                  | 0,6   | 16,5                     |
| Стрічка кіперна, кг           | 336,3                 | 40  | 13452                    |
| Стрічка тафтяна, кг           | 249,8                 | 18  | 4496,4                   |
| Стрічка азбестова, м          | 7,4                   | 0,05  | 0,37                     |
| Лаки ізоляційні, кг           | 40,2                  | 1,5   | 60,3                     |
| Емалі ґрунтові, кг            | 44,1                  | 2,5   | 110,25                   |
| Масло трансформаторне, кг     | 13,6                  | 0,58  | 7,888                    |
| Бензин, кг                    | 6,9                   | 0,7   | 4,83                     |
| Розчиники, кг                 | 19,5                  | 0,8   | 15,6                     |
| Маслостійка гума, кг          | 50,0                  | 0,4   | 20                       |
| Гума профільна, кг            | 50,0                  | 0,13  | 6,5                      |
| Припой олов'яно-свинцовий, кг | 476,1                 | 0,02  | 9,522                    |
| Припой мідно-фосфорний, кг    | 88,5                  | 0,03  | 2,655                    |
| Електроди, кг                 | 16,4                  | 0,15  | 2,46                     |
| Засоби кріплення, кг          | 20,9                  | 2   | 41,8                     |
| Дріт кручений, м              | 2,7                   | 0,3   | 0,81                     |
| Матеріал обжиму, кг           | 27,3                  | 0,4   | 10,92                    |
| Разом:                        |                       |   | 22645,1                  |
| Кабельні лінії                |                       |   |                          |
| Сталь сортова, кг             | 7,5                   | 2   | 14,982                   |
| Електроди, кг                 | 16,5                  | 0,1   | 1,645                    |
| Разом:                        |                       |   | 16,627                   |

Отже, вартість матеріалів на ремонт:

$$C_{мпр}=0,01(66 \cdot 22645,1 + 46 \cdot 16,63) = 14953,42 \text{ (грн./рік)}$$

і вартість матеріалів на технічне обслуговування:

$$C_{\text{МТО}}=0,01(408 \cdot 22645,1+39,1 \cdot 16,63)= 92398,51 \text{ (грн./рік)}.$$

Отже, можна розрахувати:

витрати на обслуговування електроустановок і мереж, грн/рік:

$$C_{\text{обс}} = C_{\text{зпе}} + C_{\text{МТО}} = 180296,40 + 92398,51 = 272694,91 \text{ (грн/рік)};$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{зпр}} + C_{\text{мпр}} = 8472,545 + 14953,42 = 23425,97 \text{ (грн/рік)}.$$

#### 4.2.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою:

$$C_a = a \cdot K,$$

де  $a$  – норма амортизації, %

$K$  – капіталовкладення (визначені в п. 4.1), грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 312045 = 18722,7 \text{ (грн/рік)}.$$

Інші витрати - приймаються в розмірі 20-30% від суми витрат на обслуговування, поточний ремонт і амортизацію, грн/рік:

$$C_{\text{іп}} = \beta_{\text{іп}}(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a);$$

де  $\beta_{\text{іп}}$  - коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{\text{іп}} = \beta_{\text{іп}}(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a) = 0,25 \cdot (272694,91 + 23425,97 + 18722,7) = 78710,89 \text{ (грн/рік)}.$$

Після визначення всіх елементів витрат підприємства, необхідних для передавання і розподілення електроенергії, зведемо їх в таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 – Кошторис річних поточних витрат

| Стаття витрат                                  | Величина витрат, грн | Структура, % до підсумку |
|--|----------------------|--------------------------|
| Витрати по експлуатації енергоустанок. і мереж | 272694,91            | 69,29                    |
| Витрати на поточний ремонт                     | 23425,97             | 5,95                     |

|                        |           |       |
|------------------------|-----------|-------|
| Витрати на амортизацію | 18722,70  | 4,76  |
| Інші витрати           | 78710,89  | 20,00 |
| Разом                  | 393554,47 | 100   |

#### 4.3. Розрахунок собівартості електроенергії

4.3.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію

Розрахунок обсягу споживання визначається, виходячи з розрахункової потужності, яка визначається як добуток установленої (номінальної) потужності усіх електроприймачів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, тис. кВт·год./рік (наведено в табл. 2.1):

$$E_{ai} = P_p \cdot T_{mi}, = K_{\pi} \cdot P_{\text{ном}} \cdot T_{mi},$$

де  $P_p$  – розрахункова потужність, кВт;

$T_{mi}$  – річна тривалість використання максимуму активного навант., год.;

$K_{\pi}$  – коефіцієнт попиту.

Визначимо річні витрати активної електроенергії для всього підприємства (виходимо з того, що режим роботи всіх цехів однаковий – одна зміна, тому користуємося сумарною розрахунковою потужністю по всьому підприємству):

$$E_a = 652,17 \cdot 2000 = 1304340 \text{ (кВт год./ рік) .}$$

Для визначення повної потреби підприємства в електроенергії необхідно до отриманого результату додати втрати електроенергії в лініях і трансформаторах.

