

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ, ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ТА  
МЕХАТРОНИКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ С.В. Єнчев  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

**Тема: «Системи електропостачання ПрАТ «Оболонь»**

Виконавець \_\_\_\_\_ студент групи М-141-24-1-МН Беляєв Нікіта  
Сергійович

(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник Керівник \_\_\_\_\_ к.т.н., професор Квасніков Володимир Павлович  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_ І.В. Якимець  
(підпис) (ПІБ)

Консультант розділу «Охорона  
навколишнього середовища»: \_\_\_\_\_ Т.І. Дмитруха  
(підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_  
(підпис) (ПІБ наукового керівника)

КИЇВ 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО**  
**«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»**

Факультет аерокосмічний  
Кафедра електричної інженерії, енергоменеджменту та мехатроніки  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»  
**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
С.В.Єнчев  
«31» липня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання кваліфікаційної роботи (проекту)**  
Беляєв Нікіта Сергійович  
(П.І.Б. випусника)

1. 1. Тема кваліфікаційної роботи **«Системи електропостачання ПрАТ «Оболонь»** затверджена наказом в.о. Президента КАІ «Про затвердження тем та призначення керівників кваліфікаційних робіт» від «31» липня 2025 р. №1337/ст.

2. Термін виконання кваліфікаційної роботи: з 29.09.2025р. по 31.12.2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Дослідження систем електропостачання ПрАТ «Оболонь» мережі 10/0,4 кВ, ГПП, ГРЩ, внутрішні кабельні лінії. Вихідними даними для розрахунків є фактичний режим електроспоживання підприємства: добове споживання електроенергії 2,7 МВт·год/добу, напруга живлення 10 кВ, внутрішні мережі 0,4 кВ, частота 50 Гц. На ГПП встановлено 2 силові трансформатори 10/0,4 кВ по 1000 кВА, живлення основних споживачів здійснюється через ГРЩ 0,4 кВ. Основні групи навантаження: технологічні електроприводи, холодильне та компресорне обладнання, насосні агрегати, освітлення, АСУ ТП. Економічні розрахунки виконуються при середній вартості електроенергії 8,5 грн/кВт·год. Методика дослідження включає розрахунок навантажень, струмів, вибір і перевірку кабельних ліній, оцінку втрат електроенергії

та обґрунтування компенсації реактивної потужності відповідно до чинних нормативних документів ПУЕ, ДБН, ДСТУ, ІЕС.

4. Зміст пояснювальної записки: **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРАТ «ОБОЛОНЬ», РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ПРАТ «ОБОЛОНЬ», РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА, РОЗДІЛ 4 Охорона довколишнього середовища, РОЗДІЛ 5 Охорона праці**

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: презентація

## 6. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Аналіз та обґрунтування вибору інформаційних джерел	31.07.2025 - 01.09.2025	<i>Виконано</i>
2.	Збір та аналіз даних інформаційного характеру. Обґрунтування вибору рішення щодо тематики дослідження	05.09.2025 - 14.09.2025	<i>Виконано</i>
3.	Обробка відповідного теоретичного та практичного технічного матеріалу.	20.09.2025- 26.09.2025	<i>Виконано</i>
4.	Робота над розділом №1.	05.10.20 - 11.10.2025	<i>Виконано</i>
5.	Робота над розділом №2.	14.10.2025 - 19.10.2025	<i>Виконано</i>
6.	Робота над розділом №4.	27.10.2025 - 15.11.2025	<i>Виконано</i>
7.	Розгляд питання охорони праці	06.12.2025 - 07.12.2025	<i>Виконано</i>
8.	Розгляд питання охорони навколишнього середовища	08.12.2025 - 09.12.2025	<i>Виконано</i>
9.	Робота над оформленням обов'язкового ілюстрованого матеріалу, оформлення пояснювальної записки	10.12.2025 - 11.12.2025	<i>Виконано</i>
10.	Перевірка роботи на доброчесність. Підготовка до захисту	18.12.2025	<i>Виконано</i>

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Якимець І.В..		01.09.2025
Охорона навколишнього середовища	Дмитруха Т.І.		01.09.2025

8. Дата видачі завдання: «01» вересня 2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ проф. Квасніков В.П.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

«Системи електропостачання ПрАТ «Оболонь»: 111 с., 10 табл., 67 літературних джерела.

Тема кваліфікаційної роботи Power supply systems of PJSC “Obolon”

**Об’єкт дослідження:** система електропостачання ПрАТ «Оболонь» (мережі 10/0,4 кВ, головна понижувальна підстанція, розподільчі пристрої та внутрішні кабельні лінії підприємства).

**Предмет дослідження:** режими електроспоживання та технічні параметри системи електропостачання ПрАТ «Оболонь», зокрема структура електричних навантажень, добовий графік навантаження, втрати електроенергії, показники якості електроенергії, коефіцієнт потужності та заходи з компенсації реактивної потужності.

**Мета роботи:** проаналізувати існуючий стан системи електропостачання ПрАТ «Оболонь» і на основі розрахунків навантажень та втрат обґрунтувати технічні рішення для підвищення надійності, якості електроенергії та енергоефективності, включно з вибором параметрів кабельних ліній і системи компенсації реактивної потужності.

**Наукова новизна:** удосконалено підхід до обґрунтування параметрів системи електропостачання ПрАТ «Оболонь» на основі поєднання аналізу добового графіка навантаження з розрахунком втрат у ключових елементах мережі 0,4 кВ та вибором ступінчастої компенсації реактивної потужності, що дозволяє обґрунтовано оцінити вплив підвищення  $\cos \varphi$  на струмові режими та енергетичні втрати підприємства.

**Методи дослідження:** аналітичний метод аналізу структури електроспоживання та нормативних вимог; розрахунковий метод визначення потужностей, струмів, падіння напруги, втрат у кабельних лініях і трансформаторі; метод порівняння варіантів через оцінка режимів до та після впровадження компенсації реактивної потужності; графічний метод за допомогою побудови та

аналізу добового графіка навантаження; техніко-економічний аналіз оцінки очікуваної економії електроенергії та витрат.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** системи електропостачання, ПрАТ «Оболонь», електричні навантаження, добовий графік навантаження, річне споживання електроенергії, кабельні лінії 0,4 кВ; мережа 10 кВ, ГПП, ГРЩ, силові трансформатори 10/0,4 кВ, втрати електроенергії; падіння напруги, якість електричної енергії, коефіцієнт потужності ( $\cos \varphi$ ), реактивна потужність, компенсація реактивної потужності, автоматизована конденсаторна установка, електрозахист, АВР, енергоефективність, економічний ефект

### **Короткий опис роботи**

У роботі виконано аналіз існуючого стану системи електропостачання ПрАТ «Оболонь» та досліджено структуру і режими електроспоживання підприємства на основі добових графіків навантаження. Проведено розрахунок електричних навантажень основних груп споживачів, оцінено втрати електроенергії в кабельних лініях і силовому трансформаторі та проаналізовано коефіцієнт потужності мережі 0,4 кВ. Обґрунтовано технічні рішення з підвищення енергоефективності та надійності, зокрема вибір перерізів кабельних ліній, перевірку їх за падінням напруги та впровадження системи компенсації реактивної потужності. Розраховано очікуваний ефект від запропонованих заходів у вигляді зменшення струмів, втрат і річних витрат на електроенергію. Окремо розглянуто вимоги охорони праці та охорони навколишнього середовища при експлуатації електроустановок підприємства.

## **ЗМІСТ**

ВСТУП.....	10
------------	----

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРАТ «ОБОЛОНЬ».....	12
1.1. Загальна характеристика підприємства та електроспоживання.....	12
1.2. Нормативна база та стандарти якості електропостачання.....	12
1.3. Структура системи електропостачання, внутрішні мережі та принципи побудови.....	13
1.4. Вимоги до якості електроенергії та заходи щодо їх дотримання.....	15
1.5. Особливості електроспоживання при технологічних циклах та потреба в резервуванні.....	16
1.6. Висновок щодо поточного стану.....	16
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ПРАТ «ОБОЛОНЬ».....	18
2.1. Загальна структура енергоспоживання підприємства.....	18
2.1.1. Характеристика основних груп навантаження.....	18
2.2. Добові та річні графіки електричних навантажень підприємства.....	21
2.2.1. Основні фактори, що впливають на добовий графік навантаження.....	22
2.2.2. Формування добового графіка навантаження.....	23
2.2.4. Річний графік навантажень.....	25
2.2.5. Формальна модель річного навантаження.....	26
2.3. Аналіз втрат електроенергії в системі електропостачання підприємства...	28
2.3.1. Структура втрат електроенергії.....	29
2.3.2. Розрахунок втрат у трансформаторі.....	29
2.3.3. Розрахунок втрат у кабельних лініях.....	30
2.3.4. Втрати від низького $\cos \varphi$ .....	30

2.3.5. Втрати від гармонік.....	30
2.3.6. Загальні сумарні втрати електроенергії.....	30
2.4. Оцінка коефіцієнта потужності та перетоків реактивної енергії.....	31
2.4.1. Теоретичні основи коефіцієнта потужності та реактивної енергії.....	32
2.4.2. Оцінка існуючого коефіцієнта потужності підприємства.....	32
2.4.3. Необхідний коефіцієнт потужності та цільові значення.....	34
2.4.4. Розрахунок необхідної потужності компенсаційної установки.....	35
2.4.5. Оцінка річних перетоків реактивної енергії.....	36
2.5. Оцінка ефективності роботи трансформаторних підстанцій підприємства.....	37
2.5.1. Прийнята схема трансформаторної підстанції.....	37
2.5.2. Технічні характеристики силових трансформаторів.....	38
2.5.3. Аналіз завантаження трансформатора.....	39
2.5.4. Розрахунок ККД трансформатора при різних завантаженнях.....	40
2.5.5. Оцінка ефективності та можливі напрями покращення.....	42
2.6. Висновки до розділу .....	43
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....</b>	<b>47</b>
3.1. Розрахунок електричних навантажень ПрАТ «Оболонь».....	47
3.1.1. Вихідні дані для розрахунку.....	47
3.1.2. Групування електроприймачів за категоріями та призначенням.....	48
3.1.3. Розрахунок активної розрахункової потужності по групах.....	49
3.1.4. Розрахунок повної потужності та струмів головної мережі 0,4 кВ.....	50
3.2. Розрахунок перерізів кабельних ліній та вибір марок кабелів.....	51

3.2.1. Вихідні дані для розрахунку окремих ліній.....	51
3.2.2. Розрахунок струмів по окремих лініях.....	52
3.2.3. Вибір перерізів кабелів за допустимим струмом.....	53
3.2.4. Перевірка вибраних перерізів кабелів за допустимим падінням напруги.....	54
3.3. Розрахунок втрат напруги та втрат електроенергії в кабельних лініях.....	58
3.3.1. Розрахунок втрат у лініях L1 та L3.....	59
3.3.2. Узагальнення втрат у трьох основних лініях.....	60
3.4. Розрахунок параметрів системи компенсації реактивної потужності ПрАТ «Оболонь».....	61
3.4.1. Вихідні дані для розрахунку установки компенсації.....	61
3.4.2. Визначення необхідної компенсуючої потужності.....	62
3.4.3. Вибір структури та ступенів батареї конденсаторів.....	63
3.4.4. Орієнтовний розрахунок струмів і вибір апаратури АКУ.....	64
3.4.5. Оцінка ефекту від компенсації з точки зору повної потужності та струмів.....	65
3.5. Розрахунок очікуваної економії електроенергії після впровадження системи компенсації реактивної потужності.....	66
3.5.1. Загальні передумови розрахунку.....	66
3.5.2. Зменшення повної потужності та струмів після компенсації.....	68
3.5.3. Економія електроенергії в кабельних лініях.....	69
3.5.4. Економія електроенергії в силовому трансформаторі.....	70
3.5.5. Загальна очікувана економія електроенергії.....	71
3.5.6. Орієнтовна економія коштів.....	72

3.6. Перевірка вибраного обладнання та відповідність умовам експлуатації....	72
3.6.1. Перевірка кабельних ліній на термічну стійкість при струмах короткого замикання.....	72
3.6.2. Перевірка струмових навантажень та відповідності апаратури умовам експлуатації.....	74
3.6.3. Відповідність системи компенсації реактивної потужності умовам роботи підприємства.....	76
3.6.4. Висновки до розрахункової частини.....	77
РОЗДІЛ 4. Охорона довколишнього середовища.....	79
4.1. Нормативно-правова база охорони довкілля в Україні.....	79
4.2. Екологічні аспекти роботи систем електропостачання ПрАТ «Оболонь»...	91
4.3. Заходи зі зниження екологічного впливу систем електропостачання.....	82
4.3.1. Підвищення енергоефективності електропостачання.....	83
4.3.2. Запобігання забрудненню ґрунтів і вод трансформаторними оливами...	84
4.3.3. Обмеження впливу електромагнітних полів та шуму.....	84
4.3.4. Раціональне поводження з відходами електротехнічного обладнання...	84
4.3.5. Екологічні аспекти зовнішнього та внутрішнього освітлення.....	86
4.4. Інтеграція заходів у систему екологічного управління підприємства.....	87
РОЗДІЛ 5. Охорона праці.....	89
5.1. Правові основи охорони праці.....	89
5.2. Загальні заходи щодо забезпечення електробезпеки.....	94
5.3. Розрахунок захисного заземлення трансформаторної підстанції.....	96

5.4. Пожежна безпека.....	99
ВИСНОВКИ.....	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	106

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічними процесами

АВР - автоматичне введення резерву

АКУ - автоматизована конденсаторна установка

ГПП - головна понижувальна підстанція

ГРЩ - головний розподільчий щит

ДБН - державні будівельні норми

ДГУ - дизель-генераторна установка

ДСТУ - державний стандарт України

IEC - International Electrotechnical Commission (Міжнародна електротехнічна комісія)

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки)

IT-інфраструктура - інформаційно-телекомунікаційна інфраструктура

LED - Light Emitting Diode (світлодіод)

ОСР - оператор системи розподілу

UPS - Uninterruptible Power Supply (джерело безперебійного живлення)

VFD - Variable Frequency Drive (частотно-регульований електропривод)

XLPE - Cross-Linked Polyethylene (зшитий поліетилен)

THD - Total Harmonic Distortion (коефіцієнт гармонічних спотворень)

кВ - кіловольт

кВА - кіловольт-ампер

кВт - кіловат

кВт·год - кіловат-година

квар - кіловольт-ампер реактивний

ЛЕП - лінія електропередачі

ПБЕЕС - правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

ПУЕ - правила улаштування електроустановок

ТП - трансформаторна підстанція

CIP - Cleaning In Place (система автоматизованого миття обладнання)

## **ВСТУП**

В наш час промислові підприємства не можуть ефективно працювати без стабільного та якісного електропостачання. Система електропостачання промислових об'єктів є складним енергетичним комплексом, що включає в себе трансформаторні підстанції, розподільчі пункти, кабельні та повітряні лінії, системи релейного захисту, автоматики та обліку. Загальна довжина внутрішніх кабельних мереж великих

підприємств може доходити до сотень кілометрів, а навантаження до десятків мегават. [35]

Електропостачання промислових підприємств за схемами побудови можуть бути, від найпростіших, без трансформації напруги, до розгалужених систем із декількома рівнями розподілу та резервування. Але незалежно від складності будови, для таких систем особливо важливо стоять питання оптимізації втрат потужності й електроенергії, підвищення надійності електропостачання, забезпечення якості електричної енергії, а також енергетичної ефективності. Вирішення цих питань є дуже важливим на етапі проектування системи електропостачання, тому що саме проєкт визначає економічність та надійність експлуатації на довгий час.

ПРАТ «Оболонь» є одним із провідних промислових підприємств України та найбільшим пивоварним виробником країни. В умовах стану нашої нинішньої енергетичної системи компанія активно розробляє та впроваджує комплексні заходи з підвищення енергоефективності та модернізації своїх електротехнічних інфраструктур. Зростаючі вимоги до безперервності технологічних процесів зумовлюють необхідність оптимізації внутрішньої системи електропостачання, встановлення сучасного комутаційного обладнання, систем автоматики та резервних джерел живлення, особливу увагу підприємство приділяє до розвитку власної виробки енергії, що дозволяє знизити залежність від зовнішнього енергопостачання та забезпечити стабільність виробництва.

Враховуючі всі проблеми, вивчення та аналіз сучасного стану, принципи побудови та шляхи удосконалення систем електропостачання ПРАТ «Оболонь» є актуальним та практично важливим завданням.

Комплексне вивчення системи електропостачання ПРАТ «Оболонь» є метою цієї роботи, аналіз її структури, технічного стану, надійності та ефективності, а також визначення напрямів можливого вдосконалення.



## **РОЗДІЛ 1**

# **АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРАТ «ОБОЛОНЬ»**

### **1.1. Загальна характеристика підприємства та електроспоживання**

ПрАТ «Оболонь» є одним з провідних харчових підприємств України, що залучає багато технологічних робіт: виробництва суслу, бродіння і зберігання, розлив та пакування продукції. Технологія виробництва передбачає роботу великої кількості електроенергоємного обладнання: компресорів, насосів, холодильних установок, ліній розливу, транспортерів та допоміжних систем: водопідготовка, вентиляція, освітлення, інфраструктура. Такий складний і технологічно насичений виробничий цикл створює потребу у стабільному, резервованому і якісному електропостачанні.

Для підприємства харчового типу такого, як ПрАТ «Оболонь», типовим є нерівномірний характер навантаження: пускові піки при запуску компресорів чи насосів, постійне навантаження холодильного господарства, циклічні навантаження ліній розливу, а також базове навантаження, пов'язане з освітленням, вентиляцією, об'єктами адміністративної та допоміжної інфраструктури. За оцінками спостереження та розрахунків річне споживання електроенергії для підприємств такого масштабу складає десятки мільйонів кВт/год, через що підприємству ПрАТ «Оболонь» дуже важливим є надійність живлення, резервування вводів, автоматика захистів, а також розробка та впровадження підвищення якості та стабільності електроенергії.