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

$$\Delta E_{\pi} = 3 \cdot n \cdot I_M^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3},$$

де  $n$  – кількість кіл лінії (вважаємо, що лінії працюють роздільно, а не паралельно);

$I_M$  – максимальний струм у лінії, А;

$\tau_M$  – час максимальних втрат, год./рік.

$R = r_0 \cdot L$  – активний опір проводу або кабелю однієї фази, Ом;

$r_0$  – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км;

$L$  – довжина лінії, км.

Величина  $\tau_M$  визначається за часом використання максимального навантаження, для нашого підприємства з одномінною роботою  $T_M = 2000$  год.:

$$\tau_M = \left( 0,124 + \frac{2000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 919,59 \text{ (год)} \text{ (год./рік)}.$$

Для лінії РП «Рошен» - ТП1:

Активний опір однієї фази проводу від системи до ЦРП:

$$R = 1,1 \cdot 0,5 = 0,55 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно втрати електроенергії в цій лінії:

$$\Delta E_{\text{д}} = 3 \cdot n \cdot I_M^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 2 \cdot 45,33^2 \cdot 0,55 \cdot 919,59 \cdot 10^{-3} = 6235,62 \text{ (кВт}\cdot\text{год/рік)}.$$

Розрахунок втрат електроенергії в лініях заносимо до табл. 4.7.

Таблиця 4.7– Втрати електроенергії в лініях

| Лінія            | Марка кабелю       | К-сть ліній | Довжина, км | $I_M$ , А | R, Ом | $\tau$ , год./рік | Rпит, Ом/км | $\Delta E_{\text{л}}$ , кВт·год. |
|------------------|--------------------|-------------|-------------|-----------|-------|-------------------|-------------|----------------------------------|
| РП «Рошен» - ТП1 | АПвЭгПу-10 3(1x35) | 2           | 0,5         | 45,33     | 0,55  | 919,59            | 1,1         | 6235,62                          |
| Разом            |                    |             |             |           |       |                   |             | 6235,62                          |

Втрати електроенергії в ТП визначають за формулою, тис. кВт·год./рік:

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} \cdot T_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left( \frac{S_{\Phi}}{S_H} \right)^2 \cdot \tau,$$

де  $n$  - кількість трансформаторів;

$\Delta P_{кз}$  і  $\Delta P_{хх}$  – величини номінальних втрат у трансформаторах, відповідно, при короткому замиканні і холостому ході, кВт;

$T_p$  - час роботи трансформаторів, год./рік (приймається рівним 8760 год./рік);

$S_{ф}$  - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

$S_n$  - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Результати розрахунку заносимо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Втрати енергії в трансформаторах

| №     | Тип    | шт | $\Delta P_{х}$ , кВт | $\Delta P_{к}$ , кВт | $S_p$ , кВА | $S_n$ , кВА | $\Delta E_T$ , кВт*год./рік |
|-------|--------|----|----------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| КТП-1 | ТМ-630 | 2  | 1,31                 | 8,5                  | 784,21      | 630         | 29032,34                    |
| Разом |        |    |                      |                      |             |             | 29032,34                    |

Загальна потреба підприємства в електроенергії, кВт·год./рік:

$$E = E_a + \Delta E_{л} + \Delta E_T = 1304340 + 6235,62 + 29032,34 = 1339607,96 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Оплата за спожиту електроенергію, грн./рік:

$$П = v \cdot E,$$

де  $v$  – тарифна плата за електроенергію,  $v = 2,8$  грн./кВт·год [14];

$E$  - кількість електроенергії, що споживається;

$$П = v \cdot E = 2,8 \cdot 1339607,96 = 3750902,29 \text{ (грн.)}.$$

#### 4.3.2 Розрахунок собівартості електроенергії

Собівартість корисної споживаної підприємством однієї кіловат-години електроенергії, грн./кВт·год.:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a},$$

де  $C_{\text{сум}}$  – величина сумарних витрат підприємства на електроенергію, грн/рік;

$E_a$  – річна кількість корисно споживаної підприємством електроенергії, тобто без врахування втрат у лініях і трансформаторах, кВт·год./рік.

Отже, загальні (сумарні) витрати підприємства на електроенергію за рік будуть складати, грн./рік:

$$C_{\text{сум}} = П + C_{\text{п}},$$

де  $П$  – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{\text{п}} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ір}}$  – річні витрати підприємства при передаванні електроенергії, їх величина наведена в табл. 4.6 і складає величину

$C_{\text{п}} = 393554,47$  (грн/рік).