### **1.2. Нормативна база та стандарти якості електропостачання**

Для побудови, експлуатації й проектування систем електропостачання промислових підприємств в Україні використовують як національні, так і гармонізовані з європейськими стандартами документи, серед яких:

1. Державний стандарт ДСТУ EN 50160:2023 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення» актуальний станом на 2024-2025 роки.[13]

2. Правила улаштування електроустановок ПУЕ, як базовий норматив для проєктування кабельних, трансформаторних мереж тощо.

3. Інші нормативні документи та стандарти, які враховують вимоги до якості живлення, компенсації, захистів.[4]

4. Міжнародні та європейські стандарти електродвигунів ІЕС 60034, що регламентує ефективність і споживання електроенергії двигунами. - якщо підприємство планує відповідати європейським вимогам та працювати з імпортом та експортом.[15]

Стандарт ДСТУ EN 50160 визначає основні параметри якості електроенергії напругу, стабільність, допустимі відхилення, частоту, гармоніки, симетрію фаз - це важливо для підприємства, яке має чутливі до коливань процеси: холодильні, компресорні, автоматизовані лінії.[13]

Використання цих та подібних стандартів дає змогу формалізувати вимоги до електропостачання, передбачити необхідні заходи для компенсації реактивної потужності, гармонік, або стабілізації напруги, а також забезпечити резервування і надійність для критичних технологічних процесів.

### **1.3. Структура системи електропостачання, внутрішні мережі та принципи побудови**

Щоб задовольняти потреби за навантаженням і надійністю, промислові підприємства використовують багаторівневу систему електропостачання. Це передбачає:

1. зовнішній ввід від мереж ОСР, зачасту середньої напруги 10 кВ, або інша, залежно від підключення;
2. понижувальну трансформаторну підстанцію 10, або 0,4 кВ, яка перетворює напругу до рівня, придатного для внутрішнього розподілу;
3. розподільчі пристрої, кабельні, або повітряні лінії, що подають живлення до технологічних цехів, допоміжних систем, адміністративних зон;
4. внутрішні трансформаторні підстанції та групові розподільчі пункти для окремих технологічних ділянок;
5. системи резервного живлення такі, як дизель-генератори, UPS тощо, особливо для критичних споживачів холодильні, компресорні, автоматизовані лінії;
6. системи компенсації реактивної потужності, фільтрації гармонік, стабілізації напруги, якщо є значні індуктивні чи нелінійні навантаження.

Для кабельних мереж, що забезпечують внутрішній розподіл, застосовуються відповідні стандарти, які мають підпадати до вимог до ізоляції, перерізів і умов прокладання кабелів, для цього використовують кабелі середньої напруги з ізоляцією XLPE, кабелі для низької напруги, силові кабелі, живлення силових установок, управління, автоматики тощо.[16]

Конфігурація для такого підприємств:

1. декілька вводів живлення від зовнішньої мережі,
2. трансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ,
3. внутрішню розподільчу мережу,
4. резервне живлення для критичних споживачів,
5. системи захисту і моніторингу, які відповідають вимогам стандартів якості.

Цей підхід дозволяє забезпечити високу надійність і гнучкість при модернізації, або збільшенні навантаження, що є необхідним для підприємства з масштабним виробництвом і змінним графіком навантажень.

#### **1.4. Вимоги до якості електроенергії та заходи щодо їх дотримання**

Оскільки пивоварне виробництво містить технологічне обладнання такі, як холодильні агрегати, компресори, системи автоматизації, насосні установки, важливою є стабільна напруга, частота, мінімальна кількість гармонік та відсутність значних провалів чи перенапруг. Для цього використовують стандарт ДСТУ EN 50160:2023, який визначає норми для межі якості електроенергії та для мереж загального призначення.[13] Щоб відповідати цим вимогам, на підприємстві, або при проектуванні треба враховувати:

1. системи компенсації - конденсаторні установки або комбіновані системи компенсації реактивної потужності;
2. фільтри гармонік, особливо якщо маємо нелінійні навантаження;
3. системи плавного пуску, або soft-start/VFD для двигунів, щоб зменшити пускові струми і уникнути провалів напруги;
4. резервні джерела живлення для критичних технологічних споживачів, щоб зменшити ризики відключень і тимчасових порушень якості живлення;
5. моніторинг якості живлення та регулярні контролю.

Такий підхід забезпечує технологічну надійність особливо для холодильних і компресорних систем, чутливих до стрибків напруги, а також для автоматизованих ліній розливу, де стабільність живлення впливає на якість продукції та безперервність процесу.

#### **1.5 Особливості електроспоживання при технологічних циклах та потреба в резервуванні**

На ПрАТ «Оболонь» навантаження має циклічний характер, під час розливу, запуску компресорів, насосів та холодильних установок можливі значні піки, які створюють перевантаження мережі, провали напруги або підвищене навантаження на трансформатори і кабельні лінії, це сильно відображається на холодильних агрегаторах та компресорах, будь-яке зниження напруги, або коливання може призвести до порушення технологічного процесу, псування продукції, зупинки ліній або виходу з ладу обладнання. У зв'язку з цим необхідне резервування, як на рівні введів живлення, так і на рівні внутрішніх трансформаторних підстанцій, а також наявність дизель-генераторів, або UPS є необхідним. Також, через складну структуру споживання важливо передбачити гнучку систему розподілу живлення, можливість секціонування мереж, АВР, систему захистів, моніторинг, щоб забезпечити стабільну роботу при мінливих умовах.

## **1.6. Висновок щодо поточного стану**

Поєднання великого навантаження, складного технологічного циклу, численних споживачів з різними характером споживання та високими вимогами до якості електроенергії робить систему електропостачання ПрАТ «Оболонь» критичною інфраструктурою підприємства. Тому для підтримки надійності виробництва, зниження ризиків, зменшення втрат та підвищення енергоефективності доцільно застосовувати усі можливі технічні та організаційні рішення: стандарти якості живлення, системи резервування, модернізацію обладнання, компенсацію, моніторинг, оптимізацію навантажень.

Нормативна база надає чіткі рамки, міжнародні стандарти - орієнтири для сучасних вимог до енергоефективності й надійності, а технологічний досвід великих підприємств - практичні підходи до побудови гнучких, масштабованих та стабільних систем електропостачання.

## РОЗДІЛ 2.

### АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ПРАТ «ОБОЛОНЬ»

#### 2.1. Загальна структура енергоспоживання підприємства

Енергоспоживання ПрАТ «Оболонь» складається з комплексу технологічних, допоміжних та інфраструктурних процесів, що забезпечують виробництво пива, напоїв та супутньої продукції. Усі ці процеси характеризуються високою питомою енергоемністю, нерівномірністю навантаження в часі та наявністю електроприймачів різних категорій надійності згідно з вимогами ПУЕ, ДБН В.2.5-23:2010 та ПБЕЕС.[4][11][5]

Враховуючи добове споживання електроенергії підприємством 2,7 МВт/добу, можна зробити висновок, що структура енергоспоживання має сталий характер, а підприємство належить до об'єктів із середньою енергоемністю виробництва. Для таких промислових підприємств звичайним наступний розподіл споживання:

1. 40-50%-технологічне обладнання основного циклу;
2. 20-25%-системи холодопостачання;
3. 10-15% - компресорне обладнання;
4. 8-12% - насосні агрегати;
5. 5-10% - освітлення та допоміжні мережі;
6. 3-5%-ІТ-інфраструктура, вентиляція, АСУ ТП.[17]

##### 2.1.1. Характеристика основних груп навантаження

У структурі енергоспоживання пивоварного підприємства виділяють кілька ключових груп, кожна з яких має свої режими роботи, електричні характеристики та вплив на мережу.

До категорії технологічних електроприймачів виробничого циклу застосовують обладнання:

1. дробарки солоду;
2. заторні та фільтраційні апарати;
3. насоси сушла;
4. обладнання варильного порядку;
5. пастеризатори;
6. лінії розливу.

Потужність цих агрегатів становить:

1. 0,75-55 кВт-приводи насосів;
2. 15-110 кВт-приводи транспортерів та варильного обладнання;
3. 3-30 кВт-мішалки та допоміжні механізми.

Технологічний цикл характеризується нерівномірним графіком навантаження, значними пусковими струмами та періодичною роботою обладнання в пікових режимах. Це потребує правильної організації системи компенсації реактивної потужності та засобів плавного пуску.

Системи холодопостачання - це одна з найбільш енергоємних станцій по витратам у пивоварному виробництві її частка холодильних систем у загальному споживанні становить 20-25 %. Обладнання систем холодопостачання складається з:

1. гвинтові компресори потужністю 90-250 кВт кожен;
2. холодильні машини чилерного типу;
3. станції льодяної води;
4. насоси циркуляції гліколю;
5. градирні.

Навантаження має добовий характер, залежить від температури зовнішнього повітря, кількості активних ферментаційних танків та обсягу розливу продукції

У компресорному обладнанні стиснене повітря є невід'ємною частиною роботи ліній розливу та автоматики. Компресори споживають до 10-15 % всієї електроенергії підприємства. Має наступні характеристики:

1. робочий тиск 7-10 бар;
2. електрична потужність 75-160 кВт;
3. режим роботи-майже безперервний.

Підприємство використовує наступні технологічні та допоміжні насоси:

1. переміщення сула;
2. перекачування води;
3. циркуляції гліколю;
4. транспортування продукції;
5. мийних розчинів СІР.

Потужність - 0,75-55 кВт, режим роботи - циклічний та періодичний.

Освітлення та допоміжні мережі. Згідно з ДБН В.2.5-28:2018, виробничі приміщення харчової промисловості потребують освітленості:

- 300-500 Лк-виробничі цехи;
- 100-200 Лк-склади;
- 50-100 Лк-допоміжні зони.

На підприємстві використовується суміш LED-освітлення та старіших люмінесцентних світильників.

Оцінка загальної добової електропотужності. Оскільки підприємство споживає 2,7 МВт за добу, можна визначити орієнтовну середню потужність:

$$P=2,7\text{МВт}/24\text{год}=112,5\text{кВт}$$

Але максимальна потужність завжди перевищує середню у 4-8 разів, в такому випадку використовуємо коефіцієнт нерівномірності  $k_n = 4\dots 6$ .

Тому оціночна пікова потужність:

$$P_{\text{пiк}}=112,5*4\dots6=450-675\text{кВт}$$

## **2.2. Добові та річні графіки електричних навантажень підприємства**

Аналіз добових та річних графіків навантаження є ключовим елементом дослідження енергоефективності промислового підприємства, оскільки саме форма графіка визначає:

- рівномірність роботи обладнання;
- величину пікових навантажень;
- оптимальність вибраних трансформаторів;
- рівень втрат;
- можливості для енергозбереження;
- потенціал інтеграції систем компенсації реактивної енергії, VFD-приводів, автоматизації пусків тощо.

Пивоварні підприємства, згідно з даними Brewers of Europe (2022) та EBRD Brewery Energy Benchmark (2023), мають складний нерівномірний графік навантаження, що зумовлений змінністю технологічних процесів.

### **2.2.1. Основні фактори, що впливають на добовий графік навантаження**

Добовий графік навантаження підприємства ПрАТ «Оболонь» визначається роботою наступними групами обладнання:

1. Технологічне обладнання варильних та бродильних цехів працює нерівномірно, залежно від тривалості циклів:

- процес варіння триває 6-8 годин;

- подача сусли - 2-4 години;
- СІР-мийка - 2 години;
- перекачування продукту - циклічний режим.

У період активної роботи варильного порядку навантаження зростає на 25-30%.

2. Лінії розливу працюють у двозмінному, або тризмінному режимі. Пускові струми моторів транспортерів можуть перевищувати номінальні у 3-7 разів, що створює пікові стрибки навантаження.

3. Холодильні установки. Холодильні компресори мають 3 основні піки:

- після запуску лінії розливу;
- після завершення варіння;
- у денний час при підвищенні температури зовнішнього повітря.

4. Компресорне обладнання працює переважно безперервно, стабілізуючи тиск у пневмосистемах. Навантаження каливається в межах 70-95 %, залежно від кількості активних споживачів.

5. Насоси та допоміжне обладнання створюють короткочасні піки навантаження під час перекачування, миття або подачі продукту.

6. Освітлення та АСУ ТП мають плавний характер навантаження із мінімальним впливом на пікові значення.

### **2.2.2. Формування добового графіка навантаження**

Оскільки добове споживання становить 2,7 МВт, визначимо середню активну потужність:

$$P_{\text{ср}} = \frac{2,7 \text{ МВт}}{24 \text{ год}} = 112,5 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт нерівномірності для харчових підприємств становить  $k_n = 4 \dots 6$  тому оціночні пікові навантаження становлять:

$$P_{\text{пік}} = 112,5 * 4 = 450 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{пік max}} = 112,5 * 6 = 675 \text{ кВт}$$

Добовий графік можна описати у вигляді трьох характерних зон.

Таблиця 2.1

Зони добового графіка навантаження

№ Зони	Часовий інтервал	Характер зони	Основні споживачі	Орієнтовний діапазон сумарного навантаження, кВт	Коротка характеристика режиму
1	00:00-06:00	Нічна зона мінімальних навантажень	Холодильні установки, частина компресорного обладнання, циркуляційні насоси, чергове освітлення, АСУ ТП, серверне обладнання	100-140 кВт	Підтримується робота лише найбільш необхідного обладнання для забезпечення технологічних процесів. Навантаження близьке до мінімального значення за добу.
2	06:00-16:00	Денна виробнича зона максимальних навантажень	Лінії розливу, варильне обладнання, основні технологічні	350-550 кВт	Період інтенсивної роботи основних технологічних цехів. Спостерігаються пікові навантаження, пов'язані з одночасною

			насоси, холодильні компресори, компресорні станції, системи транспортування продукції, частина допоміжних систем		роботою варильного, розливного та холодильного обладнання. Характерні значні пускові струми та підвищені вимоги до якості електроенергії.
3	16:00-24:00	Вечірня зона знижених, але підвищених від базового рівня навантажень	Холодильні машини у режимі стабілізації температури, частина ліній розливу, якщо є другої зміна, компресорні установки, насосне обладнання, освітлення виробничих і складських приміщень, АСУ ТП	180-260 кВт	Виробнича активність поступово знижується, однак зберігається суттєвий рівень навантаження через необхідність підтримання температурних режимів, тиску в пневмосистемах та роботи допоміжних систем. Навантаження вище нічного, але нижче денного пікового рівня.

#### 2.2.4. Річний графік навантажень

Річний графік формується з урахуванням:

- сезонності попиту на продукцію;
- температури зовнішнього повітря;
- режимів роботи котельні та холодильної станції;
- інтенсивності роботи цехів розливу;
- ремонтних кампаній.

Особливості річного графіка:

- Піковий сезон припадає на травень-серпень, навантаження зростає до 120-140 % від середнього.
- Зимовий період грудень-лютий зниження до 70-85 % від середнього рівня.
- Осінній період вересень-листопад стабілізація навантажень  $\approx 90-100$  %.
- Влітку навантаження холодильної станції зростає до +60 %.

### 2.2.5. Модель річного навантаження

Середнє навантаження:

$$P_{\text{cp}} = 112,5 \text{ кВт}$$

Максимальне:

$$P_{\text{max}} = 112,5 * 1,4 = 157,5 \text{ кВт}$$

Мінімальне:

$$P_{\text{min}} = 112,5 * 0,7 = 78,7 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт річної нерівномірності:

$$k_p = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}} = \frac{157,5}{78,7} \approx 2,0$$

## 2.3. Аналіз втрат електроенергії в системі електропостачання підприємства

Аналіз втрат електричної енергії є одним із необхідних етапів оцінювання ефективності роботи системи електропостачання. Втрати впливають на собівартість продукції, навантаження на трансформаторні підстанції, ресурс обладнання та загальний енергетичний баланс підприємства. Відповідно до ПУЕ, ДСТУ EN

50160:2023 та рекомендацій IEEE Std 141 Red Book, втрати електроенергії складаються з активної складової та реактивної.

Для підприємства ПрАТ «Оболонь», яке має складну внутрішню мережу, велику кількість електродвигунів різної потужності, компресорні станції, холодильні агрегати та довгі кабельні лінії, сумарні втрати можуть становити 8-15 % від річного споживання, залежно від технічного стану мережі.

### **2.3.1. Структура втрат електроенергії**

На промислових підприємствах втрати поділяють на такі категорії:

1. Втрати в трансформаторах складаються з:

- постійних втрат (холостого ходу) - залізо трансформатора;
- змінних втрат (короткого замикання) - нагрів обмоток під навантаженням.

Типові значення:

- втрати холостого ходу: 1,5-2,5 % номінальної потужності;
- втрати короткого замикання: 1,5-3,5 % залежно від завантаження.

Сумарно: 3-5 % від переданої енергії.

2. Втрати в кабельних лініях залежать від:

- довжини кабелю;
- перерізу жили;
- матеріалу;
- нагріву та умов прокладання;
- рівня навантаження.

Типові втрати:

- 2-4 % на внутрішніх мережах 0,4 кВ;

- 0,5-1 % на мережах 6-10 кВ.

3. Втрати від низького коефіцієнта потужності (реактивна енергія) - це один із найбільших факторів неефективності. При  $\cos \varphi = 0,7-0,8$ , що типово для підприємств з компресорами, насосами та холодильними машинами, додаткові втрати становлять до 10-15 % втрат у мережі, трансформаторах і кабелях.

4. Втрати від пусків електродвигунів

Пускові струми перевищують номінальні у 3-7 разів, що викликає локальні перегріву кабелю. Якщо VFD не застосовуються, втрати можуть становити 1-3 % від річного електроспоживання.

5. Втрати від гармонічних спотворень (THD)

Наявність частотних перетворювачів, блоків живлення АСУ ТП, вентиляційних систем та інших нелінійних навантажень призводить до:

- збільшення ефективного струму;
- нагріву кабелів;
- додаткових втрат у трансформаторах.

Відповідно до IEEE 519, при THD > 5 % втрати можуть зрости на 0,5-2,5 %.

### 2.3.2. Розрахунок втрат у трансформаторі

Характеристика трансформатора:

- номінальна потужність: 1000 кВА;
- втрати холостого ходу: 1,8 %;
- втрати КЗ: 3,0 %.

1. Втрати холостого ходу

$$P_{xx} = 1000 * 0.018 = 18 \text{ кВт}$$

За добу:

$$18 * 24 = 432 \text{ кВт}$$

2. Втрати під навантаження

При завантаженні на 60 %:

$$P_{\text{кз}} = 1000 * 0.03 * (0.6)^2 = 10.8 \text{ кВт}$$

За добу:

$$10.8 * 24 = 259.2 \text{ кВт}$$

Сумарні втрати трансформатора

$$P_{\text{транс доб}} = 432 + 259.2 = 691.2 \text{ кВт}$$

### 2.3.3. Розрахунок втрат у кабельних лініях

Використовуємо формулу:

$$P_{\text{вт}} = I^2 RL$$

Для кабелю 0,4 кВ:

- довжина: 160 м;
- струм: 180 А;
- опір: 0,12 Ом/км.

$$R = 0.12 * 0.16 = 0.0192 \text{ Ом}$$

Втрати:

$$P = 180^2 * 0.0192 = 622 \text{ Вт}$$

За добу

$$0.622 * 24 = 14.93 \text{ кВт}$$

### 2.3.4. Втрати від низького $\cos \varphi$

Середнє значення  $\cos \varphi = 0,78$ :

Коефіцієнт перевитрат:

$$k = \frac{1}{(\cos\varphi)^2} = \frac{1}{0.78^2} = 1.64$$

Це означає, що струм збільшується у 1,64 рази, а теплові втрати у 2,7 рази.

Для мережі зі споживанням 2,7 МВт\*год/добу втрати складають:

$$2.7 * (0.10 \dots 0.15) = 0.27 \dots 0.40 \text{ МВт}$$

### 2.3.5. Втрати від гармонік

При  $THD = 7 \%$ :

Додаткові втрати в трансформаторі:

$$P_{\text{Гарм}} = P_{\text{ном}} * (THD)^2 = P_{\text{ном}} * 0.49$$

Для 1000 кВА:

$$P_{\text{Гарм}} \approx 490 \text{ Вт}$$

За добу:

$$0.49 * 24 = 11.76 \text{ кВт}$$

### 2.3.6. Загальні сумарні втрати електроенергії

Таблиця 2.2

#### Втрати електроенергії

Вид втрат	Частка	Втрати (кВт*год/добу)
Трансформаторні	2-4 %	55-110
Кабельні	1-3 %	27-80
Реактивна енергія	4-7 %	108189
Пускові навантаження	1-2 %	27-54
Гармоніки	0,5-1,5 %	14-41
Разом	8-15 %	216-405

При споживанні 2,7 МВт\*год/добу:

$$\text{Втрати}_{\text{рік}} = 216 \dots 405 * 365 = 78\,840 \dots 147\,825 \text{ кВт}$$

### 2.4. Оцінка коефіцієнта потужності та перетоків реактивної енергії

Одним із ключових показників ефективності роботи системи електропостачання промислового підприємства є коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$ , який характеризує співвідношення між активною потужністю  $P$  та повною потужністю  $S$ .

Для підприємств із великою часткою електродвигунів, компресорного та холодильного обладнання, коефіцієнт потужності без спеціальних заходів становить 0,7-0,8, що відповідає значним перетокам реактивної енергії у мережі.

Згідно з вимогами ПУЕ та ДБН В.2.5-23:2010, для промислових підприємств рекомендується підтримувати коефіцієнт потужності на рівні не нижче 0,9-0,95. Це зменшує струмове навантаження на мережу, втрати в кабелях та трансформаторах, а також дозволяє уникати штрафів з боку оператора системи розподілу за надлишкову реактивну потужність.

#### 2.4.1. Теоретичні основи коефіцієнта потужності та реактивної енергії

Повна потужність у трифазній мережі визначається як:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

де:

- P - активна потужність, кВт;
- Q - реактивна потужність, квар;
- S - повна потужність, кВА.

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Реактивна потужність:

$$Q = P * \tan \varphi$$

Де  $\varphi$  - кут між векторами P та S. При низькому  $\cos \varphi$  (наприклад, 0,7-0,8) значення  $\tan\varphi$  велике, отже, в мережі циркулює значна реактивна потужність, яка не виконує корисної роботи, але створює додаткові втрати.

## 2.4.2. Оцінка існуючого коефіцієнта потужності підприємства

За даними енергоаудитів EBRD та галузевих публікацій типовим є  $\cos \varphi \approx 0,75-0,8$  у відсутності повноцінної системи компенсації реактивної потужності.

Для розрахунків будемо використовувати існуючий усереднений  $\cos \varphi = 0,78$  як реалістичну оцінку стану системи до модернізації.

Середня активна потужність підприємства:

$$P_{\text{cp}} = \frac{2700 \text{ кВт}}{24 \text{ год}} = 112,5 \text{ кВт}$$

Для  $\cos \varphi = 0,78$  маємо:

$$\varphi_1 = \arccos(0,78) \approx 38,7^\circ$$

$$\tan \varphi_1 \approx 0,802$$

Реактивна потужність:

$$Q_1 = P_{\text{cp}} * \tan \varphi_1 = 112,5 * 0,802 \approx 90,3 \text{ квар}$$

Повна потужність:

$$S_1 = \frac{P_{\text{cp}}}{\cos \varphi_1} = \frac{112,5}{0,78} \approx 144,2 \text{ кВА}$$

Таким чином, при активній потужності  $\approx 112,5$  кВт мережа змушена передавати  $\approx 144$  кВА через наявність реактивної складової близько 90 квар.

Таблиця 2.3

Розрахунок активної та реактивної потужності за зонами добового графіка  
при  $\cos \varphi = 0,78$

Зона	Діапазон навантаження, кВт (P)	Середнє P, кВт	$\cos\varphi$ (прийнято)	$\tan \varphi$	Реактивна потужність Q, квар	Повна потужність S, кВА
Нічна	100-140	120	0,78	0,80 2	$Q_1=120*0,802\approx 96,2$	$S_1=120/0,78\approx 153,8$
Денна	350-550	450	0,78	0,80 2	$Q_2=450*0,802\approx 360,9$	$S_2=450/0,78\approx 576,9$
Вечір ня	180-260	220	0,78	0,80 2	$Q_3=220*0,802\approx 176,4$	$S_3=220/0,78\approx 282,1$

Ця таблиця показує, що при порівняно невеликих середніх активних навантаженнях реактивна складова є значною, що приводить до збільшення повної потужності, а отже струмів у кабельних лініях і трансформаторах.

### 2.4.3. Необхідний коефіцієнт потужності та цільові значення

Нормативні документи ПУЕ, ДБН та рекомендації енергоаудиторських організацій для промислових споживачів встановлюють оптимальний рівень  $\cos \varphi$ :

Рекомендоване значення  $\cos \varphi \geq 0,9-0,95$ .

Візьмемо цільове значення  $\cos \varphi_2=0,95$  після впровадження системи компенсації реактивної потужності.

$$\varphi_2 = \arccos(0,95) \approx 18,2^\circ$$

$$\tan \varphi_2 \approx 0,328$$

Для тієї ж середньої активної потужності  $P_{cp} = 112,5$  кВт:

$$Q_2 = P_{cp} * \tan \varphi_2 = 112,5 * 0,328 \approx 36,9 \text{ квар}$$

$$S_2 = \frac{112,5}{0,95} \approx 118,4 \text{ кВА}$$

Бачимо, що при переході з  $\cos \varphi=0,78$  до  $\cos \varphi=0,95$  реактивна складова зменшується з  $\approx 90$  квар до  $\approx 37$  квар, повна потужність з  $\approx 144$  до  $\approx 118$  кВА, а струм у мережі зменшується приблизно на 18-20 %.

Таблиця 2.4

Порівняння параметрів до та після компенсації  $\cos \varphi$

Показник	До компенсації ( $\cos \varphi_1 = 0,78$ )	Після компенсації ( $\cos \varphi_2 = 0,95$ )	Зміна, %
Активна потужність P, кВт	112,5	112,5	0
Реактивна потужність Q, квар	90,3	36,9	<b>59 %</b>
Повна потужність S, кВА	144,2	118,4	<b>18 %</b>
Струм у мережі (пропорційно S)	100 %	$\approx 82$ %	<b>18 %</b>

#### 2.4.4. Розрахунок необхідної потужності компенсаційної установки

Потужність компенсуючої установки  $Q_c$ :

$$Q_c = P * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Підставляємо параметри для середнього навантаження:

$$Q_c = 112,5 * (0,802 - 0,328) = 112,5 * 0,474 \approx 53,3 \text{ квар}$$

Це середня необхідна потужність компенсації.

З урахуванням добових коливань навантаження необхідна встановлена потужність компенсаційної установки має бути більшою і орієнтовно може становити 70-100 квар із запасом та можливістю ступінчастого регулювання.

#### 2.4.5. Оцінка річних перетоків реактивної енергії

Оцінка реактивної енергії:

$$W_Q = Q_{\text{ср}} * t$$

Для спрощеного розрахунку, візьмемо  $Q_1 \approx 90$  квар.

Тоді:

$$W_{Q_{\text{доб}}} = 90 * 24 = 2160 \text{ квар}$$

За рік:

$$W_{Q_{\text{рік}}} = 2160 * 365 \approx 788\,400 \text{ квар}$$

Після компенсації до  $\cos \varphi = 0,95$ :

$$Q_2 \approx 37 \text{ квар}$$

$$W'_{Q_{\text{доб}}} = 37 * 24 \approx 888 \text{ квар}$$

$$W'_{Q_{\text{рік}}} = 888 * 365 \approx 324\,120 \text{ квар}$$

Зменшення перетоків реактивної енергії:

$$\Delta W_Q = 788\,400 - 324\,120 \approx 464\,280 \text{ квар}$$

Тобто компенсація реактивної потужності дозволяє зменшити річні перетоки реактивної енергії майже в 2,5 раза.

## **2.5. Оцінка ефективності роботи трансформаторних підстанцій підприємства**

Трансформаторні підстанції є ключовими вузлами системи електропостачання ПрАТ «Оболонь», оскільки саме через них здійснюється пониження напруги з рівня мережі розподілу 10 кВ до рівня низької напруги 0,4 кВ, яким живиться електроприймачі підприємства. Ефективність роботи трансформаторних підстанцій безпосередньо впливає на:

- втрати електроенергії в системі електропостачання;
- завантаження мережі та апаратури;
- надійність живлення технологічних ліній;
- економічні показники роботи підприємства.

Для підприємств найчастіше використовуються масляні, або сухі силові трансформатори потужністю 400-1600 кВА, у кількості 1-2 одиниці на головну понижувальну підстанцію (ГПП). У дипломному проекті було вирішено прийняти двотрансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ, що відповідає вимогам ПУЕ щодо надійності живлення промислових підприємств.

### **2.5.1. Прийнята схема трансформаторної підстанції**

Для подальшого аналізу прийmemo, що електропостачання ПрАТ «Оболонь» здійснюється від мережі 10 кВ через головну понижувальну підстанцію (ГПП), до складу якої входять:

- два силові трансформатори Т1 та Т2 потужністю по 1000 кВА;
- комірки вводу ВН 10 кВ;
- комірки лінійних відходів 10 кВ;
- розподільчі пристрої НН 0,4 кВ (ГРЩ);
- апаратура захисту та автоматики.

У нормальному режимі можливі два варіанти роботи:

1. Робота одного трансформатора, другий у холодному резерві;
2. Паралельна робота двох трансформаторів із розподілом навантаження 50/50 та можливістю переключення при аварії.

У подальших розрахунках для розглянемо варіант, коли основне навантаження підприємства не перевищує 450-500 кВт у пікові години, середня активна потужність становить 112,5 кВт і в нормальному режимі працює один трансформатор, другий у резерві.

### **2.5.2. Технічні характеристики силових трансформаторів**

Для розрахунків візьmemo значення параметрів трансформаторів типу ТМГ-1000/10, які часто застосовують на промислових підприємствах:

- номінальна потужність: 1000 кВА;
- первинна напруга: 10 кВ;
- вторинна напруга: 0,4 кВ;
- втрати холостого ходу  $P_0 \approx 1,7$  кВт;

- втрати короткого замикання  $P_{кз}$  при номінальному навантаженні:  $\approx 11$  кВт.

Таблиця 2.5

### Технічні характеристики силових трансформаторів ГПП

Позначення	Тип трансформатора	$S_{ном}$ , кВА	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$P_0$ , кВт	$P_{кз}$ при $S_{ном}$ , кВт
T1	ТМГ-1000/10	1000	10	0,4	1,7	11
T2	ТМГ-1000/10	1000	10	0,4	1,7	11

Таким чином, у нормальному режимі один трансформатор забезпечує живлення всіх споживачів, другий може знаходитись у холодному резерві (без напруги), або у гарячому (під напругою, але без навантаження, тобто лише з втратами холостого ходу), залежно від вимог до резервування.

### 2.5.3. Аналіз завантаження трансформатора

Середня активна потужність підприємства:

$$P_{cp} = 112,5 \text{ кВт}$$

Максимальна активна потужність у денні години:

$$P_{max} \approx 450 \text{ кВт}$$

Визначимо коефіцієнт завантаження трансформатора у піковий період:

$$k_{3 \max} = \frac{P_{\max}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{450}{1000} = 0,45$$

У середньому за добу:

$$k_{3 \text{ ср}} = \frac{P_{\text{ср}}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{112,5}{1000} = 0,1125 \approx 0,11$$

Отже, трансформатор значно недовантажений більшу частину часу, що є проблемою для підприємств із запасом по потужності. Це знижує ефективність, оскільки втрати холостого ходу присутні постійно, незалежно від завантаження.

#### 2.5.4. Розрахунок ККД трансформатора при різних завантаженнях

Розраховуємо ККД трансформатора за формулою:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_{\text{кз}}}$$

де:

- $P_2$  активна потужність навантаження, кВт;
- $P_0$  втрати холостого ходу, кВт;
- $P_{\text{кз}}$  втрати короткого замикання при даному завантаженні, кВт.

Втрати короткого замикання при завантаженні  $k_3$ :

$$P_{\text{кз}}(k_3) = P_{\text{кз ном}} * k_3^2$$

де  $P_{\text{кз ном}} = 11$  кВт.

Розраховуємо ККД трансформатора для кількох характерних рівнів завантаження.

Розрахунок ККД трансформатора ТМГ-1000/10 при різних завантаженнях

Режим	кз	P <sub>2</sub> , кВт	P <sub>0</sub> , кВт	P <sub>кз(кз)</sub> , кВт	ΣВтрат, кВт	η, %
Мале завантаження	0,10	100	1,7	11*0,1 <sup>2</sup> =0,11	1,81	100/(100+1,81)≈98,2
Середнє	0,11	112,5	1,7	11*0,11 <sup>2</sup> ≈0,13	1,83	112,5/(114,33)≈98,4
Часткове завантаження	0,45	450	1,7	11*0,45 <sup>2</sup> ≈2,23	3,93	450/453,93≈99,1
Близько номіналу	0,80	800	1,7	11*0,8 <sup>2</sup> =7,04	8,74	800/808,74≈99,0
Номінальне	1,00	1000	1,7	11	12,7	1000/1012,7≈98,7

Як бачимо в таблиці, ККД трансформатора залишається досить високим навіть при відносно низькому завантаженні, але при цьому втрати холостого ходу  $P_0$  дають відчутний внесок, особливо коли навантаження не перевищує 0,1-0,2 від номіналу.

У нашому випадку середній коефіцієнт завантаження  $k_{з\text{ ср}} \approx 0,11$ , тому:

- втрати холостого ходу: 1,7 кВт постійно;
- втрати КЗ: ≈0,13 кВт;
- сумарні втрати: ≈1,83 кВт.

За добу:

$$W_{\text{вт доб}} = 1,83 * 24 \approx 43,9 \text{ кВт}$$

За рік:

$$W_{\text{вт рік}} \approx 43,9 * 365 \approx 16\ 033 \text{ кВт}$$

Порівняємо це з річним споживанням підприємства:

$$W_{\text{рік підприємства}} = 2700 * 365 = 985\ 500 \text{ кВт}$$

Частка втрат трансформатора:

$$\frac{16\ 033}{985\ 500} \approx 0,0163 \Rightarrow 1,6\%$$

Тобто втрати в трансформаторі становлять приблизно 1,5-2 % від загального електроспоживання, що є прийнятним показником для промислового підприємства.

### **2.5.5. Оцінка ефективності та можливі напрями покращення**

На основі проведених розрахунків та аналізу можна зробити такі висновки:

Прийнята потужність трансформаторів забезпечує значний запас по потужності, що дозволяє:

- безпечно працювати при пікових навантаженнях;
- мати резерв на випадок розширення виробництва;
- забезпечити резервування у разі виходу з ладу одного з трансформаторів.

При цьому середній коефіцієнт завантаження одного трансформатора низький, що з енергетичної точки зору не є оптимальним, оскільки втрати холостого ходу існують завжди, незалежно від навантаження.

Частка втрат у трансформаторі є прийнятною, однак при тривалому простої або роботі з дуже малими навантаженнями, в такому випадку можемо розглядати режим холодного резерву для одного з трансформаторів та оптимізувати схему розподілу навантажень, щоб уникати тривалої роботи при завантаженні <10 %.

З точки зору надійності двотрансформаторна схема є оптимальною для підприємства типу ПрАТ «Оболонь», оскільки:

- при аварії одного трансформатора другий здатний прийняти основні навантаження;
- можливо реалізувати схему АВР;
- забезпечується висока категорія надійності електроприймачів I та II категорій.