Отже, сумарні витрати:

$$C_{\text{сум}} = П + C_{\text{п}} = 3750902,29 + 393554,47 = 4144456,76 \text{ (грн/рік)}.$$

Таким чином, собівартість електроенергії:

$$S = \frac{C_{\text{сум}}}{E_a} = \frac{4144456,76}{1304340} = 3,18 \text{ (грн./кВт·год.)}.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 –Результати розрахунків

| Показники                              | Позначення       | Величина показників | Одиниця вимірювання |
|--|------------------|---------------------|---------------------|
| Кількість корисно спожитої ел.енергії  | $E_a$            | 1304340,00          | кВт·год.            |
| Річне спожив. ел.енергії із втратами   | $E$              | 1339607,96          | кВт·год.            |
| Плата за електроенергію                | $П$              | 3750902,29          | грн.                |
| Витрати на перед. і розпод. ел.енергії | $C_{\text{п}}$   | 393554,47           | грн.                |
| Сумарні витрати підприємства           | $C_{\text{сум}}$ | 4144456,76          | грн.                |
| Собівартість ел.енергії                | $S$              | 3,18                | грн./кВт·год.       |



В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників СЕП підприємства ТОВ «Вінниця-млин» та розраховано собівартість електричної енергії.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній кваліфікаційній роботі здійснено аналіз ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності ТОВ «Вінниця-млин». На сьогодні, у зв'язку зі зростанням темпів розвитку сучасного виробництва значно зросли роль і значення охорони праці на підприємстві. Для дотримання нормального режиму праці робітників роботодавць зобов'язаний створити безпечні та сприятливі умови роботи для досягнення високих та ефективних результатів. Про це йдеться, зокрема в Законі України «Про охорону праці». Законодавством України встановлені соціальні гарантії у сфері охорони праці найманих працівників, які потрібно виконувати в обов'язковому порядку.

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основна мета охорони праці – зведення до мінімуму імовірності травматизму та захворювань працівників. Це здійснюється за рахунок забезпечення нормальних умов праці.

На електротехнічний оперативно-ремонтний персонал, згідно ГОСТ 12.0.003-74, діють такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1). фізичні:

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- підвищена та знижена рухомість повітря;

- недостатнє природне освітлення;
- підвищений рівень вібрації;
- знижена вологість повітря;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- незахищені рухомі елементи виробничого обладнання .

## 2). хімічні:

- загальнотоксичні речовини, які діють на нервову систему (окис вуглецю);
- подразнюючі речовини, що діють на очі, ніс, тіло людини (окис азоту).

## 3). психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (статичні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

## 5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

### 5.1.1 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 x 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у приміщенні струмопровідної підлоги.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:
  - розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
  - використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

-підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

### 3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

## 5.1.2 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Для опалення виробничих приміщень використовується власна котельня. В приміщенні, де розташована котельна установка знаходиться обладнання, яке відноситься до класу посудин, що працює під надлишковим тиском. Дане обладнання розміщується таким чином, що за ним можна здійснити нагляд та виконати ремонтні роботи. Згідно законодавства України, всі котли підлягають огляду інспектором з котлонагляду. Якщо в приміщенні, де розташована котельна установка, буде знайдено порушення в роботі котла або не задовільний стан котлоагрегату, то його використання припиняється, до моменту здійснення ремонту.

Обслуговуванням приміщення, де розташована котельна установка, підприємства займається машиніст установки. Експлуатація, обслуговування та ремонт здійснюється згідно інструкцій, які містять вимоги з техніки безпеки.

Персонал котельні повинен:

1. не залишати без нагляду обладнання, яке працює на газу;
2. не допускати до такого обладнання сторонніх осіб;
3. сповіщати майстру про аварійні ситуації, які виникають при роботі газового обладнання.

В котельні встановлений автоматичний блок керування насосами та компресорами, який використовується тоді, коли виникає загазованість повітря та зниження його температури нижче допустимої.

Все обладнання приміщення, де розташована когенераційна біопаливна установка, і де знаходяться прилади під тиском, заземлене та занулене. Здійснюється навмисне електричне з'єднання з нульовим проводом металевих не струмоведучих частин, що можуть опинитись під напругою.

Для забезпечення безпечних умов праці персоналу здійснюються такі заходи: автоматична зупинка обладнання при виникненні аварійної ситуації; ізоляція трубопроводів та обладнання, що має температуру стінок  $> 45^{\circ}\text{C}$ ; розміщення арматури таким чином, щоб вона була доступна для обслуговування; заземлення та занулення обладнання; герметичність обладнання; раціональне

виконання кольорової обробки приміщень; створення температурного та вологого режиму, згідно норм технологічного режиму.

В приміщенні, де розташована когенераційна біопаливна установка використовується трифазна 4-провідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Умови роботи за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом є з підвищеною небезпекою. Оскільки в приміщенні, де розташована когенераційна біопаливна установка, залізобетонна підлога, і є можливість одночасного дотику до корпусів електрообладнання та підлоги. В якості захисту від ураження електричним струмом застосовується:

1. Ізоляція струмовідних елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів, опір ізоляції нового устаткування не менше 1 кОм на 1В напруги; використання засобів орієнтації в електроустаткуванні, що запобігає помилковим діям при обслуговуванні та експлуатації електроустаткування - написи, таблички, попереджувальні знаки, сигналізація, різнокольорова ізоляція провідників окремих елементів електросхем, використання пониженої напруги 12В у стаціонарній мережі; розеток для переносного електричного освітлення на котельні і 42В у системі місцевого освітлення; підвод кабелів до електроспоживачів у трубах, розведення до електромережі в приміщеннях у каналах стін, підлоги.

2. Захисне занулення - навмисне електричне з'єднання нормально неструмовідних елементів устаткування із заземленим нульовим проводом.

3. Використання електрозахисних засобів: ізолювальні кліщі, заземлення, інструменти з ізолювальними ручками, діелектричні рукавиці, підставки для ніг на ізоляторах, покажчики відсутності напруги, плакати безпеки, огороження.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

З метою підвищення працездатності та збереження здоров'я важливим є створення працівникові (оператору котельні) стабільних метрологічних умов -

мікроклімат повітряного середовища. Він складається з: температури; відносної вологості; швидкості руху повітря; інтенсивності теплового випромінювання.

Робота оператора котельної виконується на постійних робочих місцях, сидячи, тому її можна віднести до категорії робіт легка, 1а.

В залежності від періоду року існують нормовані значення параметрів температури, відносної вологості та швидкості руху повітря. Допустимі норми температури відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення приводяться в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря

| Період року | Категорія робіт | Температура, °С             | Відносна вологість                 | Швидкість руху повітря, м/с        |
|-------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|             |                 | Допустима на робочих місцях | Доп. на пост і непост. роб. місцях | Доп. на пост і непост. роб. місцях |
| Холодний    | Легка Іа        | 21-25                       | 75                                 | не більше 0,1                      |
| Теплий      | Легка Іа        | 22-28                       | 55 при 28°С                        | 0,1-0,2                            |

Виміри приладами показників мікроклімату необхідно проводити на початку, в середині та в кінці кожного періоду року не менше 3-х разів за зміну. Температура повітря в робочій зоні, заміряна на різній висоті в приміщенні не повинна виходити протягом зміни за межі оптимальних величин при забезпеченні оптимальних показників мікроклімату, а для допустимих показників мікроклімату перепад температури повітря по висоті в робочій зоні дозволяється до 3°С. Інтенсивність теплового опромінювання на робочих місцях не повинна перевищувати нормованих величин.

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Згідно ГОСТ 12.1.005-88, концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони приміщення котельні не повинно перевищувати гранично допустиму концентрацію (ГДК). Повітря у приміщенні повинно бути чистим.

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів

| Речовина                            | Гранично допустима концентрація,<br>мг/м <sup>2</sup> |                                       | Клас безпеки |
|-------------------------------------|---|---------------------------------------|--------------|
|                                     | Максимально<br>разова, ГДК <sub>МАХ</sub>             | Середньодобова,<br>ГДК <sub>СЕР</sub> |              |
| Двоокис азоту<br>(NO <sub>2</sub> ) | 0,085   | 0,04                                  | 2            |
| Вуглець (СО)                        | 3,0   | 1,0                                   | 3            |

Для нормалізації повітря робочої зони котельня містить дві системи вентиляції: приточну та витяжну. Перша призначена для постачання чистого повітря, а друга – видаляє забруднене пилом та іншими речовинами повітря із приміщення котельні. Повітря в котельні повинно бути очищене від пилу, шкідливих домішок, крім того мати необхідну температуру і вологість для створення сприятливого мікроклімату.

### 5.2.3 Освітлення робочої зони

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, а у 20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і розумову працездатність.

Природне освітлення нормується коефіцієнтом природного освітлення – КПО або е:

$$e = E_{\text{вн}} / E_{\text{зов}} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

де  $E_{\text{вн}}$  – внутрішня природна освітленість у приміщенні в місці, що розглядається, лк;

$E_{\text{зов}}$  – зовнішня природна освітленість дифузним світлом всього небосхилу, виміряна одночасно з  $E_{\text{вн}}$ , лк.

Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості визначається за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N \quad (5.2)$$

де  $e_N$  – значення КПО;

$m_N$  – коефіцієнт теплового клімату;

$N$  – номер групи забезпеченості природним світлом.

$$e_N = 2 \cdot 0,9 = 1,8\%.$$

Оператори котельні ведуть постійний нагляд за ходом технологічного процесу, слідкують за показаннями приладів. Характеристика зорової роботи персоналу – середньої точності. Контраст об'єкту розпізнавання з фоном – середній, фон – світлий. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006, розряд зорової роботи VI, підрозряд «г». При штучному загальному освітлені освітленість – 150 лк, при комбінованому освітлені – освітленість – 300 лк.