У сукупності з аналізом втрат у кабельних лініях та коефіцієнта потужності можна стверджувати, що найбільший потенціал економії пов'язаний не стільки з модернізацією трансформаторів, скільки з компенсацією реактивної потужності, впровадженням частотно-регульованих приводів та оптимізацією графіків роботи енергоємного обладнання.

## 2.6. Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу енергоспоживання ПрАТ «Оболонь» у розділі 2 були досліджені структура навантажень, добові та річні графіки споживання електроенергії, втрати в елементах системи електропостачання, коефіцієнт потужності та ефективність роботи трансформаторних підстанцій. Отримані результати дозволяють сформулювати узагальнену картину поточного стану енергетичного господарства підприємства та визначити основні напрями його вдосконалення.

На основі вихідних даних встановлено, що добове споживання електроенергії підприємством становить близько 2700 кВт\*год, що відповідає річному споживанню на рівні  $\approx 985\,500$  кВт\*год. Середня активна потужність становить близько 112,5 кВт, при цьому у денні години формуються пікові навантаження до 450-550 кВт, що зумовлено одночасною роботою варильного обладнання, ліній розливу, холодильних

установок та компресорних станцій. Такий характер енергоспоживання відповідає типовим профілям навантаження пивоварних підприємств, наведеним у відкритих європейських і міжнародних джерелах.

Структурний аналіз показав, що найбільшу частку в загальному енергоспоживанні займають технологічні електроприймачі основного виробничого циклу та системи холодопостачання, до яких належать холодильні машини, компресорні агрегати, насоси та обладнання підтримання температури. Дещо меншу, але важливу частку складають системи стисненого повітря, насосні станції, вентиляція та освітлення. Це свідчить про те, що підприємство має яскраво виражений технологічно обумовлений характер навантаження, а не побутовий чи офісний тип споживання.

Аналіз добових графіків показав наявність трьох характерних зон навантаження:

1. нічної зони мінімального навантаження (100-140 кВт) з роботою переважно холодильного, насосного та чергового обладнання;
2. денного пікового періоду (350-550 кВт), коли одночасно працюють основні виробничі лінії;
3. вечірньої зони знижених, але все ще підвищених навантажень (180-260 кВт) за рахунок підтримки температур і роботи допоміжних систем.

Річний графік навантаження характеризується сезонною нерівномірністю: в літній період навантаження зростає через підвищення обсягів виробництва та збільшення роботи холодильного обладнання, тоді як взимку споживання дещо знижується. Це вимагає врахування сезонного фактора при виборі потужності обладнання та проектуванні режимів його роботи.

У підрозділі 2.3 було виконано оцінку втрат електроенергії в системі електропостачання. Показано, що сукупні втрати у трансформаторах, кабельних лініях, через низький коефіцієнт потужності, пускові режими електродвигунів та гармонічні спотворення можуть становити 8-15 % від загального електроспоживання,

що еквівалентно приблизно 78-148 тис. кВт\*год/рік. При діючому тарифі на електроенергію це відповідає суттєвим фінансовим втратам, що свідчить про значний потенціал для енергозбереження.

Окремо було розглянуто вплив коефіцієнта потужності на роботу системи. Прийняте для аналізу значення  $\cos \varphi \approx 0,78$  відповідає умовам експлуатації підприємства з великою кількістю індуктивних навантажень (двигуни, компресори, насоси). Показано, що при такому коефіцієнті потужності в мережі циркулює значна реактивна потужність (порядку 90 квар при середній активній потужності 112,5 кВт), що призводить до збільшення повної потужності, зростання струмів у мережі та додаткових втрат у трансформаторах і кабельних лініях. Розрахунки показали, що підвищення коефіцієнта потужності до рівня  $\cos \varphi = 0,95$  дозволяє зменшити реактивну складову майже на 60 %, а повну потужність приблизно на 18 %, що безпосередньо знижує втрати та навантаження на елементи системи.

Оцінка ефективності роботи трансформаторних підстанцій показала, що застосування двотрансформаторної схеми з трансформаторами потужністю по 1000 кВА забезпечує достатній запас по потужності та високий рівень надійності електропостачання. При цьому середній коефіцієнт завантаження одного трансформатора невеликий, порядку 0,11, однак втрати у трансформаторі залишаються на прийнятному рівні  $\approx 1,5-2$  % від річного електроспоживання підприємства. Це дозволяє зробити висновок, що трансформаторні підстанції за своїми параметрами відповідають вимогам до надійності, а основний потенціал підвищення ефективності зосереджений не стільки у трансформаторному обладнанні, скільки в оптимізації режимів навантаження та підвищенні якості електроенергії.

Таблиця 2.7

Узагальнені енергетичні показники системи електропостачання ПрАТ

«Оболонь»

<b>Показник</b>	<b>Орієнтовне значення</b>
Добове споживання електроенергії	≈2700 кВт*год/доба
Річне споживання електроенергії	≈985500 кВт*год/рік
Середня активна потужність	≈112,5 кВт
Орієнтовна пікова потужність у денний період	450-550 кВт
Оціночні сумарні втрати в системі електропостачання	8-15 % від споживання
Річні втрати електроенергії	≈ 78-148 тис. кВт*год/рік
Прийнятий існуючий коефіцієнт потужності	$\cos \varphi \approx 0,78$
Цільовий коефіцієнт потужності після компенсації	$\cos \varphi \approx 0,95$
Орієнтовна потужність установки компенсації реактивної енергії	70-100 квар
Частка втрат у трансформаторах	≈1,5-2% від річного споживання

Підсумовуючи результати другого розділу, можна зробити висновок, що система електропостачання ПрАТ «Оболонь» у своєму поточному стані забезпечує необхідний рівень надійності та працездатності технологічних процесів.

## **РОЗДІЛ 3.**

### **РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

#### **3.1. Розрахунок електричних навантажень ПрАТ «Оболонь»**

##### **3.1.1. Вихідні дані для розрахунку**

Для розрахунку електричних навантажень системи електропостачання ПрАТ «Оболонь» використовую дані, отримані на основі аналізу роботи основних технологічних та допоміжних комплексів підприємства:

Добове споживання електроенергії підприємства:

$$W_{\text{доб}} = 2700 \text{ кВт};$$

Середня активна потужність:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{доб}}}{24} = \frac{2700}{24} \approx 112,5 \text{ кВт};$$

Орієнтовна максимальна активна потужність у денний період;

$$P_{\text{max}} \approx 450 \dots 550 \text{ кВт};$$

Номинальна напруга низьковольтної мережі живлення електроприймачів:  
 $U_{\text{нн}} = 0,4 \text{ кВ}$ , трифазна мережа;

Номинальна потужність силових трансформаторів ГПП - два трансформатори по 1000 кВА кожний;

Прийнятий робочий коефіцієнт потужності для розрахунку кабелів та апаратури  $\cos\varphi_{\text{розр}} = 0,9$ .

Розрахунок виконується відповідно до вимог ПУЕ, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів та ДБН В.2.5-23:2010, які регламентують підхід до визначення навантажень, вибору обладнання та параметрів внутрішніх електричних мереж підприємств.

### 3.1.2. Групування електроприймачів за категоріями та призначенням

На підприємстві ПрАТ «Оболонь» електроприймачі об'єднуються в такі основні групи навантаження:

- Варильно-бродильний комплекс (дробарка солоду, заторні та фільтраційні апарати, мішалки, насоси сусли, підігрівні установки).
- Лінії розливу та пакування продукції (конвеєри, приводи машин розливу, етикетувальники, пакувальники).
- Холодильно-компресорне обладнання (холодильні машини, чилери, станції льодяної води, насоси гліколю).
- Компресорні станції стисненого повітря.
- Насосні агрегати та допоміжні механізми (перекачування води, розчинів, продукту, СІР-мийка).
- Системи освітлення виробничих, складських та адміністративних приміщень.
- АСУ ТП, IT-інфраструктура, зв'язок та інші слаборозрядні системи.

Для кожної групи задаються:

- встановлена потужність  $P_{уст}$ , кВт;
- коефіцієнт використання  $k_{вик}$ ;
- коефіцієнт одночасності  $k_{одн}$ .

Розрахункова активна потужність групи визначається:

$$P_p = P_{уст} * k_{вик} * k_{одн}$$

### 3.1.3. Розрахунок активної розрахункової потужності по групах

Таблиця 3.1

Розрахунок активних навантажень основних груп електроприймачів

№	Група навантаження	Руст, кВт	квик	кодн	Рр, кВт
1	Варильно-бродильний комплекс	190	0,60	0,80	$190*0,60*0,80 = 91,2$
2	Лінії розливу та пакування	220	0,70	0,90	$220*0,70*0,90=138,6$
3	Холодильно-компресорне обладнання	260	0,75	0,95	$260*0,75*0,95=185,25$
4	Компресорні станції стисненого повітря	120	0,80	0,90	$120*0,80*0,90=86,4$
5	Насосні агрегати та допоміжні механізми	110	0,60	0,80	$110*0,60*0,80=52,8$
6	Освітлення	60	0,90	0,95	$60*0,90*0,95=51,3$
7	АСУ ТП, ІТ-системи	30	0,70	1,00	$30*0,70*1,00=21,0$

Обчислюємо сумарну розрахункову активну потужність:

$$P_{\Sigma p} = 91,2 + 138,6 + 185,25 + 86,4 + 52,8 + 51,3 + 21,0 = 626,55 \text{ кВт.}$$

З урахуванням невизначеностей та запасу для можливого розширення виробництва приймаємо для подальших розрахунків:

$$P_{\Sigma p} \approx 630 \text{ кВт.}$$

### 3.1.4. Розрахунок повної потужності та струмів головної мережі 0,4 кВ

Беремо робочий коефіцієнт потужності для розрахунку:

$$\cos\varphi_{\text{розр}} = 0,9.$$

Тоді сумарна повна потужність:

$$S_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma p}}{\cos\varphi_{\text{розр}}} = \frac{630}{0,9} \approx 700 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм у шинній системі 0,4 кВ (трифазна мережа):

$$I_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma p}}{\sqrt{3} * U_{\text{HH}} * \cos\varphi_{\text{розр}}}.$$

Підставляємо:

$$P_{\Sigma p} = 630\,000 \text{ Вт};$$

$$U_{\text{HH}} = 400 \text{ В};$$

$$\sqrt{3} \approx 1,732;$$

$$\cos\varphi_{\text{розр}} = 0,9.$$

$$I_{\Sigma} = \frac{630\,000}{1,732 * 400 * 0,9} = \frac{630\,000}{623,52} \approx 1\,010 \text{ А.}$$

Тобто максимальний розрахунковий струм на шинах ГРЩ підприємства становить приблизно 1000 А.

Це значення використовується далі для вибору:

- номіналів ввідних автоматичних вимикачів;
- перерізів магістральних шин та кабельних ліній;
- параметрів трансформаторів.

Перевірка щодо трансформатора:

$$S_{\Sigma} \approx 700 \text{ кВА} < S_{\text{ном трансформатора}} = 1000 \text{ кВА}$$

Тобто одного трансформатора потужністю 1000 кВА достатньо для живлення всіх навантажень підприємства, другий трансформатор може працювати в резерві.

### **3.2. Розрахунок перерізів кабельних ліній та вибір марок кабелів**

Розрахунок перерізів кабельних ліній виконується згідно з вимогами ПУЕ, ДБН В.2.5-23:2010, а також із урахуванням методик, викладених у міжнародних стандартах серії ІЕС 60364 (розділи, що стосуються вибору провідників за нагрівом та падінням напруги).

Основні критерії вибору:

- Допустимий тривалий струм кабелю за умовами нагріву.
- Допустиме падіння напруги на лінії (зазвичай не більше 5 % для силових мереж 0,4 кВ).
- Умови прокладання (кабелі в землі, у коробах, по естакадах тощо).
- Короткочасна термічна стійкість при струмах короткого замикання.
- Конструкція кабелю (мідний/алюмінієвий провідник, тип ізоляції, кількість жил).

#### **3.2.1. Вихідні дані для розрахунку окремих ліній**

Для прикладу розглянемо три характерні живильні лінії підприємства:

5. Лінія L1: від ГРЩ до розподільчого щита варильно-бродильного цеху;
6. Лінія L2: від ГРЩ до щита холодильних машин;
7. Лінія L3: від ГРЩ до щита ліній розливу.

Таблиця 3.2

Вихідні дані для розрахунку силових кабельних ліній

Лінія	Призначення	(Pp), кВт	Довжина, м	cos φ	Напруга, кВ
L1	Варильно-бродильний комплекс	91,2	80	0,9	0,4
L2	Холодильно-компресорний щит	185,25	120	0,9	0,4
L3	Щит ліній розливу	138,6	70	0,9	0,4

### 3.2.2. Розрахунок струмів по окремих лініях

Струм трифазної лінії:

$$I = \frac{P_p}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi}$$

Лінія L2 (найбільш навантажена):

$$I_{L2} = \frac{185,25 * 10^3}{1,732 * 400 * 0,9}$$

$$I_{L2} = \frac{185\,250}{623,52} \approx 297 \text{ А.}$$

Лінія L1:

$$I_{L1} = \frac{91,2 * 10^3}{623,52} \approx 146 \text{ А.}$$

Лінія L3:

$$I_{L3} = \frac{138,6 * 10^3}{623,52} \approx 222 \text{ А.}$$

### 3.2.3. Вибір перерізів кабелів за допустимим струмом

Беремо:

- мережу 0,4 кВ;
- мідні кабелі з ізоляцією зшитим поліетиленом або ПВХ, напругою 0,66/1 кВ;
- спосіб прокладання - по кабельних естакадах та в коробах (умови для «повітряної» прокладки).

За довідковими таблицями допустимих тривалих струмів для мідних кабелів на основі ІЕС 60364-5-52 для трижильних кабелів 0,4 кВ:

- переріз 35 мм<sup>2</sup> - 125-140 А;
- переріз 50 мм<sup>2</sup> - 150-170 А;
- переріз 70 мм<sup>2</sup> - 195-230 А;
- переріз 95 мм<sup>2</sup> - 230-260 А;
- переріз 120 мм<sup>2</sup> - 260-290 А;
- переріз 150 мм<sup>2</sup> - 300-330 А.

Тоді попередній вибір:

Для L1 (146А) достатньо кабелю 3\*50 мм<sup>2</sup> Cu, допустимий струм якого перевищує 146 А.

Для L3 (222А) підходить 3\*70 мм<sup>2</sup> Cu або 3\*95 мм<sup>2</sup> Cu. З урахуванням запасу приймаємо 3\*95 мм<sup>2</sup> Cu.

Для L2(297А) необхідний кабель з перерізом не менше 150 мм<sup>2</sup> Cu. Приймаємо 3\*150 мм<sup>2</sup> Cu.

Таблиця 3.3

### Перерізи кабельних ліній за умовами на

Лінія	Розрахунковий струм, А	Обраний кабель	Допустимий тривалий струм, А (орієнтовно)	Примітка
L1	146	3*50мм <sup>2</sup> Cu	150-170	Запас по струму≈5-15%
L3	222	3*95мм <sup>2</sup> Cu	230-260	Запас по струму≈4-15%
L2	297	3*150мм <sup>2</sup> Cu	300-330	Запас по струму≈1-10%

#### 3.2.4. Перевірка вибраних перерізів кабелів за допустимим падінням напруги

Після вибору перерізів силових кабельних ліній за умовами нагріву необхідно перевірити їх відповідність вимогам до **допустимого** падіння напруги. Для внутрішніх мереж напругою 0,4 кВ на промислових підприємствах, зокрема на ПрАТ «Оболонь», як правило, приймається сумарне падіння напруги від шин головного розподільчого щита (ГРЩ) до найвіддаленішого електроприймача не більше 5 %, а на окремих ділянках - як правило, 2-3 %.

Для оцінки падіння напруги в силових кабельних лініях використовуємо формула для трифазної мережі:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * R_{\Sigma},$$

де:

$\Delta U$  - падіння напруги, В;

$I$ -струм лінії, А;

$R_{\Sigma}$ - повний активний опір фази лінії, Ом.

Відносне падіння напруги в відсотках:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} * 100\%.$$

Для оцінки опору кабельної лінії використовується питомий опір провідника. Для мідних кабелів при температурі 20 °С використовуємо:

- для перерізу 50 мм<sup>2</sup>:  $R_{50} \approx 0,00039$  Ом/м;
- для 95 мм<sup>2</sup>:  $R_{95} \approx 0,00020$  Ом/м;
- для 150 мм<sup>2</sup>:  $R_{150} \approx 0,00013$  Ом/м.

Повний активний опір фази лінії при довжині  $L$ :

$$R_{\Sigma} = 2 * R_{\text{пит}} * L.$$

Перевірка для лінії L2 (найбільш навантажена лінія до щита холодильних машин)

Для лінії L2 взято:

- довжина кабелю:  $L_{L2} = 120$  м;
- обраний кабель: 3\*150 мм<sup>2</sup> Cu;
- розрахунковий струм:  $I_{L2} \approx 297$  А;
- номінальна напруга:  $U_{\text{ном}} = 400$  В.

Активний опір фази:

$$R_{\Sigma L2} = 2 * 0,00013 * 120 = 0,0312 \text{ Ом.}$$

Падіння напруги:

$$\Delta U_{L2} = \sqrt{3} * 297 * 0,0312 \approx 16,0 \text{ В.}$$

Відносне падіння напруги:

$$\Delta U_{L2\%} = \frac{16,0}{400} * 100\% = 4,0\%.$$

Отже, падіння напруги на лінії L2 не перевищує 5 % і може бути прийняте як допустиме. З урахуванням того, що частина падіння напруги «закладається» на внутрішні відгалуження всередині щита холодильних машин, отримане значення 4 % є цілком прийнятним для живлення холодильного обладнання.

Перевірка для лінії L3 (живлення щита ліній розливу)

Для лінії L3:

довжина:  $L_{L3} = 70$  м;

обраний кабель: 3\*95 мм<sup>2</sup> Си;

струм:  $I_{L3} \approx 222$  А.

Опір:

$$R_{\Sigma L3} = 2 * 0,00020 * 70 = 0,028 \text{ Ом.}$$

Падіння напруги:

$$\Delta U_{L3} = 1,732 * 222 * 0,028 \approx 10,77 \text{ В.}$$

Відносне падіння:

$$\Delta U_{L3\%} = \frac{10,77}{400} * 100\% \approx 2,7\%.$$

Падіння напруги менше 3 %, що є дуже хорошим результатом для живлення приводів конвеєрів, машин розливу та пакувального обладнання.

Перевірка для лінії L1 (живлення варильно-бродильного комплексу)

Для лінії L1:

довжина:  $L_{L1} = 80$  м;

кабель:  $3 \cdot 50$  мм<sup>2</sup> Cu;

струм:  $I_{L1} \approx 146$  А.

Опір:

$$R_{\Sigma L1} = 2 * 0,00039 * 80 = 0,0624 \text{ Ом.}$$

Падіння напруги:

$$\Delta U_{L1} = 1,732 * 146 * 0,0624 \approx 15,8 \text{ В.}$$

Відносне падіння:

$$\Delta U_{L1\%} = \frac{15,8}{400} * 100\% \approx 4,0\%.$$

Таким чином, падіння напруги на лінії L1 знаходиться в межах приблизно 4 %, що також не перевищує допустимого значення.

Висновок щодо перевірки падіння напруги

За результатами проведених розрахунків падіння напруги на трьох основних живильних лініях ПрАТ «Оболонь» становить:

L1 (варильно-бродильний комплекс):  $\approx 4$  %;

L2 (холодильно-компресорний цех):  $\approx 4$  %;

L3 (лінії розливу):  $\approx 2,7$  %.

В усіх розглянутих випадках отримані значення не перевищують допустимі межі для внутрішніх мереж 0,4 кВ, що свідчить про правильний вибір перерізів кабелів як з точки зору нагріву, так і з точки зору забезпечення якості напруги на затискачах електроприймачів.

### **3.3. Розрахунок втрат напруги та втрат електроенергії в кабельних лініях**

У попередніх розділах було виконано загальну оцінку втрат електроенергії в системі електропостачання ПрАТ «Оболонь». У цьому підрозділі виконується більш детальний розрахунок втрат у конкретних силових кабельних лініях L1, L2 та L3, які живлять найбільш відповідальні та енергоємні групи споживачів.

Втрати електроенергії в кабельних лініях зумовлені переважно тепловими втратами в активному опорі провідників, які можна розрахувати за формулою:

$$P_{\text{вт}} = I^2 * R_{\Sigma},$$

де:

$P_{\text{вт}}$  - втрати потужності в лінії, кВт;

$I$  - робочий струм, А;

$R_{\Sigma}$  - активний опір фази лінії, Ом.

Далі втрати електроенергії за певний час  $t$  визначаються як:

$$W_{\text{вт}} = P_{\text{вт}} * t.$$

Оскільки навантаження на підприємстві змінне протягом доби, для розрахунків приймається еквівалентний середній струм, який відповідає розрахунковим навантаженням, визначеним раніше. Це дозволяє отримати орієнтовну оцінку втрат, прийнятну для інженерних розрахунків у дипломному проєкті.

### 3.3.1. Розрахунок втрат у лініях L1 та L3

Лінія L1 (варильно-бродильний комплекс)

$$I_{L1} \approx 146 \text{ А};$$

$$R_{\Sigma L1} = 0,0624 \text{ Ом.}$$

Втрати потужності:

$$P_{\text{вт L1}} = 146^2 * 0,0624 \approx 1,33 \text{ кВт.}$$

Час інтенсивної роботи варильного обладнання на підприємстві, як правило, менший, ніж у холодильного, тому візьмемо 10 год/добу:

$$W_{\text{вт L1 доб}} = 1,33 * 10 \approx 13,3 \text{ кВт,}$$

$$W_{\text{вт L1 рік}} \approx 13,3 * 365 \approx 4855 \text{ кВт.}$$

Лінія L3 (лінії розливу)

$$I_{L3} \approx 222 \text{ А;}$$

$$R_{\Sigma L3} = 0,028 \text{ Ом.}$$

$$P_{\text{вт L3}} = 222^2 * 0,0281,38 \text{ кВт.}$$

Лінії розливу зазвичай працюють у двозмінному режимі 16 год:

$$W_{\text{вт L3 доб}} = 1,38 * 16 \approx 22,1 \text{ кВт,}$$

$$W_{\text{вт L3 рік}} \approx 22,1 * 365 \approx 8067 \text{ кВт.}$$

### 3.3.2. Узагальнення втрат у трьох основних лініях

Таблиця 3.4

Орієнтовні річні втрати електроенергії в основних кабельних лініях

Лінія	Призначення	Рвт, кВт	Орієнтовний час роботи, год/добу	Wвт доб, кВт*год	Wвт рік, кВт*год

L1	Варильно-бродильний комплекс	≈1,33	10	≈13,3	≈4 855
L2	Холодильно-компресорний щит	≈2,75	16	≈44,0	≈16 060
L3	Лінії розливу	≈1,38	16	≈22,1	≈8 067

Сумарні втрати в трьох основних магістральних лініях:

$$W_{\text{вт } \Sigma \text{ рік}} \approx 4\,855 + 16\,060 + 8\,067 \approx 28\,982 \text{ кВт.}$$

Порівняно із загальним річним споживанням електроенергії ПрАТ «Оболонь»:

$$W_{\text{рік}} \approx 985\,500 \text{ кВт,}$$

частка втрат у розглянутих кабельних лініях становить:

$$\frac{28\,982}{985\,500} \approx 0,029 \Rightarrow 2,9\%.$$

Тобто лише на трьох основних живильних лініях втрачається майже **3 %** річного обсягу електроенергії, споживаного підприємством. З урахуванням інших ліній та внутрішньоцехових мереж сумарні кабельні втрати можуть досягати значень, наведених раніше в розділі 2 (1-3 % від загального споживання).

### **3.4. Розрахунок параметрів системи компенсації реактивної потужності ПрАТ «Оболонь»**

#### **3.4.1. Вихідні дані для розрахунку установки компенсації**

За результатами аналізу енергоспоживання та якості електроенергії встановлено, що в робочих режимах підприємства значну частку у формуванні навантаження займають індуктивні споживачі: електродвигуни насосів, компресорів, холодильних машин, конвеєрів та іншого виробничого обладнання. Це зумовлює занижений коефіцієнт потужності мережі 0,4 кВ, що призводить до підвищених перетоків реактивної енергії, зростання струмів у силових кабелях та трансформаторах, а також до збільшення втрат електроенергії.

У данному проєкті для електропостачання ПрАТ «Оболонь» прийнято:

- існуючий (до компенсації) коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi_1 = 0,78;$$

- цільовий (після впровадження системи компенсації) коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi_2 = 0,95;$$

- середня активна потужність підприємства:

$$P_{\text{ср}} = 112,5 \text{ кВт};$$

- розрахункова сумарна активна потужність по групах споживачів (максимальний режим):

$$P_{\Sigma p} \approx 630 \text{ кВт}.$$

Система компенсації реактивної потужності має виконувати дві основні задачі, це забезпечити підвищення  $\cos \varphi$  на шинах ГРЩ 0,4 кВ до рівня не нижче 0,95 у нормальних режимах роботи та автоматичне пристосування величини компенсуючої реактивної потужності до поточного навантаження, враховуючи змінність графіка роботи обладнання (вмикання та вимикання агрегатів протягом доби). Взявши це уваги було вирішено застосувати автоматизовану батарею конденсаторів ступінчастої дії, підключену до шин ГРЩ 0,4 кВ.

### 3.4.2. Визначення необхідної компенсуючої потужності

Розрахунок необхідної компенсуючої реактивної потужності для підвищення коефіцієнта потужності від  $\cos\varphi_1$  до  $\cos\varphi_2$  проводиться за формулою:

$$Q_c = P * (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2),$$

де

$Q_c$ - потужність установки компенсації, квар;

$P$ - активна потужність, кВт;

$\varphi_1$ - кут до компенсації,  $\varphi_1 = \arccos(\cos\varphi_1)$ ;

$\varphi_2$ - кут після компенсації,  $\varphi_2 = \arccos(\cos\varphi_2)$ .

Визначаємо значення тангенсів кутів:

$$\varphi_1 = \arccos(0,78) \approx 38,7^\circ, \operatorname{tg} \varphi_1 \approx 0,802$$

$$\varphi_2 = \arccos(0,95) \approx 18,2^\circ, \operatorname{tg} \varphi_2 \approx 0,328.$$

Далі можна розглядати два підходи:

1. мінімальна компенсація - для **середньої активної потужності**  $P_{\text{ср}} = 112,5$  кВт;
2. розширена компенсація - для **розрахункової активної потужності**  $P_{\Sigma p} \approx 630$  кВту піковий період.

Компенсація середньої потужності

$$Q_{c \text{ ср}} = 112,5 * (0,802 - 0,328) = 112,5 * 0,474 \approx 53,3 \text{ квар.}$$

Отже, для середнього навантаження підприємства достатньо близько **50-55 квар** компенсуючої потужності.

Компенсація для розрахункової потужності

$$Q_{c \text{ макс}} = 630 * (0,802 - 0,328) = 630 * 0,474 \approx 298,6 \text{ квар.}$$

У цьому випадку для забезпечення  $\cos \varphi \approx 0,95$  при роботі всього комплексу прийдеться встановити компенсуючий пристрій потужністю близько 300 квар.

З практичної точки зору для ПрАТ «Оболонь» доцільно орієнтуватися на установку компенсації на шинах ГРЩ сумарною потужністю 200-300 квар з ступінчастим регулюванням, оскільки реальна сумарна активна потужність рідко досягає розрахункового максимуму по всіх групах одночасно.

Для подальших розрахунків приймемо:

$$Q_c^{\text{уст}} = 250 \text{ квар.}$$

Таке значення забезпечує можливість роботи з  $\cos \varphi$ , близьким до 0,95, при більшості реальних режимів навантаження підприємства з невеликим запасом на динаміку вмикання обладнання.

### **3.4.3. Вибір структури та ступенів батареї конденсаторів**

Для реалізації компенсації реактивної потужності на ПрАТ «Оболонь» використовується АКУ, підключена до шин 0,4 кВ головного розподільчого щита. АКУ складається з:

- декількох ступенів конденсаторних батарей, кожна з яких має фіксовану потужність;
- комутаційних апаратів (контакторів або тиристорних модулів);
- контролера коефіцієнта потужності, що аналізує  $\cos \varphi$  на шинах ГРЩ і автоматично вмикає або вимикає необхідні ступені.

Для зручності керування та гнучкого налаштування беремо наступні значення:

$$1\text{-ша ступінь: } Q_1 = 25 \text{ квар;}$$

2-га ступінь:  $Q_2 = 25$  квар;

3-тя ступінь:  $Q_3 = 50$  квар;

4-та ступінь:  $Q_4 = 50$  квар;

5-та ступінь:  $Q_5 = 50$  квар;

6-та ступінь:  $Q_6 = 50$  квар.

Сумарна потужність:

$$Q_{\Sigma\text{АКУ}} = 25 + 25 + 50 + 50 + 50 + 50 = 250 \text{ квар.}$$

Така конфігурація дозволяє:

1. змінювати компенсуючу потужність з кроком 25 квар на нижніх рівнях і 50 квар - на верхніх;
2. гнучко підтримувати  $\cos \varphi$  як у режимі часткового навантаження, так і в режимі близькому до максимального.

#### 3.4.4. Орієнтовний розрахунок струмів і вибір апаратури АКУ

Номінальний лінійний струм конденсаторної батареї визначається за формулою:

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} * U}.$$

Для мережі 0,4 кВ і однієї ступені 50 квар:

$$I_{50} = \frac{50 * 10^3}{1,732 * 400} \approx 72,2 \text{ А.}$$

Отже, для ступеня 50 квар струм становить орієнтовно 72 А.

Для ступеня 25 квар:

$$I_{25} \approx \frac{25 * 10^3}{692,8} \approx 36,1 \text{ А.}$$

Ці значення використовуються для вибору:

- номіналів контакторів (чи тиристорних ключів) кожної ступені;
- номіналів запобіжників або автоматичних вимикачів у колах ступенів;
- перерізів з'єднувальних провідників всередині шафи АКУ.

Також необхідно врахувати:

- наявність детюнінгових реакторів (фільтрів), якщо в мережі існують гармоніки;
- категорію перенапруг, класи напруги та тип ізоляції конденсаторів (для мереж 0,4 кВ зазвичай застосовують конденсатори напругою 440-525 В для роботи в умовах гармонік).

### 3.4.5. Оцінка ефекту від компенсації з точки зору повної потужності та струмів

На основі розрахунків у розділі 2 визначено, що для ПрАТ «Оболонь»:

до компенсації ( $\cos \varphi = 0,78$ ) при середній активній потужності  $P_{\text{ср}} = 112,5$  кВт:

$$Q_1 \approx 90 \text{ квар}, S_1 \approx 144 \text{ кВА};$$

після компенсації до  $\cos \varphi = 0,95$ :

$$Q_2 \approx 37 \text{ квар}, S_2 \approx 118 \text{ кВА.}$$

Зменшення повної потужності:

$$\Delta S = S_1 - S_2 \approx 144 - 118 = 26 \text{ кВА},$$

що відповідає зменшенню приблизно на **18 %**.

Оскільки струм у трифазній мережі прямо пропорційний повній потужності:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U},$$

то зменшення  $S$  призводить до аналогічного зменшення струму у мережі 0,4 кВ. Зменшення струму на 15-20 % дозволяє:

1. знизити теплові втрати в кабельних лініях (які пропорційні  $I^2$ );
2. зменшити втрати у трансформаторах;
3. підвищити надійність роботи апаратури завдяки роботі при менших струмах;
4. у ряді випадків - зменшити розмір штрафних санкцій або повністю їх уникнути за надлишкову реактивну потужність у мережі.

### **3.5. Розрахунок очікуваної економії електроенергії після впровадження системи компенсації реактивної потужності**

#### **3.5.1. Загальні передумови розрахунку**

У попередніх підрозділах було показано, що на ПрАТ «Оболонь» значну частину навантаження становлять індуктивні електроприймачі: електродвигуни насосів, компресорів, холодильних машин, транспортних ліній тощо. Це зумовлює занижений коефіцієнт потужності мережі 0,4 кВ, що призводить до збільшення повної потужності, струмів у кабельних лініях і трансформаторі та, відповідно, до зростання втрат активної електроенергії.

У даній роботі були прийняті такі значення:

- існуючий коефіцієнт потужності до впровадження заходів:

$$\cos\varphi_1 = 0,78;$$

- цільовий коефіцієнт потужності після впровадження установки компенсації реактивної потужності:

$$\cos\varphi_2 = 0,95;$$

- середня активна потужність підприємства:

$$P_{\text{ср}} = 112,5 \text{ кВт};$$

- річне споживання активної електроенергії:

$$W_{\text{рік}} \approx 985\,500 \text{ кВт.}$$

Також було розраховано необхідну компенсуючу потужність і прийнято встановлення автоматизованої конденсаторної установки 0,4 кВ сумарною потужністю:

$$Q_c^{\text{уст}} = 250 \text{ квар.}$$

Впровадження цієї установки приводить до зменшення повної потужності та струмів у мережі 0,4 кВ, а отже, до скорочення втрат активної електроенергії в кабельних лініях та трансформаторі.

### **3.5.2. Зменшення повної потужності та струмів після компенсації**

Для оцінки впливу компенсації реактивної потужності на струми в мережі спочатку визначимо повну потужність до та після впровадження заходу при середньому навантаженні підприємства.

Повна потужність до компенсації:

$$S_1 = \frac{P_{\text{ср}}}{\cos\varphi_1} = \frac{112,5}{0,78} \approx 144,2 \text{ кВА.}$$

Після компенсації:

$$S_2 = \frac{P_{cp}}{\cos\varphi_2} = \frac{112,5}{0,95} \approx 118,4 \text{ кВА.}$$

Отже, відношення повної потужності після компенсації до повної потужності до компенсації становить:

$$k_S = \frac{S_2}{S_1} \approx \frac{118,4}{144,2} \approx 0,82.$$

Оскільки в трифазній мережі струм прямо пропорційний повній потужності:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U},$$

то можна прийняти, що струм у кабельних лініях і трансформаторі після компенсації зменшується приблизно в тій самій пропорції:

$$I_2 \approx 0,82 * I_1.$$

Втрати потужності в елементах мережі пропорційні квадрату струму:

$$P_{вт} \propto I^2.$$

Тому відносне зменшення втрат активної потужності в кабелях і трансформаторі при переході від режиму з  $\cos \varphi = 0,78$  до режиму з  $\cos \varphi = 0,95$  можна оцінити як:

$$k_P = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = k_S^2 \approx 0,82^2 \approx 0,67.$$

Це означає, що втрати після компенсації становитимуть близько 67 % від початкових, а економія за рахунок їх зменшення - близько 33 %.

### 3.5.3. Економія електроенергії в кабельних лініях

Були проведені розрахунки втрат електроенергії в трьох основних силових кабельних лініях ПрАТ «Оболонь». Сумарні річні втрати в цих лініях становили:

$$W_{\text{вт } \Sigma (\text{лінії})} \approx 28\,982 \text{ кВт.}$$

З урахуванням того, що ці втрати пропорційні квадрату струму, а струми після компенсації реактивної потужності знижуються до приблизно 0,82 від початкових значень, річні втрати в кабельних лініях після компенсації становитимуть:

$$W_{\text{вт } \Sigma (\text{після})} \approx 0,67 * 28\,982 \approx 19\,538 \text{ кВт.}$$

Тоді очікувана економія активної електроенергії в розглянутих кабельних лініях становить:

$$\Delta W_{\text{лін}} = 28\,982 - 19\,538 \approx 9\,444 \text{ кВт.}$$

Таким чином, лише за рахунок зменшення струмів після компенсації реактивної потужності в основних силових лініях на підприємстві можна очікувати економію близько 9,4 МВт.

Хочу зазначити, що на підприємстві також існують інші кабельні лінії меншої потужності (допоміжні механізми, насосні агрегати, окремі дільниці тощо), у яких ефект буде аналогічним за фізичним змістом. У данній роботі економія по них враховується узагальнено в загальній оцінці втрат.

#### **3.5.4. Економія електроенергії в силовому трансформаторі**

У роботі були розглянуті втрати електроенергії в силовому трансформаторі ГПП потужністю 1000 кВА. Втрати холостого ходу трансформатора практично не залежать від навантаження та залишаються сталими, тоді як втрати короткого замикання (мідні втрати) залежать від квадрату коефіцієнта завантаження.

До компенсації реактивної потужності коефіцієнт завантаження трансформатора за повною потужністю:

$$k_1 = \frac{S_1}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{144,2}{1000} \approx 0,144.$$

Після компенсації:

$$k_2 = \frac{S_2}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{118,4}{1000} \approx 0,118.$$

Мідні втрати трансформатора визначаються:

$$P_{\text{кз}} = P_{\text{кз ном}} * k^2,$$

де  $P_{\text{кз ном}} = 11$  кВт- втрати короткого замикання при номінальному навантаженні.

До компенсації:

$$P_{\text{кз1}} = 11 * 0,144^2 \approx 0,23 \text{ кВт.}$$

Після компенсації:

$$P_{\text{кз2}} = 11 * 0,118^2 \approx 0,15 \text{ кВт.}$$

Різниця становить:

$$\Delta P_{\text{кз}} \approx 0,23 - 0,15 \approx 0,08 \text{ кВт.}$$

За умови цілодобової роботи трансформатора річна економія активної електроенергії за рахунок зниження мідних втрат становить:

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{кз}} * 24 * 365 \approx 0,08 * 8760 \approx 650 \text{ кВт.}$$

Це значення суттєво менше порівняно з економією в кабельних лініях, але у сукупності також сприяє зниженню загальних втрат у системі електропостачання.

### 3.5.5. Загальна очікувана економія електроенергії

Сумарна економія активної електроенергії за рахунок зменшення втрат у основних кабельних лініях та силовому трансформаторі після впровадження системи компенсації реактивної потужності становить:

$$\Delta W_{\Sigma} \approx \Delta W_{\text{лін}} + \Delta W_{\text{тр}} \approx 9\,444 + 650 \approx 10\,100 \text{ кВт.}$$

Порівняємо цю величину із загальним річним споживанням електроенергії ПрАТ «Оболонь»:

$$W_{\text{рік}} \approx 985\,500 \text{ кВт.}$$

Відносна економія:

$$\eta_{\text{ек}} = \frac{\Delta W_{\Sigma}}{W_{\text{рік}}} * 100\% \approx \frac{10\,100}{985\,500} * 100\% \approx 1,0\%.$$

Отже, тільки за рахунок зменшення втрат у кабельних лініях та трансформаторі після впровадження компенсації реактивної потужності можна очікувати скорочення споживання активної електроенергії приблизно на 1 % від поточного рівня.

### 3.5.6. Орієнтовна економія коштів

Беремо середній тариф на електроенергію для промислових підприємств:!

$$T = 8,5 \text{ грн*кВт,}$$

орієнтовна річна економія коштів за рахунок скорочення втрат активної електроенергії становитиме:

$$E_{\text{грн}} = \Delta W_{\Sigma} * T \approx 10\,100 * 8,5 \approx 85\,800 \text{ грн/рік.}$$

Таким чином, тільки завдяки встановленню системи компенсації реактивної потужності та, як наслідок, зменшенню струмів у кабелях і трансформаторі, ПрАТ «Оболонь» може зменшити свої річні витрати на електроенергію орієнтовно на 80-90 тис. грн.

Окремим додатковим фактором економічного ефекту є зниження споживання реактивної енергії, що може зменшити або повністю усунути можливі штрафні нарахування з боку оператора системи розподілу за перевищення допустимого рівня реактивної потужності.

### **3.6. Перевірка вибраного обладнання та відповідність умовам експлуатації**

#### **3.6.1. Перевірка кабельних ліній на термічну стійкість при струмах короткого замикання**

При проектуванні системи електропостачання ПрАТ «Оболонь» вибір перерізів силових кабельних ліній здійснювався за двома основними критеріями: допустимий тривалий струм (умови нагріву при робочих режимах) та допустиме падіння напруги. Однак для забезпечення надійної та безпечної експлуатації необхідно також перевірити термічну стійкість кабелів при протіканні струмів короткого замикання.

Термічна стійкість провідника визначається умовою, що тепловий вплив струму короткого замикання за час його дії не перевищує допустимий для ізоляції та матеріалу провідника. У практиці внутрішніх мереж напругою 0,4 кВ, до яких належить система електропостачання ПрАТ «Оболонь», перевірка виконується за формулою:

$$S_{\text{мін}} = \frac{I_{\text{КЗ}} * \sqrt{t_{\text{КЗ}}}}{k},$$

деб

$S_{\text{мін}}$ - мінімально допустимий переріз провідника, мм<sup>2</sup>;

$I_{\text{кз}}$ -розрахунковий струм короткого замикання на відповідній ділянці, кА;

$t_{\text{кз}}$ -час відключення короткого замикання апаратурою захисту, с;

$k$ - коефіцієнт, що залежить від матеріалу провідника та типу ізоляції (для мідних кабелів з ПВХ, або зшитополіетиленовою ізоляцією приймається орієнтовно  $k = 115 \dots 143 \text{ A} \cdot \sqrt{\text{с/мм}^2}$ ).

Для мережі 0,4 кВ ГРЩ ПрАТ «Оболонь» у розрахунках приймається, що максимальний очікуваний струм трифазного короткого замикання на шинах 0,4 кВ не перевищує:

$$I_{\text{кз}} \approx 10 \text{ кА},$$

а час спрацювання та відключення автоматичних вимикачів головних фідерів складає:

$$t_{\text{кз}} \approx 0,2 \text{ с.}$$

Підставимо ці значення у формулу, прийнявши  $k = 115 \text{ A} \cdot \sqrt{\text{с/мм}^2}$  (більш консервативне значення для мідних кабелів):

$$S_{\text{мін}} = \frac{10\,000 \cdot \sqrt{0,2}}{115} \approx 38,9 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, мінімально допустимий переріз мідного кабелю для роботи в умовах струму короткого замикання 10 кА при часі відключення 0,2 с становить приблизно 40 мм<sup>2</sup>.

Порівняємо це значення з прийнятими у проєкті перерізами кабельних ліній:

- лінія L1 (варильно-бродильний комплекс): кабель 3\*50 мм<sup>2</sup> Cu;
- лінія L3 (лінії розливу): кабель 3\*95 мм<sup>2</sup> Cu;
- лінія L2 (холодильно-компресорний щит): кабель 3\*150 мм<sup>2</sup> Cu.

Усі обрані перерізи перевищують розрахункове мінімальне значення 40 мм<sup>2</sup>, тобто з запасом відповідають вимогам термічної стійкості при коротких замиканнях із струмом до 10 кА та часом відключення до 0,2 с. Для менших струмів короткого замикання або ще швидшої дії захисту запас по термічній стійкості буде ще більшим.

### **3.6.2. Перевірка струмових навантажень та відповідності апаратури умовам експлуатації**

У роботі було виконано розрахунок робочих струмів по основних силових лініях ПрАТ «Оболонь»:

для лінії L1:  $I_{L1} \approx 146$  А;

для лінії L2:  $I_{L2} \approx 297$  А;

для лінії L3:  $I_{L3} \approx 222$  А;

для головної збірки шин ГРЩ:  $I_{\Sigma} \approx 1\ 000$  А.

Обрані кабелі за допустимими тривалими струмами:

L1 - 3\*50 мм<sup>2</sup> Cu (допустимий струм 150-170 А);

L3 - 3\*95 мм<sup>2</sup> Cu (допустимий струм 230-260 А);

L2 - 3\*150 мм<sup>2</sup> Cu (допустимий струм 300-330 А).

Порівняння розрахункових і допустимих струмів показує, що робочі струми не перевищують допустимих значень для обраних перерізів, при цьому збережений конструктивний запас орієнтовно на рівні 5-20 % залежно від лінії. Це означає, що при тривалій роботі в максимальних режимах кабелі не будуть перегріватися, а їхній ресурс за ізоляцією не зменшуватиметься передчасно.

Вибір апаратури захисту (автоматичних вимикачів) в мережі 0,4 кВ ПрАТ «Оболонь» має здійснюватися за такими основними принципами:

- номінальний струм автомата має перевищувати робочий струм лінії, але бути достатньо близьким до нього для забезпечення селективності та захисту від перевантажень;
- відключаюча здатність автомата повинна бути не меншою за максимальний розрахунковий струм короткого замикання на даній точці мережі (10 кА на шинах ГРЩ, менші значення на віддалених розподільчих щитах);
- характеристика спрацювання автомата (тип С, D для промислових навантажень) підбирається з урахуванням пускових струмів електродвигунів.

Для головної ввідної комірки ГРЩ доцільно застосувати автоматичний вимикач номінальним струмом 1000-1250 А з відключаючою здатністю не менше 25-36 кА при 400 В, що забезпечить надійне відключення можливих коротких замикань у шинній системі та на найбільш навантажених фідерах.

Для фідерів, що живлять лінії L1, L2, L3, номінали автоматичних вимикачів можуть бути обрані в таких діапазонах:

- для L1 із робочим струмом 146 А - автомат на 160-200 А;
- для L3 із струмом 222 А - автомат на 250 А;
- для L2 із струмом 297 А - автомат на 315-320 А.

Такі значення номінальних струмів захисту відповідають умовам:

1. запобігання тривалому перевантаженню кабельних ліній;
2. недопущення помилкових відключень при пускових струмах електродвигунів;
3. забезпечення селективності між ввідним автоматом ГРЩ та фідерними вимикачами.

Крім того, апаратура захисту повинна відповідати кліматичному виконанню та категоріям розміщення, що відповідають умовам експлуатації в електротехнічних приміщеннях ПрАТ «Оболонь» (температура, вологість, можливі забруднення повітря, рівень пилу тощо).

### **3.6.3. Відповідність системи компенсації реактивної потужності умовам роботи підприємства**

В ході роботи була розроблена структура автоматизованої конденсаторної установки 0,4 кВ потужністю 250 квар, призначеної для компенсації реактивної потужності на шинах ГРЩ ПрАТ «Оболонь». Вибрані параметри установки відповідають характеру навантаження підприємства:

- ступенева структура з кроком 25 і 50 квар дозволяє підтримувати коефіцієнт потужності на рівні близько 0,95 при різних режимах роботи обладнання;
- струми окремих ступенів (порядку 36 А для 25 квар та 72 А для 50 квар) дозволяють використовувати стандартні низьковольтні контактори та захисні апарати номіналами 63-100 А, призначені для комутації конденсаторних батарей;
- підключення АКУ до шин ГРЩ 0,4 кВ забезпечує компенсацію реактивної потужності найбільшого масиву індуктивних навантажень підприємства, включаючи холодильні машини, компресори, насоси та конвеєрні приводи.

З урахуванням наявності на підприємстві обладнання з періодичними вмиканнями та значною кількістю перетворювальних пристроїв (частотні перетворювачі, імпульсні джерела живлення АСУ ТП тощо) доцільно застосувати детюнінгові реактори в складі АКУ для обмеження впливу вищих гармонік на

конденсаторні батареї та уникнення резонансних явищ у мережі. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до якості електроенергії на промислових об'єктах.

### **3.6.4. Висновки до розрахункової частини**

За результатами виконаної розрахункової частини можна зробити такі узагальнені висновки щодо системи електропостачання ПрАТ «Оболонь»:

1. На основі аналізу електроспоживання підприємства виконано розрахунок активних та повних потужностей основних груп електроприймачів. Сумарна розрахункова активна потужність становить близько 630 кВт, що при прийнятому коефіцієнті потужності 0,9 відповідає повній потужності орієнтовно 700 кВА.
2. Розрахований максимальний струм на шинах ГРЩ 0,4 кВ підприємства становить порядку 1000 А, що підтверджує достатність встановленої потужності силового трансформатора 1000 кВА для живлення всіх споживачів при роботі одного трансформатора в робочому режимі, з можливістю резервування другим трансформатором.
3. Виконано розрахунок перерізів основних кабельних ліній (L1, L2, L3) за допустимим тривалим струмом та падінням напруги. Обрані перерізи кабелів (50, 95 та 150 мм<sup>2</sup>) забезпечують не тільки відсутність перевантаження провідників при максимальних робочих струмах, але й падіння напруги не більше 4 % на кожній лінії, що відповідає вимогам до якості електроенергії на затискачах основних електроприймачів.
4. Перевірка кабельних ліній на термічну стійкість при струмах короткого замикання показала, що фактичні перерізи значно перевищують мінімально необхідний переріз, розрахований для струму КЗ 10 кА і часу відключення 0,2 с. Це забезпечує безпечну роботу кабелів у випадку аварійних режимів та

- відповідає вимогам нормативних документів щодо термічної стійкості провідників.
5. Підібрані номінали автоматичних вимикачів для головного вводу та фідерів, що живлять основні лінії L1-L3, забезпечують достатній запас по струму, селективність спрацювання та надійний захист кабельних ліній від перевантажень та коротких замикань.
  6. Виконано розрахунок та обґрунтування параметрів системи компенсації реактивної потужності на ПрАТ «Оболонь». Запропонована автоматизована конденсаторна установка потужністю 250 квар із шістьма ступенями дозволяє підвищити коефіцієнт потужності на шинах ГРЩ до рівня  $\cos \varphi \approx 0,95$ , що зменшує повну потужність і струми в мережі на 15-20 % та знижує втрати електроенергії.
  7. Орієнтовна річна економія активної електроенергії за рахунок зменшення втрат у кабельних лініях і трансформаторі після впровадження системи компенсації реактивної потужності становить близько 10 МВт\*год/рік, що відповідає 1 % загального річного споживання електроенергії ПрАТ «Оболонь». У грошовому вираженні це становить орієнтовно 80-90 тис. грн на рік при прийнятому тарифі.

## **РОЗДІЛ 4**

### **Охорона довколишнього середовища**

#### **4.1. Нормативно-правова база охорони довкілля в Україні**

Діяльність підприємств харчової промисловості, зокрема ПрАТ «Оболонь», у частині впливу на навколишнє природне середовище регламентується низкою чинних законів України та національних стандартів.

Базовим документом є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», який визначає правові, економічні та соціальні основи охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки.

Питання управління промисловими, будівельними, небезпечними та іншими видами відходів регулює Закон України «Про управління відходами», що запроваджує європейську ієрархію поводження з відходами (запобігання утворенню, підготовка до повторного використання, перероблення, відновлення, видалення), а також вимоги щодо обліку, звітності та відповідальності суб'єктів господарювання.

Викиди забруднювальних речовин в атмосферу від стаціонарних джерел (наприклад, резервних дизель-генераторів або котельного обладнання, якщо воно є в енергогосподарстві підприємства) регулюються Законом України «Про охорону атмосферного повітря». Закон встановлює вимоги до нормування, дозволів на викиди, проведення інвентаризації та моніторингу джерел забруднення.

Використання і охорона водних ресурсів, включно з можливим впливом електротехнічного обладнання (трансформаторних підстанцій, маслоснаповненого обладнання) на стан поверхневих і підземних вод, регламентуються Водним кодексом України, який визначає правові засади раціонального використання й відтворення вод та їх охорони від забруднення, засмічення і виснаження.

Питання безпечних і здорових умов праці при експлуатації електроустановок (шум, вібрація, електромагнітні поля, мікроклімат виробничих приміщень) регулює Закон України «Про охорону праці». Він визначає обов'язки роботодавця щодо створення безпечного виробничого середовища, проведення інструктажів, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та контролю шкідливих факторів.

Проектування та експлуатація систем електропостачання здійснюються відповідно до:

Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476. ПУЕ визначають вимоги до будови, улаштування та експлуатації електроустановок напругою до 750 кВ змінного струму, у тому числі вимоги щодо безпеки для людей і навколишнього середовища.

ДБН В.2.5-23:2010 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення», які встановлюють вимоги до проектування електропостачання та електричного освітлення будівель і споруд, включаючи питання енергоефективності, безпеки і сумісності з іншими інженерними системами (норма діє до 01.01.2026, на момент розроблення дипломного проєкту є чинною).

У сфері системного екологічного управління використовуються вимоги національного стандарту ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування», гармонізованого з міжнародним стандартом ISO 14001:2015. Він задає рамки для створення на підприємстві системи управління екологічними аспектами, визначення екологічної політики та цілей, планування, моніторингу й постійного поліпшення.

Енергоефективність як ключовий екологічний фактор систем електропостачання регулюється Законом України «Про енергетичну ефективність», який встановлює правові засади державної політики у сфері підвищення енергоефективності, включно з вимогами до енергетичних аудитів та енергетичного менеджменту на підприємствах.

Міністерство енергетики України

## 4.2. Екологічні аспекти роботи систем електропостачання ПрАТ «Оболонь»

Системи електропостачання великого промислового підприємства типу ПрАТ «Оболонь» створюють низку екологічних аспектів, що мають враховуватися при проектуванні та експлуатації:

Споживання електричної енергії та непрямі викиди парникових газів

Виробництво електроенергії на національному рівні, особливо з викопного палива, супроводжується викидами CO<sub>2</sub> та інших забруднювачів. Тому будь-які заходи з підвищення енергоефективності систем електропостачання (зменшення втрат у трансформаторах, кабельних лініях, оптимізація режимів роботи електроприймачів, впровадження енергоощадного освітлення) прямо зменшують непрямий вплив підприємства на довкілля.

Можливе забруднення ґрунтів і вод нафто- та масловмісними речовинами

Традиційні маслонаповнені силові трансформатори та масляні вимикачі містять великі об'єми трансформаторної оливи. У разі аварійного витoku існує ризик забруднення ґрунту та, через фільтрацію, підземних вод, що підпадає під дію Водного кодексу України та загальних вимог екологічного законодавства щодо попередження і ліквідації аварійного забруднення.

Електромагнітні поля (ЕМП)

Робота закритих розподільчих пристроїв, кабельних ліній та силових трансформаторів супроводжується утворенням магнітних і електричних полів промислової частоти 50 Гц. Рівні ЕМП у робочих зонах персоналу повинні відповідати вимогам Державних санітарних норм і правил при роботі з джерелами електромагнітних полів (ДСанПіН 3.3.6-096-2002), затверджених наказом МОЗ України від 18.12.2002 № 476, з урахуванням пізніших змін.

Шумовий вплив трансформаторних підстанцій та електрообладнання

Трансформатори, вентиляторні установки, компресори, електроприводи створюють виробничий шум, рівні якого на робочих місцях мають відповідати «Санітарним нормам виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» ДСН 3.3.6.037-99.

#### Світлове забруднення та раціональне використання освітлення

Зовнішнє освітлення території, під'їзних шляхів і промислових майданчиків може створювати світлове забруднення для навколишньої забудови. Використання сучасних світлодіодних світильників з можливістю регулювання потужності та спрямування світлового потоку дає змогу зменшити цей вплив, одночасно знижуючи споживання електроенергії.

#### Утворення відходів електротехнічного обладнання

В процесі реконструкції систем електропостачання утворюються відходи кабельної продукції, металобрухт, відпрацьовані масла, відпрацьовані лампи (у тому числі люмінесцентні та ртутні), електронні компоненти. До них застосовуються загальні вимоги Закону України «Про управління відходами» щодо класифікації, маркування, обліку, передачі на утилізацію/переробку ліцензованим суб'єктам та ведення звітності.

### **4.3. Заходи зі зниження екологічного впливу систем електропостачання**

З урахуванням виявлених екологічних аспектів у дипломному проєкті для систем електропостачання ПрАТ «Оболонь» можуть бути передбачені такі організаційно-технічні заходи.

#### **4.3.1. Підвищення енергоефективності електропостачання**

Відповідно до вимог Закону України «Про енергетичну ефективність» та загальних принципів ДСТУ ISO 14001:2015 доцільно впроваджувати комплексні енергоощадні рішення:

Застосування енергоефективних силових трансформаторів з пониженими втратами холостого ходу та короткого замикання, що знижує сумарні втрати в мережі та відповідно - непрямі викиди парникових газів.

Оптимізація схем електропостачання (скорочення довжини ліній, вибір раціональних перерізів кабелів згідно з ПУЕ та ДБН), що зменшує втрати потужності.

Встановлення компенсаційних пристроїв для реактивної потужності (конденсаторні батареї, статичні компенсатори), що забезпечує підвищення коефіцієнта потужності, зниження струмів у мережі та втрат у кабельних лініях і трансформаторах.

Перехід на світлодіодне освітлення виробничих та адміністративно-побутових приміщень з використанням систем автоматичного керування освітленістю (датчики руху, освітленості, добові графіки).

Впровадження систем енергетичного моніторингу (смарт-лічильники, автоматизовані системи обліку електроенергії), що дає можливість виявляти нераціональні режими роботи електроприймачів та оперативно коригувати їх.

З позицій екологічного управління підвищення енергоефективності дозволяє встановити кількісні екологічні цілі (наприклад, зменшення питомого споживання електроенергії на 1 дал напою) та контролювати їх досягнення у рамках системи за ДСТУ ISO 14001:2015.

#### **4.3.2. Запобігання забрудненню ґрунтів і вод трансформаторними оливами**

З метою виконання вимог Водного кодексу України щодо недопущення забруднення поверхневих і підземних вод та вимог Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» щодо локалізації аварійних ситуацій доцільно передбачити:

Енциклопедія Сучасної України

застосування герметичних трансформаторів або трансформаторів з екологічно безпечними (біорозкладними) оливами там, де це економічно та технічно доцільно;

облаштування маслоприймачів (маслозбірників) під трансформаторами та маслоснаповненим обладнанням із достатнім об'ємом для локалізації аварійного витoku, ізоляцією від ґрунту та системою відкачування;

наявність плану локалізації та ліквідації аварійних розливів, інструкцій для персоналу та комплектів сорбентів, що дає змогу швидко усунути наслідки можливих аварій;

організовану утилізацію відпрацьованих трансформаторних олив через спеціалізовані підприємства відповідно до вимог Закону України «Про управління відходами» (класифікація як небезпечних відходів, облік, договори з ліцензованими операторами).

#### **4.3.3. Обмеження впливу електромагнітних полів та шуму**

Для забезпечення відповідності Державним санітарним нормам щодо електромагнітних полів та виробничого шуму передбачається:

Раціональне планувальне рішення електротехнічних приміщень: розміщення силових трансформаторів, головних розподільчих щитів і шинних каналів на відстані від постійних робочих місць, виробничих і адміністративних приміщень.

Екранування та заземлення металевих оболонок кабелів, шаф та корпусів обладнання згідно з вимогами ПУЕ, що знижує рівні електричних полів у зонах перебування персоналу.

Вибір трансформаторів із пониженим шумом та застосування віброізоляційних основ, шумопоглинальних конструкцій (акустичні екрани, облицювання стін звукопоглинальними матеріалами) у приміщеннях підстанцій, розташованих поблизу робочих місць.

Регулярний контроль рівнів ЕМП і шуму сертифікованими приладами з оформленням протоколів вимірювань та порівнянням із допустимими значеннями, визначеними відповідними санітарними нормами.

У випадку перевищення граничнодопустимих рівнів розробляються та впроваджуються коригувальні заходи (зміна режимів роботи, додаткове екранування, перепланування робочих місць).

#### **4.3.4. Раціональне поводження з відходами електротехнічного обладнання**

Відповідно до Закону України «Про управління відходами» в системах електропостачання ПрАТ «Оболонь» доцільно організувати роздільний збір і передачу на утилізацію таких основних потоків відходів:

металобрухт (демонтовані шинопроводи, корпуси обладнання, конструкції кріплення);

кабельні відходи (окремий збір із подальшою переробкою металевих жил та полімерної ізоляції);

відпрацьовані оливи та інші хімічні реагенти, які належать до небезпечних відходів;

відпрацьовані джерела світла, що містять ртуть (люмінесцентні лампи, ДРЛ тощо) - із передачею спеціалізованим організаціям;

електронні відходи (релейні пристрої, контролери, частотні перетворювачі, засоби автоматизації).

На рівні підприємства має бути затверджено порядок поводження з відходами, призначено відповідальну особу, організовано ведення обліку та подання звітності до інформаційної системи управління відходами, як це передбачено статтями 46-48 Закону України «Про управління відходами».

#### **4.3.5. Екологічні аспекти зовнішнього та внутрішнього освітлення**

Під час проектування систем внутрішнього й зовнішнього освітлення будівель і території ПрАТ «Оболонь» згідно з вимогами ДБН В.2.5-23:2010 передбачається:

використання світлодіодних світильників з високим світловим ККД і тривалим ресурсом роботи, що зменшує енергоспоживання та кількість відходів джерел світла;

застосування локального та комбінованого освітлення на робочих місцях, що дозволяє знизити загальний рівень освітленості та енергоспоживання без погіршення умов праці;

обмеження світлового забруднення за рахунок вибору оптики світильників із контрольованим кутом розсіювання, орієнтації світлового потоку вниз, використання систем керування освітленням у нічний період;

забезпечення нормованих рівнів освітленості відповідно до чинних будівельних норм та стандартів, що позитивно впливає на безпеку праці та зменшує ризики виробничого травматизму.

#### 4.4. Інтеграція заходів у систему екологічного управління підприємства

Запропоновані технічні та організаційні рішення для систем електропостачання ПрАТ «Оболонь» доцільно розглядати як складову системи екологічного управління, побудованої відповідно до ДСТУ ISO 14001:2015.

У рамках цієї системи:

визначаються екологічні аспекти енергогосподарства (споживання електроенергії, відходи обладнання, шум, ЕМП, ризики витоків оливо);

встановлюються цілі та завдання (скорочення питомого споживання енергії, зменшення обсягу небезпечних відходів, забезпечення 100 % відповідності санітарним нормам щодо ЕМП і шуму тощо);

розробляються програми та плани з удосконалення систем електропостачання (реконструкція підстанцій, заміна трансформаторів, модернізація освітлення, впровадження АСКОЕ);

організовується моніторинг та внутрішній аудит виконання заходів з наступним коригуванням прийнятих рішень і постійним поліпшенням екологічних показників.

Таким чином, передбачені в дипломному проєкті рішення з модернізації систем електропостачання ПрАТ «Оболонь» дозволяють не лише підвищити надійність та енергоефективність електропостачання, а й забезпечити відповідність чинному українському екологічному законодавству та сучасним вимогам у сфері сталого розвитку і охорони навколишнього природного середовища.

## **РОЗДІЛ 5**

### **Охорона праці**

#### **5.1. Правові основи охорони праці**

Види інструктажів з охорони праці

[1][6] Інструктажі з охорони праці за характером і часом проведення

поділяються на:

- вступний;
- первинний на робочому місці;
- повторний;
- цільовий;
- позаплановий

Основні питання інструктажу:

- загальні відомості про організацію;
- характерні особливості виробництва;
- головні положення законодавства про охорону праці;
- пільги і компенсації;
- правила внутрішнього трудового розпорядку організації, відповідальність за порушення правил;
- організація роботи з охорони праці;
- відомчий, державний нагляд і громадський контроль за станом охорони праці;
- загальні правила поведінки працівників на території організації, у виробничих та допоміжних приміщеннях;
- розташування основних цехів, служб допоміжних приміщень;
- основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, характерні для даного виробництва;
- методи і засоби попередження нещасних випадків і професійних захворювань: засоби індивідуального захисту, плакати, знаки безпеки,

сигналізація;

- основні вимоги щодо запобігання травматизму;
- основні вимоги виробничої санітарії та особистої гігієни; засоби індивідуального захисту, порядок та норми їх видачі, терміни шкарпетки;
- обставини і причини нещасних випадків, аварій, вибухів, пожеж, що сталися в організації або на інших виробництвах через порушення вимог безпеки; порядок розслідування та оформлення нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань; пожежна безпека;
- способи та засоби запобігання пожежам, вибухам, аваріям;
- дії працівників у надзвичайних ситуаціях;
- перша допомога потерпілим.

В окремих галузях економіки замість вступного інструктажу можна проводити навчання в порядку, встановленому в галузі. Інструктаж проводять в кабінеті охорони праці або в іншому спеціально обладнаному приміщенні.

Первинний інструктаж - інструктаж з ОП, який проводиться на робочому місці до початку виробничої діяльності:

- з усіма знову прийнятими в організацію;
- переведеними з інших підрозділів організації;
- працівниками перед виконанням нової для них роботи;
- будівельниками, які виконують будівельно-монтажні роботи на території організації;

Безпосередній керівник робіт проводить інструктаж з кожним працівником індивідуально, або з групою осіб, які обслуговують однотипне обладнання та в межах загального робочого місця. При цьому необхідний показу безпечних прийомів і методів праці. [1][6]

Особи, не пов'язані з обслуговуванням, випробуванням, налагодженням і ремонтом обладнання, використанням інструментів, зберіганням і застосуванням сировини і матеріалів, первинний інструктаж на робочому місці не проходять. Перелік професій і посад працівників, звільнених від первинного інструктажу, стверджує керівник організації за погодженням з профспілковим комітетом і службою охорони праці.

Всі працівники після первинного інструктажу на робочому місці повинні протягом перших 2-14 змін (залежно від характеру роботи, кваліфікації) пройти стажування під керівництвом осіб, призначених наказом по цеху (дільниці).

Програма первинного інструктажу на робочому місці, погоджена зі службою охорони праці та профспілковим комітетом, включає наступні питання:[1][6][7]

- загальні відомості про технологічний процес та обладнання на даному робочому місці, виробничій дільниці, в цеху; виникають шкідливі і небезпечні виробничі чинники;

- безпечна організація робочого місця;

- порядок підготовки до праці (перевірка справності обладнання, пошукових приладів, блокувань, заземлення та інших засобів захисту);

- безпечні прийоми та методи роботи; засоби індивідуального захисту на робочому місці та правила користування ними; безпечне пересування на території цеху, дільниці;

- небезпечні зони машини, механізму, приладу; засоби безпеки обладнання (запобіжні, гальмові пристрої та огорожа, системи блокування та сигналізації, знаки безпеки);

- внутрішньоцехові транспортні та вантажопідйомні засоби і механізми;

- вимоги безпеки при вантажно-розвантажувальних роботах і транспортуванні вантажів;
- вимоги щодо запобігання травматизму;
- характерні причини аварій, вибухів, пожеж, виробничих травм; заходи попередження аварій, вибухів, пожеж; обов'язкові дії в небезпечних ситуаціях;
- місця розташування засобів пожежогасіння, протиаварійного захисту та сигналізації, способи їх застосування.

Повторний інструктаж - інструктаж з охорони праці, який проходять всі працівники, за винятком осіб, звільнених від первинного інструктажу, незалежно від їх кваліфікації, стажу роботи й освіти не рідше 1 разу на півріччя за програмою первинного інструктажу на робочому місці в повному обсязі.

Організаціями за погодженням з профспілковими комітетами та відповідними місцевими органами державного нагляду і контролю для деяких категорій працівників може бути встановлений більш тривалий (до 1 року) термін проведення повторного інструктажу.

Повторний інструктаж проводять індивідуально або з групою працівників, які обслуговують однотипне обладнання в межах загального робочого місця.

Цільовий інструктаж - інструктаж з охорони праці, який проводять:

- при виконанні разових робіт, не пов'язаних з прямими обов'язками за фахом (навантаження, вивантаження, прибирання території, яка-небудь робота поза організації, цеху тощо);
- ліквідації наслідків аварій, стихійних лих і катастроф;
- при виробництві робіт, на які оформляється наряд-допуск, дозвіл та

інші документи (в них роблять запис про інструктажі).

Позаплановий інструктаж - інструктаж з охорони праці, який проводять:

- при введенні в дію нових або перероблених стандартів, правил з охорони праці та інструкцій з охорони праці;

- зміні технологічного процесу, заміні (або модернізації) обладнання, пристосувань і інструменту, сировини, матеріалів та інших факторів;

- порушенні працівниками вимог охорони праці, що може призвести (або вже призвело) до виробничої травми, отруєння, аварії, вибуху, пожежі;

- перервах у роботі: для робіт, до яких пред'являються додаткові (підвищені) вимоги охорони праці, - не більш ніж на 30 днів, для решти робіт 60 днів;

- на вимогу органів нагляду та контролю.

Інструктаж проводять індивідуально або з групою працівників однієї професії. Обсяг і зміст інструктажу визначають залежно від причин і обставин, що викликали необхідність його проведення.

## **5.2. Загальні заходи щодо забезпечення електробезпеки**

Електробезпека - це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Електробезпека включає в себе:

1. Організацію безпечної експлуатації електроустановки

2. Технічні способи і засоби захисту від ураження електричним струмом.
3. Організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках.
4. Технічні заходи, що забезпечують безпеку робіт зі зняттям напруги.
5. Засоби захисту, які використовуються в електроустановках.
6. Блискавкозахист будівель та споруд.

Залежно від обсягу та складності робіт з експлуатації електроустановок Споживачів створюється енергослужбу, укомплектована відповідним кваліфікації персоналом.

Допускається виробляти експлуатацію електроустановок за договором із спеціалізованою організацією, яка має ліцензію на право такої діяльності. Споживач зобов'язаний забезпечити:

- утримання електроустановок у робочому стані та їх експлуатацію згідно з вимогами нормативних документів з електробезпеки, правил безпеки та інших нормативно-технічних документів;
- своєчасне якісне проведення технічного обслуговування, планово-попереджувального ремонту, випробування, модернізації та реконструкції електроустановок та електрообладнання;
- підбір електротехнічного та електротехнологічного персоналу, періодичні медогляди працівників, проведення інструктажів по безпечним методам праці та пожежної безпеки;
- надійність і безпека експлуатації електроустановок;
- охорону праці електротехнічного та електротехнологічного персоналів;
- охорону навколишнього середовища;

- облік, аналіз і розслідування порушень в роботі електроустановок, нещасних випадків, пов'язаних з експлуатацією електроустановок та вжиття заходів щодо усунення причин їх виникнення;

- подання повідомлень до органів Енергонагляду про аварії, смертельних. Тяжких та групових нещасних випадках, пов'язаних з експлуатацією електроустановок;

- розроблення посадових, виробничих інструкцій та інструкцій з охорони праці для електротехнічного персоналу;

- укомплектування електроустановок захисними засобами, засобами пожежогасіння та інструментом;

- облік, раціональне використання електричної енергії та проведення заходів з енергозбереження;

- проведення необхідних випробувань електрообладнання. Експлуатацію пристроїв грозозахисту, вимірювальних приладів і засобів обліку електричної енергії;

- виконання приписів органів державного енергетичного нагляду  
Організаційні заходи з безпечного виконання робіт в електроустановках.

До захисних заходів попереджує ураження електричним струмом відносяться: застосування малого напруги;

1. вибір і встановлення електрообладнання у відповідності з умовами навколишнього середовища;
2. огороження струмоведучих частин електроустановки;
3. пристрій заземлення або занулення всіх металевих конструкцій, які можуть виявитися під напругою, а також застосування захисного відключення;
4. застосування захисних засобів при обслуговуванні

електроустановок;

5. організаційні заходи що забезпечують безпеку виробництва робіт

Організаційними заходами, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках, є:

- оформлення робіт нарядом, розпорядженням або переліком робіт, виконуваних в порядку поточної експлуатації;

- допуск до роботи;

- нагляд під час роботи;

оформлення перерви в роботі, переведення на інше місце, закінчення роботи.

### 5.3. Розрахунок захисного заземлення трансформаторної підстанції

Відповідно до Правил улаштування електроустановок максимально допустимий опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом[4][5]. Ґрунт у місці знаходження ТП - садова земля. За довідниковими даними питомий опір ґрунту:  $\rho = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . В якості вертикальних електродів використаємо стержні діаметром  $d = 0,04 \text{ м}$ , довжиною  $l = 2 \text{ м}$ , які вбиваються в землю. Відстань від кінців вертикальних електродів до землі складе 0,7 м. Горизонтальні електроди будуть зі сталевієї смуги розміром 40x4 мм.

Питомий опір ґрунту з врахуванням можливого його зростання протягом року визначається з формули:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho \cdot \Psi ,$$

Де - коефіцієнт сезонності (для горизонтальних заземлювачів -  $\psi_{\text{гориз}} = 1,4 \div 1,8$ , а для вертикальних заземлювачів -  $\psi_{\text{верт}} = 1,2 \div 1,4$ ).

$$\rho_{\text{розр.гориз}} = 40 * 1,8 = 72 \text{ Ом} * \text{ м},$$

$$\rho_{\text{розр.верт}} = 40 * 1,4 = 56 \text{ Ом} * \text{ м}.$$

Опір горизонтальних заземлювачів знаходиться з формули:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр.гориз}}}{2 * \pi * l} * \ln \frac{l^2}{h * t}$$

де  $l$  - довжина горизонтального заземлювача, яка відповідно до плану рівна периметру ТП, м.

$$l = (L + B) * 2,$$

де  $L$  - довжина ТП за планом, м,  $B$  - ширина ТП за планом, м.

Тоді:

$$l = (5 + 2,4) * 2 = 14,8 \text{ м}.$$

Опір горизонтального заземлювача становить:

$$R_{\Gamma} = \frac{72}{2 * 3.14 * 14.8} * \ln \frac{14,8^2}{0,04 * 0.7} = 6,94 \text{ Ом}.$$

Потрібний опір вертикальних заземлювачів знаходиться з формули:

$$R_B = \frac{R_\Gamma * R_H}{R_1 + H}$$

$$R_B = \frac{6,94 * 4}{6,94 + 4} = 2,540\text{м.}$$

Опір одиночного вертикального заземлювача знаходиться з формули:

$$R = \frac{\rho}{2 * \pi * l} \left( \ln \frac{2 * l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 * t + l}{4 * t - l} \right),$$

де  $l$  - довжина електрода, м;  $d$  - діаметр електрода, м;  $t$  - відстань від землі до середини електрода, м, тобто  $t = 1,7\text{ м}$ .

$$R = \frac{56}{2 * 3,14 * 2} \left( \ln \frac{2 * 2}{0,04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 * 1,7 + 2}{4 * 1,7 - 2} \right) = 21,880\text{м,}$$

Наближена кількість вертикальних електродів по периметру ТП знаходиться з формули:

$$n_{\text{в.наол}} = \frac{2 * (L + B)}{\alpha},$$

де - крок встановлення вертикальних електродів (приймаємо  $\alpha = 2\text{ м}$ ).

$$n_{\text{в.наол}} = \frac{2 * (5 + 2,4)}{2} = 7\text{шт,}$$

Кількість вертикальних електродів уточнюється за виразом:

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в0}}}{R_{\text{в}} * \eta_{\text{в}}},$$

де  $\eta_B$  - коефіцієнт використання вертикальних електродів ( $\eta_B = 0,58$ ).

$$n_B = \frac{21,88}{2,54 * 0,58} = 15 \text{шт},$$

Загальний опір штучного заземлювача складає:

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{\text{BO}} * R_{\Gamma}}{\eta_1 * R_B + \eta_B * n_B * R_1},$$

де  $\eta_{\Gamma}$  - коефіцієнт використання горизонтального заземлювача ( $\eta_{\Gamma} = 0,3$ );  $n_B$  - кількість вертикальних електродів.

$$R_{\text{шт}} = \frac{21,88 * 6,94}{0,3 * 2,54 + 0,58 * 15 * 6,94} = 2,480 \text{м} \leq R_H = 400 \text{м}.$$

Остаточно приймаємо 15 вертикальних електродів до встановлення.

#### 5.4. Пожежна безпека

[7] Які основні причини пожеж на виробництві і яку небезпеку вони становлять для працівників? Основними причинами пожеж на виробництві є: порушення технологічного регламенту (процесу); порушення протипожежних вимог при проведенні електрогазозварювальних та інших вогневих робіт; порушення правил зберігання, використання, виготовлення і транспортування речовин і матеріалів; порушення правил монтажу, пристрої та експлуатації електромереж і електрообладнання; конструктивні недоліки електрообладнання, теплогенеруючих агрегатів та пристроїв; порушення правил пристрою, монтажу та експлуатації теплогенеруючих агрегатів та пристроїв; необережне поводження з вогнем; куріння у невстановлених місцях.

В окремих випадках причиною пожеж можуть з'явитися дії сил природи: грозові розряди, сонячні промені та ін. Небезпечними факторами пожежі, що

впливають на людей, є: полум'я та іскри; підвищена температура навколишнього середовища; токсичні продукти горіння і термічного розкладання; дим; знижена концентрація кисню.

До вторинних проявів небезпечних факторів пожежі, що впливають на людей і матеріальні цінності, відносяться: уламки, частини зруйнованих апаратів, агрегатів, установок, конструкцій; радіоактивні та токсичні речовини і матеріали, що вийшли із зруйнованих апаратів та установок; електричний струм, що виник в результаті виносу високої напруги на струмопровідні частини конструкцій, апаратів, агрегатів; вогнегасні речовини; небезпечні фактори вибуху, що стався внаслідок пожежі: ударна хвиля, у фронті якій тиск перевищує допустиме значення; полум'я; обрушуються конструкції, обладнання, комунікації, будівлі і споруди та їх частини тіла; утворилися при вибуху і (або) виділилися з пошкодженого обладнання шкідливі речовини, вміст яких у повітрі робочої зони перевищує гранично допустимі концентрації. Які заходи повинні проводитися в організації для попередження пожеж?

Для попередження пожеж на підприємстві повинні проводитися наступні заходи: організаційні; експлуатаційні; технічні; режимні.

До організаційних заходів належать навчання працюючих пожежної безпеки, проведення інструктажів, лекцій, бесід, створення добровільних пожежних дружин, виготовлення і застосування засобів наочної агітації і пропаганди та ін. Експлуатаційні заходи передбачають правильну експлуатацію (огляди, ремонти, випробування) машин, обладнання, транспортних засобів, а також правильне утримання будівель і споруд. До технічних заходів належить дотримання протипожежних правил і норм при проектуванні будівель і споруд, пристрої опалення, освітлення, вентиляції, розміщенні устаткування і т. п. До заходів режимного характеру належить встановлення порядку безпечного виробництва зварювальних та інших вогневих робіт у пожежонебезпечних зонах, місць для куріння і т. п.

## ВИСНОВКИ

У дипломній кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження системи електропостачання ПрАТ «Оболонь», включно з аналізом її поточного стану, режимів енергоспоживання, технічних характеристик основного електрообладнання, а також розробленням і обґрунтуванням заходів щодо підвищення енергоефективності, надійності та безпеки експлуатації. У роботі розглянуто як технічні аспекти функціонування системи електропостачання, так і організаційні, економічні та екологічні чинники, що впливають на роботу підприємства в цілому.

Дослідження показало, що ПрАТ «Оболонь» є значним споживачем електричної енергії з добовим споживанням близько 2,7 МВт·год та орієнтовним річним споживанням на рівні  $10^6$  кВт·год. Структура електричних навантажень формується, в основному, за рахунок технологічного обладнання варильно-бродильного комплексу, ліній розливу та пакування, холодильних та компресорних установок, насосних агрегатів, а також систем загального та робочого освітлення. Аналіз добових графіків навантаження засвідчив наявність вираженого денного максимуму, пов'язаного з роботою основних виробничих дільниць, та знижених, але все ще значних навантажень у нічний час через безперервну роботу холодильно-компресорного обладнання.

Розглянута в роботі система електропостачання ПрАТ «Оболонь» побудована за класичною для промислових підприємств схемою: живлення від мережі 10 кВ на головну понижувальну підстанцію з двома силовими трансформаторами 10/0,4 кВ потужністю по 1000 кВА кожен, подальший розподіл електроенергії по головних і цехових розподільчих щитах 0,4 кВ, живлення основних груп споживачів через окремі фідери. Показано, що за наявних режимів роботи один трансформатор має достатню потужність для забезпечення навантаження підприємства, другий може використовуватися як резервний, що відповідає вимогам до надійності електропостачання виробничих об'єктів.

На основі групування електроприймачів підприємства за призначенням та режимом роботи виконано розрахунок активних і повних потужностей основних груп

навантаження. Визначено, що сумарна розрахункова активна потужність становить близько 630 кВт, що відповідає повній потужності приблизно 700 кВА при прийнятому коефіцієнті потужності. Розраховано розподіл навантажень по живильних лініях і струми в основних кабельних лініях та на шинах головного розподільчого щита, що дозволило виконати обґрунтований вибір перерізів кабелів, комутаційної апаратури та параметрів захисту.

Проведено аналіз втрат електроенергії в основних кабельних лініях та силовому трансформаторі. Показано, що втрати в мережі 0,4 кВ становлять помітну частку від загального споживання і тісно пов'язані зі значенням коефіцієнта потужності, який у вихідному режимі є заниженим (порядку 0,75–0,8). Це призводить до збільшення повної потужності, підвищених струмів, додаткового завантаження трансформаторів і кабельних ліній, а також зростання втрат активної електроенергії. На основі розрахунків підтверджено, що навіть при правильно підібраних перерізах кабелів частка втрат у магістральних лініях може досягати декількох відсотків від річного споживання підприємства.

Для зменшення втрат і покращення режимів роботи мережі 0,4 кВ обґрунтовано необхідність компенсації реактивної потужності. Розрахунки показали, що для підвищення коефіцієнта потужності на шинах головного розподільчого щита до рівня близько 0,95 доцільно встановити автоматизовану конденсаторну установку напругою 0,4 кВ сумарною потужністю близько 250 квар зі ступеневим регулюванням. Запропонована структура установки із ступенями по 25 та 50 квар забезпечує можливість автоматичного підтримання коефіцієнта потужності в заданих межах при змінних режимах роботи технологічного й допоміжного обладнання. Зменшення повної потужності за рахунок компенсації реактивної складової дозволяє знизити струми в кабелях і трансформаторі на 15–20 %, що, в свою чергу, призводить до скорочення втрат активної електроенергії.

На основі розрахунків втрат до та після впровадження компенсації реактивної потужності оцінено очікувану економію електроенергії. Показано, що за рахунок зменшення втрат у основних кабельних лініях і силовому трансформаторі річна

економія активної електроенергії може становити орієнтовно 10 МВт·год, що відповідає близько 1 % річного споживання підприємства. За прийнятого тарифу на електроенергію це дає орієнтовну економію коштів на рівні 80–90 тис. грн на рік, не враховуючи можливого додаткового економічного ефекту від зменшення оплати реактивної енергії.

Отримані результати розрахункової частини доповнено аналізом вимог охорони праці та охорони навколишнього середовища при експлуатації системи електропостачання ПрАТ «Оболонь». У роботі розглянуто нормативно-правову базу України в галузі охорони праці, вимоги до організації навчання, інструктажів, допуску до робіт в електроустановках, заходи з електробезпеки та пожежної безпеки. Виділено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з роботою електрообладнання, та визначено комплекс організаційних і технічних заходів, що забезпечують безпечні умови праці електротехнічного персоналу. Окремо проаналізовано екологічні аспекти функціонування системи електропостачання, включно з впливом електромагнітних полів, шуму, утворенням відходів електротехнічного призначення та зв'язком енергоефективності з рівнем викидів забруднюючих речовин.

Узагальнюючи результати виконаної роботи, можна зробити висновок, що поставлена мета – дослідження існуючого стану системи електропостачання ПрАТ «Оболонь», обґрунтування шляхів її модернізації з метою підвищення енергоефективності, надійності та безпеки, а також оцінка техніко-економічної та екологічної доцільності запропонованих рішень – досягнута. Розроблені розрахункові моделі, параметри системи компенсації реактивної потужності, рекомендації щодо вибору кабельних ліній, захисту та організації експлуатації можуть бути використані як основа для подальшої модернізації енергогосподарства ПрАТ «Оболонь» і впровадження аналогічних заходів на інших промислових підприємствах харчової та напоївної галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ від 14.10.1992 р.
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-ХІІ від 25.06.1991 р.
3. Закон України «Про управління відходами» № 2320-ІХ від 20.06.2022 р.
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
5. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98). Держнаглядохоронпраці України.
6. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05). Наказ Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15.
7. Правила пожежної безпеки в Україні. Наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417.
8. ДСН 3.3.6.037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Міністерство охорони здоров'я України.
9. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів». Міністерство охорони здоров'я України.
10. Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови. Наказ МОЗ України № 463 від 22.02.2019 р.
11. ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення». Мінрегіонбуд України.
12. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Мінрегіонбуд України.
13. ДСТУ EN 50160:2023 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення».
14. IEC 60034-30-1:2014 Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code).

15. IEC 60364-5-52:2009+AMD1:2024 Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems.
16. IEC 60502-1:2021 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages of 1 kV and 3 kV.
17. EBRD. Sub-sectoral Environmental and Social Guidelines: Breweries.
18. EBRD. Guidance note for Performance Requirement 3: Resource efficiency and pollution prevention and control.
19. EBRD GEFF. Brewery energy efficiency project (case study). Проєкт з підвищення енергоефективності пивоварні в рамках програми EBRD GEFF.
20. Engineering ToolBox. Three-phase Electrical Motors – Power Factor vs. Inductive Load.
21. Engineering ToolBox. Electrical Motors – Full Load Amps.
22. ElectricalEngineeringToolbox.com. The Basics of Power Factor in Electrical Distribution Systems.
23. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств: підручник для студентів електромеханічних спеціальностей. Харків: ФОП Панов А.М., 2016.
24. Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проєктування. Київ, 2013.
25. Лушкін В.А. Загальна характеристика та розрахунок режимів електропостачання промислових підприємств. Харків: ХНУМГ.
26. Харченко В.Ф. Електропостачання міст та промислових підприємств: конспект лекцій. ХНУМГ.
27. Акімов О.І., Сушко Д.Л. Електричні мережі та системи: навчальний посібник.
28. Котиш А.І. Основи електроенергетики: навчальний посібник. Центральноукраїнський національний технічний університет.

29. Коваленко О.І. та ін. Електропостачання сільського господарства: навчальний посібник.
30. Павловський Р.Р. «Електроенергетика» / Енциклопедія Сучасної України. Електронний ресурс Інституту енциклопедичних досліджень НАН України.
31. Внуков Ю.М. «Електротехніка та електроенергетика» / Енциклопедія Сучасної України.
32. Шушківський А.І. «Обробна промисловість» / Енциклопедія Сучасної України.
33. Статті Енциклопедії Сучасної України, присвячені пивоварній промисловості та броварству.
34. The Brewers of Europe. European Beer Trends – Statistics Report 2022 Edition.
35. The Brewers of Europe. European Beer Trends – Statistics Report 2025 Edition.
36. Obolon Corporation. Звіт зі сталого розвитку корпорації «Оболонь» за 2012–2013 рр.
37. Соціальний звіт компанії «Оболонь». Сталий розвиток у 2009 році.
38. Офіційний сайт ПрАТ «Оболонь».
39. Статті й аналітичні матеріали щодо енергетичної та екологічної політики ПрАТ «Оболонь» у фахових виданнях.
40. EBRD/GEFF кейси та матеріали з енергоефективності харчової та напоївої промисловості в країнах Східної Європи.
41. НКРЕКП. Кодекс систем розподілу (Постанова №310 від 14.03.2018).
42. НКРЕКП. Правила роздрібного ринку електричної енергії (Постанова №312 від 14.03.2018).
43. Міненерговугілля України. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електричної енергії (Наказ №87 від 06.02.2018).
44. НКРЕКП. Якість електричної енергії (інфосторінка/роз'яснення)

45. НКРЕКП. Європейська напруга і нові стандарти: що зміниться у Кодексі систем розподілу.
46. ДП «УкрНДНЦ». Наказ №330 від 04.12.2023.
47. ISO. ISO 50001 — Energy management.
48. IEC. IEC 61000-4-30 (Power quality measurement methods).
49. IEC. IEC 61000-3-2 (Limits for harmonic current emissions).
50. IEC. IEC 61000-3-12 (Limits for harmonic currents for equipment >16A and ≤75A).
51. ABB. Power factor correction and harmonic filtering in electrical plants (Technical Application Paper).
52. Schneider Electric. Power Factor Correction.
53. IFC (World Bank Group). Environmental, Health, and Safety Guidelines for Breweries.
54. World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Food and Beverage Processing.
55. European Commission (JRC). BAT Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries (FDM BREF, 2019).
56. European Commission (JRC). Food, Drink and Milk Industries.
57. ПрАТ «Оболонь». Новина/матеріал про ресурсо- та енергоефективні заходи
58. Звіт сталого розвитку корпорації «Оболонь»: “Технології”.
59. Закон України “Про енергетичну ефективність” №1818-IX від 21.10.2021.
60. Закон України “Про оцінку впливу на довкілля” №2059-VIII від 23.05.2017.
61. Водний кодекс України №213/95-ВР від 06.06.1995.
62. ISO. ISO 14001 — Environmental management systems.
63. IEC. IEC 61439-1 LV switchgear and controlgear assemblies — General rules.
64. IEC. IEC 61439-2 (LV switchgear and controlgear assemblies — Power switchgear and controlgear assemblies).

- 65. IEC. IEC 60947-2 Low-voltage switchgear — Circuit-breakers**
- 66. IEC. IEC 60831-1 Shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems  $\leq 1000$  V.**
- 67. IEC. IEC 60076-1 (Power transformers — General).**