В котельній природне освітлення верхнє і бокове. Штучне освітлення машинного залу загальне і здійснюється за допомогою газорозрядних ламп.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, люмінесцентні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом



з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з люмінесцентними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Під поняттям шуму розуміють звук (або сукупність звуків різної інтенсивності та частоти) незалежно від його характеру та походження, який несприятливо впливає на здоров'я і працездатність людини та заважає сприйняттю корисної інформації. Зростання рівнів виробничих шумів, які суттєво перевищують нормативні значення. Шкідливо впливають на людський організм, знижує продуктивність праці та стає фактором ризику і виробничого травматизму. У замкненому просторі ( виробниче приміщення ) звукові хвилі багато разів відбиваються від огорожуючих поверхонь, якими є стіни, стеля, підлога при цьому рівень шуму зростає, оскільки за умов утворення дифузійного звукового поля має місце накладання відбитої звукової хвилі на пряму.

Димососи, вентилятори, насоси, пальники котлів – це основні джерела шуму котельні. Дія шуму на людину шкідлива. Нормування шуму проводиться за граничним спектром шуму і за рівнем звуку. За характером спектру шум – широкопasmовий з безперервним спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням – гідродинамічний. Допустимі рівні звукового тиску представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Допустимі рівні звукового тиску

| Вид трудової діяльності, робоче місце   | Рівні звукового тиску |    |     |     |     |      |      |      |      |
|---|-----------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|   | 31,5                  | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства | 107                   | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   |

Найбільш раціональними способами є пониження шуму в джерелі, або зміна напрямку його випромінювання. Однак вони потребують конструкторської переробки джерела, яке випромінює шум, або механізми в цілому, що є несприятливими. Але можна рекомендувати застосування менш шумного обладнання. Пониження рівнів шуму, який проникає зовні, може бути отримано збільшенням звукоізоляції огорожуючих конструкцій. Звукопоглинання є найбільш простим і в той же час найбільш достатньо ефективним способом зменшення шуму в виробничих приміщеннях. Звукопоглинаюче облицювання слід розміщувати на стелі та на верхній частині стін.

Найбільше поглинання шуму досягається при облицюванні 60% та більше загальної поверхні приміщення. Ефект пониження шуму збільшується із зниженням висоти приміщення.

### 5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація – процес розповсюдження механічних коливань різних видів у твердому тілі з частотою від 3 до 100 Гц . Параметри, які нормуються згідно ДЕСТ 12.1.012-90 є: середньоквадратичне значення віброшвидкості  $V$  (та їх

логарифмічних рівнів  $L_v$ ) або віброприскорення  $A$  (та їх логарифмічні прискорення  $L_a$ ).

У приміщенні котельні розміщуються прилади, що є джерелом вібрації. Дії вібрації на людину класифікуються по способу передачі вібрації на загальну і локальну (місцеву). В котельні на людину діє загальна і місцева вібрація. Загальна вібрація у котельні по джерелу виникнення відноситься до 3 категорії, тип «а» - технологічна, критерій оцінка – межа зниження продуктивності праці (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

| Вид вібрації   | Октавні полоси з середньо геометричними частотами, Гц |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|--|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|  | 2   | 4                 | 8                 | 16                | 31,<br>5          | 63                | 125               | 250               | 500               | 1000              |
| Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях | $\frac{1.3}{108}$                                     | $\frac{0.45}{99}$ | $\frac{0.22}{93}$ | $\frac{0.2}{92}$  | $\frac{0.2}{92}$  | $\frac{0.2}{92}$  | -                 | -                 | -                 | -                 |
| Локальна вібрація  | -   | -                 | $\frac{2.8}{115}$ | $\frac{1.4}{109}$ | $\frac{1.4}{109}$ | $\frac{1.4}{109}$ | $\frac{1.4}{109}$ | $\frac{1.4}{109}$ | $\frac{1.4}{109}$ | $\frac{1.4}{109}$ |

Основними засобами колективного захисту є: зниження вібрації впливає на джерело збудження, динамічне гасіння коливань та заміна конструктивних елементів пристроїв та будівельних конструкцій.

### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

а) Класи умов праці за показниками важкості праці:

Загальні енергозатрати організму (кґ/м):

Зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кґ/(Вт).

При регіональному навантаженні (для чоловіків) - 12 000(40).

При загальному навантаженні ( за участю м'язів рук, тулуба, ніг) - 40 000(80).

Маса вантажу. Що постійно підіймається – до 25.

Стереотипні робочі рухи:

При локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60 000.

При регіональному навантаженні (участь рук та плечового суглоба ) – до 30 000;

Статичне навантаження (кг/с):

двома руками (чоловіки) – до 70 000.

За участю м'язів тулуба та ніг – до 200 000.

Робоча поза:

періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% часу зміни.

Нахил тулуба:

вимушені нахили протягом зміни – 150 разів.

Переміщ. у просторі(переходи задля технологічного процесу) – більше 12.

б) Класи умов праці за показниками напруженості праці:

інтелектуальні навантаження:

зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом.

Сприймання інформації та їх оцінка - сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій.

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

зосередження (%за зміну) - до 50.

Щільність сигналів (звукові за 1 год) - до 150.

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80.

Навантаження на голосовий апарат ( протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження:

ступінь відповідальності за результат своєї діяльності - є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний.

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

тривалість робочого дня - більше 8 год;

змінність роботи – тризмінна (цілодобова).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи електропостачання є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. ТОВ «Вінниця-млин» відноситься до підприємств перебої в роботі якого можуть спричинити гуманітарну катастрофу. Тому важливим питанням є забезпечення високої стійкості роботи СЕП.

Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем управління СЕП. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення, блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і загорання трансформаторів.

В результаті опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і

діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Серед загрозливих чинників надзвичайних ситуацій особливо великий вплив на СЕП має вплив електромагнітного імпульсу (ЕМІ). Він може призвести до загорання електронних елементів, зокрема транзисторів КТ-646, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Ці наслідки в подальшому призводять до пожеж на підприємстві, а в подальшому розвитку можливі і вибухи. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

### 5.3.1 Дослідження стійкості роботи СЕП ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо граничні значення дози опромінення  $\dot{A}_{\text{доз}}$ , для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Граничні значення експозиційних доз елементів СЕП

| № | Блоки СЕП            | Елементна база СЕП       | $D_{\text{Грі}}, \text{P}$ | $D_{\text{Гр}}, \text{P}$ |
|---|----------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 | Блок живлення        | Мікросхема К 1533 РЕЗ    | $10^5$                     | $10^4$                    |
| 2 | Блок керування СВП-4 | Транзистори КТ-646       | $10^4$                     |                           |
|   |                      | Діоди Д224А              | $10^4$                     |                           |
|   |                      | Конденсатори СП5-30      | $10^7$                     |                           |
|   |                      | Резистори ПЭВ 100-150 Ом | $10^7$                     |                           |
| 3 | Силові елементи      | Трансформатор ТМ-100/6   | $10^7$                     |                           |
|   |                      | Тиристори Т171-320-1.6   | $10^5$                     |                           |
|   |                      | Дросель РЛМ3216          | $10^5$                     |                           |
|   |                      | Реактори ФРОС-125/0.5УЗ  | $10^5$                     |                           |

Проаналізувавши дані таблиці 5.5 визначили, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою  $D_{\text{Грі}} = 10^4 \text{P}$  є транзистори та діоди а

також елементи блоку живлення. Блок живлення в разі дії на нього іонізуючих випромінювань можна перенести в підвальне приміщення, що збільшить його стійкість. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{\pi}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (5.3)$$

де  $P_1$  – максимальне значення рівня радіації ( $P_1 = 4,76$  Р/год);

$t_k$  – час кінця опромінення ( $t_k = 131400$  год (5 років));

$t_{\pi}$  – час початку опромінення ( $t_{\pi} = 1$  год).

$K_{\text{осл}}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{\text{осл}} = 2$ ).

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,76 (\sqrt{44640} - \sqrt{1})}{2} = 1000,94 \text{ (Р)}.$$

Оскільки  $D_{\text{гр}} > D_M$ , то дана система стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.4)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 2 + 4 \cdot 4,76 \cdot \sqrt{1}}{4 \cdot 4,76} = 1023,77 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази  $D_M = 1000,94$  Р, а допустима –  $10^4$  Р. Отже, система СЕП є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 1023,77 год., при рівні радіації 4,76 Р/год.

### 5.3.2 Дослідження стійкості роботи СЕП ТОВ «Вінниця-млин» в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = E_v \cdot 10^{-3}, \text{ кВ/м,}$$

$$E_r = 10,96 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 10,96 \text{ (В/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки.

$$U_{гi} = E_B \cdot I_{гi}, \text{ В},$$

$$U_{гi} = 10,96 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 5480 \text{ (В)}.$$

$$U_{вi} = E_T \cdot I_{вi}, \text{ В},$$

$$U_{вi} = 10,96 \cdot 0,5 = 5,48 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{д} = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (5.5)$$

де  $N$  – відсоток допуску.

$$U_{д} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)},$$

$$U_{д} = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)},$$

$$U_{ä} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

$$K_{\sigma} = 20 \cdot \lg \frac{U_{д}}{U_{г(в)}} \geq 40 \text{ [дБ]},$$

Горизонтальної:

$$K_{\sigma_{г1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{5480} = -52,47 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\sigma_{г2}} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{5480} = -46,45 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\sigma_{г3}} = 20 \cdot \lg \frac{399}{5480} = -22,46 \text{ (дБ)}.$$

Вертикальної:

$$K_{\sigma_{в1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{5,48} = 7,5 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\sigma_{в2}} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{5,48} = 13,54 \text{ (дБ)},$$



$$K_{бв3} = 20 \cdot \lg \frac{399}{5,48} = 37,53 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Значення коефіцієнтів безпеки системи електропостачання

| № | Найменування блоків    | $K_{бг}$ , дБ | $K_{бв}$ , дБ | Результат дії |
|---|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | Блок живлення, 12 В    | -52,47        | 7,5           | Нестійкий     |
| 2 | Блок управління, 24 В  | -46,45        | 13,54         | Нестійкий     |
| 3 | Силові елементи, 380 В | -22,46        | 37,53         | Нестійкі      |

Границя стійкості системи керування  $K_{бмін} = -52,47$  дБ, а  $K_{бгр} = 37,53$ .

Отже, система є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості необхідно використовувати екранування напівпровідникових елементів та горизонтальних струмопровідних елементів.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 + K_{бмін}, \quad (5.6)$$

для БЖ:

$$A_1 = 40 + 52,47 = 92,47 \text{ (дБ)};$$

для БУ:

$$A_2 = 40 + 46,45 = 86,45 \text{ (дБ)};$$

для СЕ:

$$A_3 = 40 + 22,46 = 62,46 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.7)$$

де  $f$  - найбільш характерна частота, ( $f = 15$  кГц).

Для БЖ:

$$t_1 = \frac{92,47}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1 \text{ (см)};$$

для БУ:

$$t_2 = \frac{86,45}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,091 \text{ (см)};$$

для СЕ:

$$t_3 = \frac{62,44}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,082 \text{ (см)}.$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною до 1 мм зі сталі, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,9 мм вони будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

### Висновки

В умовах дії іонізуючого випромінювання система електропостачання залишається стійкою. Тому іонізуюче випромінювання для обладнання не є таким небезпечним, як для обслуговуючого персоналу. Для нормальної роботи об'єкта під час аварій з такими наслідками, як іонізуюче випромінювання, потрібно розраховувати робочі зміни для обслуговуючого персоналу з врахуванням їх допустимої дози опромінення.

Після проведених розрахунків визначено, що робота системи електропостачання буде стійка протягом 1023,77 год, при заданому рівні радіації 4,76 Р/год. До дії ЕМІ система керування виявилась нестійкою. Застосування екранування систем електропостачання суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 10,96 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії ЕМІ є зменшення струмопровідних довжини провідників шляхом вдосконалення схемокомпоновки елементів СЕП. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали електронні схеми на період впливу ЕМІ.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи щодо аналізу ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінниця-млин на основі проведених розрахунків прийняті такі рішення.

Проведено техніко-економічне обґрунтування розрахунків і зроблено висновок про економічну доцільність системи електропостачання.

Визначені середні та розрахункові навантаження цехів і підприємства в цілому методом коефіцієнтів використання та попиту. Знайдена потужність та місце розташування цехової ТП, було вибрана одна двотрансформаторна ЦТП з трансформаторами ТМ – 630/10. Також було обрано оптимальний переріз кабельних ліній живлення. Підприємство живиться двома кабельними лініями марки ААБ перерізом 35 мм<sup>2</sup>.

Визначено координати розміщення ЦРП за мінімумом приведених затрат в кабельних лініях. При такому розміщенні ЦРП витрати на спорудження, а також сумарні затрати по СЕП заводської мережі будуть мінімальними.

Для автоматизації розрахунків були використані такі засоби як: процесор Excel, математичний САПР MathCad, текстовий процесор Word та графічний редактор Microsoft Visio.

Основним результатом роботи в напрямку ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінниця-млин» стало дослідження роботи частотно-керованого електропривода з активним фільтром вищих гармонік, які були проведені на моделі електропривода в середовищі MATLAB з використанням програми Simulink. Проведений експеримент дав можливість виконати спектральний аналіз фазного струму на

вході перетворювача частоти а також відповідного струму в мережі живлення з використанням силового активного фільтра. На базі проведеного експерименту продемонстровано підхід до оптимізації процесу динамічної компенсації реактивної потужності під час пуску асинхронних електроприводів в електропостачальній системі обмеженої потужності.

Розрахована економічна частина роботи з визначенням величини капітальних вкладень, плати за електроенергію, кількості робітників а також собівартості електроенергії. Робота містить також розділ з охорони праці. Виконані розрахунки забезпечують надійне та якісне електропостачання ТОВ «Вінниця-млин».

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. – 2-е вид. перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 148 с.
2. Указания по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4–92.
3. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети /под общ. ред. Фёдорова А.А., Сербиновского Г. В -М. .Энергия, 1980.
4. Мешков В.В. Основы светотехники: Учебное пособие для техникумов / В.В. Мешков. — М.: Энергоатомиздат, 1979. — 368 с.
5. Довідник продукції Харківського заводу «Южмаш»- [Електронний ресурс]- Режим доступу:  
<http://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=10&MRI=100105>.
6. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.
7. Бурбело, М. Й. Динамічна компенсація реактивної потужності в пускових режимах електроприводів : монографія / М. Й. Бурбело, А. В. Гадай. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 104 с.
8. Гадай А.В.. Компенсація реактивної потужності в пускових режимах асинхронних та синхронних електроприводів. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Вінниця, 2009, 22 с.

9. Важнов Р. К. Переходные процессы в машинах переменного тока / Р. К. Важнов. – Л.: Энергия, 1980. – 256 с.
10. Аномальные режимы крупных синхронных машин / Е. Я. Казовский, Я. Б. Данилевич, Э. Г. Каширский, Г. В. Рубисов. – Л.: Наука, 1969. – 429 с.
11. Копылов И. П. Электромеханические переходные режимы при асинхронном пуске синхронного двигателя / И. П. Копылов, Ф. А. Мамедов, Л. Н. Васильев // Электротехника. – 1977. – №1. – С. 6–8.
12. Бурбело М. Й. Зменшення знижень напруги під час пуску асинхронних двигунів з використанням індивідуальної компенсації реактивної / М. Й. Бурбело, А. В. Гадай // Матеріали II-ї міжнародної науково-технічної конференції „Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах”. – Луцьк: Луцький національний технічний університет. – 2008. – С. 37–40.
13. Конденсаторные установки. Особенности компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий <http://n-tel.com.ua/nov1.html>
14. [http://www.voe.com.ua/consumers/legal\\_entities/fees?year=2019@month=1](http://www.voe.com.ua/consumers/legal_entities/fees?year=2019@month=1)  
ПАТ «Вінницяобленерго». Тарифи на електроенергію з 1 січня 2019 року.
15. Демов О.Д., Бірюков О.О., Мельничук Л.М. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 92 с.
16. Єдина тарифна сітка розрядів і коефіцієнтів з оплати праці працівників установ та організацій окремих галузей бюджетної сфери. Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/ST000596.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ST000596.html)
17. ГОСТ 12.0.003 – 74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.
18. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
19. ГОСТ 12.1.008-83 - «Шум. Общие требования безопасности».
20. СН 32.23-85 "Санитарные нормы допустимого шума на рабочих местах".
21. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці” в

дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей  
/Уклад. О.В. Кобилянський, О.П. Терещенко – В. : ВНТУ, 2003.- 46 с.

22. О. М. Ілик, О. Д. Демов економія електроенергії і зниження втрат в електричних мережах. С. 3257-3258 / Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2018) 14-23 березня 2018 року. Збірник доповідей. Електронне мережне наукове видання, м. Вінниця, 2018. – Режим доступу: [https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/feeem\\_2018\\_netpub.pdf](https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/feeem_2018_netpub.pdf)

## Додатки

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
“    ” \_\_\_\_\_ 2019р.

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.  
“    ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему:

«Аналіз ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінниця-млин»

08-17.МКР.010.00.125 ТЗ

Науковий керівник:

д.т.н., професор Бурбело М.Й.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 18м

Ілик О.М.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Вінниця 2019 р.



## 1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 254 від 02 . 10 .19 р.

Дата початку роботи 07 . 10 .19 р.

Дата закінчення роботи 03 . 12 .19 р.

## 2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) мета – аналіз ефективності використання пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності в системі електропост. ТОВ «Вінниця-млин»;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

генплан підприємства (об'єкта); відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства (цеха, об'єкта, ділянки, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники.

## 3. Джерела розробки

3.1 Бурбело, М. Й. Динамічна компенсація реактивної потужності в пускових режимах електроприводів : монографія / М. Й. Бурбело, А. В. Гадай. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 104 с.

3.2 Бурбело М. Й. Зменшення знижень напруги під час пуску асинхронних двигунів з використанням індивідуальної компенсації реактивної / М. Й. Бурбело, А. В. Гадай // Матеріали II-ї міжнародної науково-технічної конференції „Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах”. – Луцьк: Луцький національний технічний університет. – 2008. – С. 37–40.

3.3 Конденсаторные установки. Особенности компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий <http://n-tel.com.ua/nov1.html>

#### 4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

| Зміст етапу  | Термін виконання |          |
|--|------------------|----------|
|  | початок          | кінець   |
| 4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження                             | 02.09.19         | 04.10.19 |
| 4.2 Проведення дослідних розрахунків   | 04.10.19         | 10.11.19 |
| 4.3 Розробка робочих креслень  | 10.11.19         | 21.11.19 |
| 4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи | 21.11.19         | 03.12.19 |

#### 5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

#### 6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

#### 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

#### 8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається