

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук, професор
_____ Петро ПЛІШКОВ
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Проект системи електрозабезпечення
кондитерського цеху з глазурування продукції»**

**«Project of a power supply system for a
confectionery shop for glazing products»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу групи ЕЕ-23МБ
ОПП 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Іван КОВАЛЕНКО
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
асистент
_____ Оксана СПІВАК
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Коваленко Івана Романовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Проект системи електрозабезпечення кондитерського цеху з глазурування продукції. Project of a power supply system for a confectionery shop for glazing products.
2. Керівник роботи Снівак Оксана Володимирівна, асистент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання студентом роботи до захисту _____
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розроблення системи енергопостачання кондитерського цеху глазурування виробів. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання:
 1. Провести розрахунок електричних навантажень.
 2. Побудувати графіки електричних навантажень.
 3. Провести техніко-економічне обґрунтування схем внутрішнього електропостачання кондитерського цеху глазурування виробів.
 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання цеху.
 5. Обрати кількість, потужності та місце розташування КУ.
 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір обладнання.
 9. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>канд. техн. наук, доц. Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>8.05.2026</i>	
<i>2</i>	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>11.05.2026</i>	
<i>3</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем внутрішнього електропостачання цеху</i>	<i>13.05.2026</i>	
<i>4</i>	<i>Розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання цеху</i>	<i>14.05.2026</i>	
<i>5</i>	<i>Обрати кількість, потужності та місце розташування КУ</i>	<i>15.05.2026</i>	
<i>6</i>	<i>Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір обладнання</i>	<i>17.05.2026</i>	
<i>7</i>	<i>Провести розрахунок спеціального розділу роботи.</i>	<i>19.05.2026</i>	
<i>8</i>	<i>Навести варіанти існуючих систем штучного освітлення для специфічних умов використання</i>	<i>20.05.2026</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.05.2026</i>	
<i>10</i>	<i>Оформлення презентаційної частини кваліфікаційної роботи</i>	<i>25.05.2026</i>	
<i>11</i>	<i>Підготовка роботи до захисту</i>	<i>31.05.2026</i>	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2026 р.

Оксана СПІВАК

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2026 р.

Ігор КОВАЛЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 92 с.; 17 рис.; 20 табл.; 8 джерел

Коваленко І.Р. Проєкт системи електрозабезпечення кондитерського цеху з глазурування продукції. – Рукопис.

Бакалаврська робота І (бакалаврського) рівня освіти, ОПП 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці системи електропостачання кондитерського цеху з глазурування продукції. У кваліфікаційній роботі розроблено проєкт електропостачання ділянки глазурування кондитерських виробів. Робота містить результати розрахунків електричних параметрів мережі та обґрунтування конфігурації системи внутрішнього електророзподілу. Вибрано енергоефективне обладнання підстанцій та засоби компенсації реактивної потужності.

Спеціальний розділ кваліфікаційної роботи освітлює питання електрозбереження кондитерського цеху з глазурування продукції. Проєктне рішення доповнене аналізом енергоощадних заходів у системі промислового освітлення. Визначено шляхи енергозбереження, що забезпечують зниження операційних витрат підприємства через оптимізацію роботи світлотехнічного обладнання.

Ключові слова: кондитерський цех, електричне обладнання, трансформаторна підстанція, освітлювальна система, глазурування продукції, штучне освітлення, люмінесцентні лампи

						4

ABSTRACT

Qualification work: 92 p.; 17 Fig.; 20 tables; 8 sources

Kovalenko Ivan. Project of a power supply system for a confectionery shop for glazing products. – Manuscript.

Bachelor's thesis of the first (bachelor) level of higher education, OPP 141 "Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The qualification work is devoted to the development of a power supply system for a confectionery shop specialized in products glazing. This thesis presents the design of a power supply system for a confectionery glazing unit. The work includes results of electrical network parameter calculations and the substation of the internal power distribution system configuration. Energy-efficient substation equipment and reactive power compensation devices have been selected.

A special section of the qualification work highlights the issue of energy saving in the confectionery glazing shop. The design solution is supplemented by an analysis of energy-saving measures in the industrial lighting system. Energy conservation pathways have been identified, ensuring a reduction in the enterprise's operational costs through the optimization of lighting equipment performance.

Key words: confectionery shop, electrical equipment, transformer substation, lighting system, product glazing, artificial lighting, fluorescent lamps

						5

З М І С Т

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. Розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів	10
1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі до 1кВ	14
1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	15
1.3. Розрахунок електронавантажень в силових мережах вище 1кВ	17
1.4. Побудова графіків електричних навантажень кондитерського цеху з глазурування продукції	18
2. Вибір напруги та електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства	28
2.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання	28
2.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху	30
2.3. Розрахунок освітлювальної мережі цеху	34
3. Режими реактивної потужності системи електропостачання	40
3.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибіркокомпенсуючих пристроїв	40
3.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	40
4. Вибір потужності та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій (ТП)	46
5. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір обладнання ВН і НН	50
5.1. Розрахунок струмів КЗ	50
5.2. Вибір автоматів цехової мережі	54
5.3. Вибір трансформаторів струму та напруги	58
5.4. Вибір системи комплексного обліку електроенергії АСКОВЕ	61
6. Спеціальний розділ. Електрозбереження та заходи підвищення енергоефективності кондитерського цеху з глазурування продукції	67
6.1. Аналіз та підбір джерел штучного освітлення для цеху з глазурування продукції	67
6.2. Можливості підвищення енергоефективності освітлювальних систем кондитерському цеху з глазурування продукції	83
7. ВИСНОВКИ	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	92

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект системи електрозабезпечення кондитерського цеху з глазурування продукції	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Коваленко І						
Перевірив		Співак О.					6	92
Н.контр.		Співак О.				ЦНТУ, гр.ЕЕ-23мб		
Затв.		Плещков П.						

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

В – вимикач

ВП – власні потреби

ДСТУ – державний стандарт України

ДЦ – оливне охолодження з примусовою циркуляцією оливи і дуттям

ДЕ – джерело енергії

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

Р – роз'єднувач

РЗіА – релейний захист і автоматика

ПРА – пуско-регулююча апаратура

КБ – конденсаторна батарея

КЗ – коротке замикання

КРП – комплектний розподільний пристрій

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЛЕП – лінія електропередачі

ЛЛ – люмінесцентна лампа

КЛЛ – компактна люмінесцентна лампа

СВ – секційний вимикач

СД – синхронний двигун

К – синхронний компенсатор

СН – обмотка середньої напруги

СР – секційний роз'єднувач

Т – трансформатор

ТП – трансформаторна підстанція

ТЕП – техніко-економічні показники

ТЕС – теплова електрична станція

ТЕЦ – теплова електроцентраль

ТС – трансформатор струму

						7

ВСТУП

Під терміном «система електропостачання» (СЕП) у сучасній енергетиці прийнято розглядати сукупність взаємопов'язаних технічних засобів, призначених для генерування, трансформації, транспортування та раціонального розподілу електричної потужності. Головним завданням проектування СЕП на промислових об'єктах є забезпечення високого рівня надійності та економічної ефективності при живленні технологічного обладнання.

Спектр споживачів енергії на сучасних заводах відзначається значною різноманітністю фізичних процесів. До основних груп приймачів електричної енергії (ПЕЕ) належать:

- електротермічні установки (індукційні та дугові печі), що потребують стабільної напруги та значних струмів.
- електромеханічні перетворювачі різної потужності, які забезпечують рух верстатів, конвеєрів та вантажопідіймальних механізмів.
- зварювальні агрегати, функціонування яких супроводжується різкозмінними навантаженнями на мережу.
- інженерна інфраструктура: кліматичні системи, примусова вентиляція та інтелектуальні освітлювальні мережі.
- високоточна цифрова техніка, автоматизовані системи керування (АСУ ТП) та сервери, що критично залежать від якості енергії.

Історично базовим методом живлення об'єктів господарювання була орієнтація на централізовану об'єднану енергетичну систему (ОЕС). Проте трансформація глобального енергетичного ринку та новітні виклики безпекового характеру вимагають перегляду цієї парадигми. Сьогодні інженери все частіше розглядають концепцію автономних енерговузлів. Повномасштабна війна в Україні внесла критичні корективи в експлуатацію промислових систем. Систематичні обстріли об'єктів критичної інфраструктури призвели до суттєвого дефіциту генеруючої потужності та порушення цілісності передавальних мереж. За таких умов енергосистема втратила свою звичну гнучкість, що змусило

						8

оператора системи передачі (НЕК «Укренерго») та операторів систем розподілу (обленерго) впроваджувати жорсткі інструменти балансування.

Актуальність будівництва власних теплоелектроцентралей (ТЕЦ) або когенераційних установок зумовлена необхідністю забезпечення безперебійності критичних процесів. Окрім того, стратегія сталого розвитку диктує впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Інтеграція сонячної генерації та вітроенергетичних модулів у структуру підприємства дозволяє не лише знизити вуглецевий слід, але й диверсифікувати ризики. Постійне вдосконалення напівпровідникових технологій та матеріалознавства сприяє підвищенню ККД таких установок, роблячи їх конкурентоспроможними порівняно з викопним паливом. Сучасний стан енергетики України характеризується критичними пошкодженнями об'єктів магістральної передачі та генерації через акти військової агресії. Втрата базових потужностей (ТЕС, ГЕС) неминуче призводить до дефіциту в ОЕС, що спричиняє стрімке зростання тарифів для промислового сектору. Висока вартість енергії стає вагомим чинником у собівартості продукції, що знижує рентабельність бізнесу. У цьому контексті впровадження фотоелектричних панелей та вітрогенераторів виглядає найбільш раціональним рішенням. Попри значні початкові інвестиції, такі системи характеризуються мінімальними експлуатаційними витратами. Відсутність потреби у паливі забезпечує стабільну вартість кіловат-години протягом десятиліть. Для представників малого та середнього підприємництва це єдиний шлях до фінансової прогнозованості та незалежності від коливань на оптовому ринку.

Технічна топологія сучасних промислових мереж стає багаторівневою та гібридною, охоплює лінії високої напруги, внутрішньозаводські розподільчі пристрої та локальні низьковольтні вузли.

Аналіз зазначених проблем та розробка технічних рекомендацій щодо вдосконалення схем електропостачання конкретного об'єкта є ключовим завданням даного кваліфікаційного дослідження. Розроблені заходи дозволять не лише стабілізувати роботу виробництва, а й значно скоротити термін окупності енергетичного обладнання.

						9

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

У межах даного дослідження розглядається проект електрозабезпечення дільниці глазурування харчової продукції. Кондитерський сектор займає стратегічне місце в структурі харчової промисловості, фокусуючись на виготовленні високопоживних товарів із високим ступенем засвоюваності. Протягом останніх п'яти-шести років спостерігається стійка тенденція до нарощування обсягів випуску продукції преміум-сегмента. Зокрема, зростає попит на шоколадні вироби, цукерки зі складними начинками, глазуrowані горіхи та сухофрукти, а також ексклюзивні сувенірні набори.

Функціонування такого переробного вузла сприятиме насиченню регіонального ринку якісними продуктами харчування та зміцненню конкурентних позицій місцевого виробника. З точки зору електроенергетики, це вимагає впровадження надійних систем автоматизації та безперебійного живлення для дотримання суворих температурних режимів.



Рисунок 1.1 – Схема (лінія) виробництва глазуrowаних виробів

Виробничі потужності цеху зосереджені в приміській зоні, що забезпечує оптимальний баланс логістичних витрат. Живлення електроприймачів здійснюється від міської трансформаторної підстанції (ТП) через кабельну лінію (КЛ) довжиною 600 метрів. Обрана локація має наступні переваги: мінімальна відстань до пунктів реалізації готового товару; наявність площ для потенційної розбудови цехів та складів; зручні під'їзні шляхи для великогабаритного транспорту з сировиною, зручна транспортна логістика.

Водночас існують певні технічні обмеження. По-перше, поточна пропускна здатність мережі обмежує можливість оперативного нарощування електричного навантаження без модернізації ТП. По-друге, відсутність доступу до централізованих газових та теплових мереж зумовила перехід на автономні джерела енергії. Теплова енергія для потреб виробництва генерується сучасним піролізним котлом, що працює на твердому паливі, що є раціональним кроком у контексті диверсифікації енергоносіїв.

Технологічна схема та склад силового обладнання

Процес нанесення глазури на вироби організовано за допомогою автоматизованого комплексу, що складається з кількох послідовних модулів. Загальна конфігурація лінії (Рис. 1.1) передбачає виконання операцій у чітко визначеній технологічній послідовності. Для інженера-електрика важливо враховувати пускові струми та режими роботи кожного агрегату.

Основними функціональними вузлами лінії є:

1. Темперувальна установка Imprex ТМА-80: забезпечує підготовку глазури, підтримуючи задану в'язкість та температуру маси.
2. Глазурувальний агрегат Imprex ЕМ-300: виконує безпосереднє покриття кондитерських напівфабрикатів шаром шоколаду або іншої суміші.
3. Охолоджувальний тунель Imprex СТ-400.4: критично важливий елемент, де відбувається кристалізація покриття при стабільно низькій температурі.
4. Декоратор: пристрій для фінішного оздоблення поверхні продукції.

Компактність обладнання (загальна протяжність лінії становить близько 6 метрів) дозволяє інтегрувати її як у великі заводи, так і в приватні майстерні. Гнучкість модульної архітектури дає змогу нарощувати продуктивність шляхом приєднання додаткових охолоджувальних секцій, що вимагатиме перерахунку електричних навантажень та перевірки захисної апаратури у розподільчій шафі.

Ключовим елементом технологічного ланцюга є охолоджувальний тунель, функціональне призначення якого полягає у форсованому зниженні температури глазури або шоколадної маси на поверхні виробів безпосередньо після їх обробки. Конструкція установки розрахована на інтенсивну експлуатацію в режимі 24/7. Важливою інженерною перевагою є відсутність необхідності в технологічних зупинках для дефрастації (розморожування) випарних агрегатів, що забезпечує стабільність потокового виробництва.

Вихід установки на номінальний тепловий режим здійснюється протягом короткого інтервалу часу, що не перевищує 4–5 хвилин. В якості робочого тіла (холодоагенту) у контурі охолодження застосовується фреон марки R-22. Використання цієї речовини дозволяє підтримувати в робочій зоні низький рівень відносної вологості. Таке технічне рішення є критичним для забезпечення ідеальних умов кристалізації жирів, що запобігає появі дефектів (наприклад, жирового «посивіння» шоколаду) та гарантує глянцекий блиск готової продукції.

Для безпосереднього нанесення кондитерського покриття використовується глазурувальна машина, що інтегрована в єдину автоматизовану лінію. Вона оснащена транспортною стрічкою робочою шириною 800 мм, що дозволяє обробляти значні обсяги продукції за один прохід.

Процес стабілізації покриття відбувається в охолоджувальному модулі, що має наступні геометричні та експлуатаційні характеристики: габаритна довжина: 6,5 метрів, що забезпечує необхідний час експозиції виробів у зоні низьких температур; ширина конвеєрного полотна: 0,8 метра, що повністю синхронізується з виходом глазурувальної установки; метод теплообміну: примусова циркуляція підготовленого холодного повітря (конвективний обдув), що рівномірно розподіляється по всьому внутрішньому об'єму тунелю.

						12

Обслуговування установки спрощено завдяки модульній конструкції: верхні секції кожуха є знімними, що забезпечує вільний доступ до внутрішніх поверхонь для проведення санітарної обробки та технічного огляду. Висока адаптивність даного обладнання дозволяє підприємству оперативно нарощувати виробничі потужності або проводити реконфігурацію лінії при зміні рецептури чи асортиментної матриці товарів. Наразі на підприємстві функціонує такі лінії 4, двозмінний режим. Перелік обладнання в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Потужність електроприймачів кондитерського цеху глазурування виробів

Найменування	P _н , кВт		
	min		max
Тістозмішувальний агрегат	3	-	3
Пристрій перекидання діж	1,85	-	2
Порціонуюча установка для тіста	1,12	-	1
Обладнання для формування тістових заготовок	2,9	-	3
Теплова камера остаточної розстойки	6,8	-	7
Пекільний агрегат ротаційного типу	40	-	40
Вібросито	1,8	-	2
Конвеєрна камера тунельного охолодження	3	-	3
Термостабільна робоча поверхня	1,9	-	2
Електробойлер накопичувального типу	1,1	-	1
Установка для нанесення кондитерського покриття	2,85	-	3
Темперувальна машина серії ТМА-80	3	-	3
Агрегат холодильної станції	5	-	5
Побутовий СВЧ-випромінювач	1	-	2
Електротермічний нагрівач води	1	-	2
Персональна обчислювальна машина	1	-	2
Принтер	0,6	-	1
Установки примусової припливно-витяжної вентиляції	2	-	2
Насосне обладнання технологічного циклу	1	-	2
Компресорна станція стисненого повітря	1	-	2
Насоси	1		2
Локальний осьовий вентилятор	1	-	2
Ваги	0,5	-	1
Система спліт-кондиціонування повітря	2	-	2
Транспортер	2	-	2

Одним із найбільш відповідальних етапів проектування енергетичної інфраструктури кондитерського підприємства є ідентифікація розрахункового електричного навантаження. Даний показник є базовим для подальшого вибору перерізу провідників, потужності трансформаторного агрегату, а також параметрів комутаційної та захисної апаратури. Розрахункове навантаження об'єкта є комплексною величиною, що інтегрує в собі потужність силового технологічного парку, систем штучного освітлення та допоміжних інженерних вузлів.

Отже, проведено комплексний аналіз об'єкта проектування – кондитерського цеху з лінією глазурування виробів на основі вивчення технологічного процесу та особливостей розташування підприємства. Зазначу, виробництво характеризується наявністю широкого спектра електроприймачів – від потужних термічних установок (ротаційні печі, темперувальні машини) до прецизійних систем охолодження та автоматизації. Це вимагає проектування гнучкої та надійної системи розподілу енергії. Враховуючи сучасні виклики в енергосистемі України та ризики, пов'язані з графіками обмежень потужності, обґрунтовано необхідність використання автономних джерел (піролізний котел) та потенційну інтеграцію систем безперебійного живлення для критичних вузлів лінії.

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі до 1кВ

Розрахунок силової складової електричних навантажень в мережі до 1кВ виконуємо за допомогою *Excel* і представимо у вигляді таблиці 1.2. Розрахунок ведеться за методикою, яку представлено нижче для СП-2.

$$n_{\text{ел}}=11; P_{\text{н.мах}}=75 \text{ кВт}; P_{\text{н.мін}}=1 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{сум}}=107,1 \text{ кВт}; K_i=0,78; \cos \varphi=0,83; \tg \varphi=0,676$$

$$P_{\text{см}}=0,78 \cdot 107,1=82,2 \text{ кВт} \quad Q_{\text{см}}=82,2 \cdot 0,83=30,1 \text{ кВар}$$

$$\text{Знаходимо } n_{\text{еф}}=2 \cdot 107,1/75=5 \text{ і відповідний коефіцієнт максимуму } k_M=1,18$$

$$P_{\text{розр}}=82,2 \cdot 1,18=97 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{розр}}=35,6 \text{ кВар}$$

						14

Таблиця 1.2 – Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1кВ кондитерського цеху з глазурування продукції

Електроприлад кондитерського цеху глазурування виробів	Їх кільк ість	Рн одного			Рн Σ	m	K _i	cosφ	tgφ	Середнє		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max							P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА
СП 1																
Тістозмішувальний агрегат	1	3	-	3	3		0,7	0,75	0,89	2,1	1,85	1				
Пристрій перекидання діж	2	1,82	-	2	3,8		0,3	0,8	0,77	1,14	0,856	1				
Порціонуюча установка для тіста	2	1,14	-	1	2,2		0,6	0,7	1,03	1,32	1,37	1				
Обладнання для формування тістових заготовок	2	2,81	-	3	5,7		0,6	0,75	0,89	3,42	3,00	1				
Теплова камера остаточної розстойки	2	6,73	-	7	13,6		0,8	0,97	0,27	10,9	2,72	2				
Пекільний агрегат ротаційного типу	2	40	-	40	80		0,8	0,95	0,35	6,8	21, 2	2				
Всього по СП 1	11	1,1	-	75	108,3	>3	0,77	0,82	0,67	82,86	30,9	8	1,2	98,64	36,82	105,25
СП 2																
Вібросито	1	1,86	-	2	1,8		0,8	0,8	0,75	1,44	1,08	1				
Пристрій перекидання діж	2	1,91	-	2	3,8		0,3	0,8	0,78	1,14	0,86	2				
Вібросито	2	1,1	-	1	2,2		0,6	0,7	1,03	1,32	1,35	2				
Обладнання для формування тістових заготовок	2	2,94	-	3	5,7		0,6	0,76	0,87	3,42	3,01	2				
Теплова камера остаточної розстойки	2	6,88	-	7	13,6		0,8	0,94	0,33	10,78	2,72	2				
Пекільний агрегат ротаційного типу	2	40	-	40	80		0,8	0,96	0,38	64	21,12	2				
Всього по СП 2	11	1,1	-	75	107,1	>3	0,78	0,83	0,679	82,2	30,1	5	1,18	97,03	35,62	103,34
СП 3																

Продовження табл. 1.2

Конвеєрна камера тунельного охолодження	2	3,0	-	3	6		0,7	0,75	0,87	4,2	3,70	1				
Термостабільна роб. пов-ня	2	1,91	-	2	3,8		0,3	0,78	0,73	1,14	0,86	2				
Електробойлер накопичувального типу	2	1,13	-	1	2,2		0,6	0,7	1,052	1,32	1,35	2				
Установка для нанесення кондитерського покриття	2	2,81	-	3	5,7		0,6	0,75	0,79	3,42	3,016	2				
Темперувальна машина серії ТМА-80	2	3,0	-	3	6		0,8	0,98	0,24	10,9	2,73	2				
Пекільний агрегат ротаційного типу	2	40	-	40	80		0,8	0,96	0,38	120	39,442	2				
Всього по СП 3	12	1,13	-	40	103,7	>3	0,77	0,82	0,69	140,9	51,1	5	1,19	167,72	60,84	178,41
СП 4																
Конвеєрна камера тунельного охолодження	2	6	-	7	13,2		0,7	0,75	0,89	9,24	8,13	1				
Термостабільна робоча поверхня	2	1,91	-	2	3,8		0,3	0,8	0,78	1,15	0,86	2				
Електронагрівач води	2	1,13	-	1	2,2		0,6	0,7	1,07	1,32	1,35	2				
Установка для нанесення кондитерського покриття	2	2,83	-	3	5,7		0,6	0,75	0,85	3,42	3,01	2				
Темперувальна машина серії ТМА-80	2	6,81	-	7	13,6		0,8	0,97	0,29	10,88	2,72	2				
Пекільний агрегат ротаційного типу	2	40	-	40	80		0,8	0,95	0,31	64,04	21,12	2				
Всього по СП 4	12	1,13	-	40	118,5	>3	0,77	0,82	0,64	90	37,18	5	1,19	107,13	44,25	115,83
СП 5 Конд-ка ділянка																
Кремозбивач	1	7	-	7	6,6		0,7	0,75	0,84	4,62	4,07	1				
Термостабільна робоча поверхня	2	1,91	-	2	3,8		0,3	0,8	0,73	1,14	0,86	2				
Гідравлічні помпові агрегати	2	1,1	-	1,2	2,2		0,6	0,7	1,06	1,32	1,35	2				
Установка для нанесення кондитерського покриття	2	2,82	-	3	5,7		0,6	0,75	0,89	3,43	3,04	2				
Темперувальна машина серії ТМА-80	2	6,81	-	7	13,6		0,8	0,97	0,25	10,86	2,74	2				
Холодильник	2	5,2	-	5,2	10		0,8	0,95	0,37	8	2,64	2				
Всього по СП 5	11	1,12	-	40	41,9	>3	0,77	0,82	0,67	29,4	14,66	5	1,19	35,11	17,45	39,14

Продовження табл. 1.2

Адмін. приміщення																	
СП6																	
Побутовий СВЧ-випромінювач	1	1	-	2	1,5		0,2	0,97	0,86	0,3	0,26	1					
Електротермічний нагрівач води	1	1	-	2	2		0,2	0,6	0,36	0,4	0,13	2					
Персональна обчислювальна машина	3	1	-	2	6		0,7	0,76	0,37	4,2	1,39	3					
Периферійний пристрій друку	3	0,61	-	1	3		0,7	0,78	0,27	2,1	0,53	4					
Холодильник	1	2	-	2	2		0,8	0,75	0,24	1,6	0,40	5					
Локальний осьовий вентилятор	2	2	-	2	4		0,8	0,89	0,73	3,2	2,40	6					
Всього по СП6	11	1	-	2	18,5	>3	3,4	0,78	0,51	11,80	5,13	7	1,1	13,12	5,61	14,24	
СП7																	
Насосне обладнання технологічного циклу	3	1	-	2	6		0,7	0,6	0,34	4,2	1,39	1					
Компресорна станція стисненого повітря	3	1	-	2	6		0,44	0,75	0,34	2,64	0,87	2					
Гідравлічні помпові агрегати	3	1		2	6		0,3	0,75	0,26	1,8	0,45	3					
Всього по СП7	9	1	-	2	18	>3	0,48	0,7	0,30	8,64	2,72	6	1	8,63	2,71	9,65	
Склад готової продукції																	
Установки примусової припливно-витяжної вентиляції	2	1	-	2	3		0,6	0,97	0,26	1,8	0,45	1					
Тензометричний ваговий комплекс	2	0,51	-	1	1		0,25	0,75	0,84	0,25	0,22	1					
Система спліт-кондиціювання повітря	2	2	-	2	4		0,35	0,8	0,77	1,4	1,05	1					
Електропривод стрічкового конвеєра	2	2	-	2	4		0,45	0,6	1,34	1,8	2,40	1					
Бойлери	3	2	-	2	6		0,5	0,6	1,34	3	4,00	1					
Всього по складу	11	0,51	-	2	18	>3	2,17	3,74	4,55	8,25	8,16	5	1	8,34	8,46	11,52	
Всього по цеху	88	0,5	-	75	534	>3	1,18			454,09	179,87			535, 7	211,52	575,6	

Результати розрахунку за іншими ділянками зводимо до таблиця 1.2. Сумарне активне навантаження дорівнює 535,27 кВт, а реактивне – 211,22 кВар, розрахункове повне навантаження кондитерського цеху 575, 44 кВА.

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Фундаментальною метою проектування освітлювальної мережі є встановлення оптимальної кількості та одиничної потужності випромінювачів для створення комфортного зорового середовища. Процес вибору світлових приладів базується на сукупності нормативних світлотехнічних параметрів, специфіки приміщення, а також на аналізі енергоефективності та естетичної відповідності інтер'єру. У виробничих зонах кондитерського цеху доцільно використовувати лінійні системи освітлення. Хоча традиційно застосовувалися люмінесцентні джерела світла, сучасні вимоги до енергозбереження та якості перенесення кольорів диктують використання світлодіодних аналогів (LED), які монтуються в безперервні або переривчасті лінії. Це забезпечує високу рівномірність світлового потоку та спрощує обслуговування мережі. Для визначення параметрів штучного освітлення в основному робочому залі застосовано метод коефіцієнта використання. Цей алгоритм є найбільш релевантним для загального рівномірного освітлення горизонтальних робочих площин за умови відсутності значних затінювальних конструкцій чи великогабаритного обладнання, що перекриває траєкторію променів.

Об'єктом розрахунку виступає ділянка кондитерського виробництва з наступними геометричними характеристиками:

- Загальна площа об'єкта (S): 1575 м²;
- Ширина приміщення (B): 45 м;
- Довжина приміщення (L): 35 м;
- Повна висота будівлі (H): 3 м.

Для проведення математичних розрахунків встановлюються наступні розрахункові параметри, згідно з галузевими нормами:

						18

1. Нормована освітленість (E): Для робіт середньої точності, характерних для харчових цехів, прийнято значення 300 лк.

2. Коефіцієнт нерівномірності (Z): Відношення середнього значення освітленості до мінімально допустимого. Для обраного типу світильників встановлено $z = 1,1$.

3. Коефіцієнт запасу (K): Враховує поступове зниження світлової віддачі ламп та забруднення світильників у процесі експлуатації. Враховуючи специфіку кондитерського пилу, прийнято $K = 1,5$.

4. Відбивні властивості поверхонь: Оскільки стіни та стеля цеху мають світле оздоблення для дотримання санітарних норм, коефіцієнти відбиття становлять $\rho_{\text{стіни}} = 40\%$ та $\rho_{\text{стелі}} = 60\%$ відповідно.

5. Геометрія підвісу: Враховуючи необхідність вільного переміщення персоналу та габарити обладнання, розрахункова висота розміщення світильників над робочою площиною прийнята рівною 2,9 м.

Наступним кроком є обчислення індексу приміщення (i) та безпосереднє визначення необхідного світлового потоку F за формулою:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

де:

n – прогнозована кількість світильників;

η – коефіцієнт використання світлового потоку (визначається за таблицями залежно від індексу приміщення та коефіцієнтів відбиття).

так:

$$I = \frac{1575}{2,9 \cdot (45 + 35)} = 6,8$$

Знаючи індекс приміщення I , $\rho_n = 0,7$; $\rho_{\text{ст}} = 0,5$; $\rho_p = 0,1$ знаходимо $\eta = 0,53$.

Визначаємо світловий потік $F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1575 \cdot 1,1}{0,53} = 3543,75$

Для освітлення використовуємо люмінесцентні лампи типу ЛД 80, світловий потік котрих $F=5200$ Лм. Аналогічно робимо розрахунок по інших адмінприміщеннях і результати зводимо до таблиці 1.3.

1.3 Розрахунок електронавантажень в силових мережах вище 1кВ

Детальні результати обчислення параметрів споживання енергії для мереж з напругою понад 1000 В на рівні проектованої підстанції систематизовано та представлено у табл. 1.4. На основі проведених розрахунків встановлено, що інтегральне активне навантаження всього технологічного комплексу кондитерського цеху з глазурування продукції становить 704,47 кВт, а реактивне – 321,83 кВар, сумарне – 774,54 кВА. Враховуючи категорійність споживачів цеху та необхідність забезпечення надійності електропостачання в аварійних режимах, до встановлення на підстанції прийнято два ідентичні силові трансформатори. Обрано агрегати типу 2×ТМ-630-10/0,4.

Для прикладу наведено розрахунок втрат в трансформаторі ТП № 1:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2),$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right)$$

$$\Delta P = 2 \cdot (1.42 + 7.6 \cdot 0.6^2) = 8.03 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = 2 \cdot \left(\frac{1.8}{100} \cdot 630 + \frac{5.5}{100} \cdot 630 \cdot 0.6^2 \right) = 47.68 \text{ кВар}$$

Трансформатори типу ТМ (трифазні масляні) характеризуються високою стійкістю до перепадів напруги та стабільністю роботи в умовах промислового пилу, що є актуальним для харчових підприємств. Агрегати оснащені розширювальним баком та термосифонним фільтром для очищення масла, що суттєво подовжує термін їхньої безвідмовної служби без необхідності частого капітального ремонту.

Таблиця 1.3 – Розрахунок освітлення кондитерського цеху з глазурування продукції

Приміщення	Габаритні розміри, м		h=H-hp-hc	ρп	ρст	ρр	Ен, ЛК	Кзап	інд екс	η,%	Φ,лм	тип обраного світильника	Φном	N, шт	Р _о , Вт	Р _{роз} , Вт	Q _{роз} , Вар
														Вт			
ділянка цеху	44	34	4,5-1,5-0=3	0,7	0,5	0,1	300	1,5	4,4	0,73	1067979,46	ПВЛМ 1*80 з ламп. ЛД80	5200	205	80	16430, 5	8215
допоміжні приміщення																	
Складське приміщення	4	6	4,5-1,5-0=3	0,3	0,1	0,1	75	1,3	0,8	0,73	4240,5	ПВЛМ 1*40 з ламп. ЛД 40	2300	2,00	40	80,00	28,0
фарчоблок	3,5	4,5	4,5-1,5-0=3	0,3	0,1	0,1	75	1,3	0,5	0,73	1324,3	ПВЛМ 1*40 з ламп. ЛД 40	2300	1,00	40	40,00	14,0
Туалет	2,8	3	4,5-1,5-0=3	0,3	0,1	0,1	75	1,3	0,5	0,73	1324,8	ПВЛМ 1*40 з ламп. ЛД 40	2300	1,00	40	40,00	14,0
коридор	24	1	4,5-1,5-0=3	0,3	0,1	0,1	75	1,3	0,2	0,73	3678,4	ПВЛМ 1*40 з ламп. ЛД 40	2300	2,00	40	80,00	28,0
Кабінет керівника	6	4	4,5-1,5-0=3	0,3	0,1	0,1	300	1,3	0,5	0,73	11858,1	ПВЛМ 1*40 з ламп. ЛД 40	2300	6,00	40	240,00	84,0
адмін. приміщення	6	4	4,5-1,5-0=3	0,3	0,1	0,1	75	1,3	0,4	0,73	2307,9	ПВЛМ 1*40 з ламп. ЛД 40	2300	1,00	40	40,00	14,0

Таблиця 1.4 – Розрахунок електричних навантажень кондитерського цеху глазурування виробів в силових мережах вище 1кВ

Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного			Р сумарна	m	K _н	cosj	tgj	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min		max						P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
лінія виробництва																
силова	57	1	-	75	478,96	>3	0,77	0,82	0,7	425,4	164	28	5,94	505,39	194,87	541,7
освітлювальна														19,96	8,15	
Всього адміністрація														554,12	266,80	
силова	20	1	-	2	36,43	>3	0,4	0,78	0,47	20,44	7,81	13	2,1	21,62	8,36	23,23
освітлювальна														3,57	1,62	
склад																
силова	11	1	-	2	18	>3	2,15	3,72	4,55	8,25	8,12	5	1	8,34	8,46	11,52
освітлювальна														1,66	0,77	
Всього по цеху																
силова	11	1		2	18	4	0,5	0,71	0,98	8,25	8,12	11	0,01	535,27	211,22	575,56
освітлювальна														16,45	8,215	
БК 0,4 кВ																
Всього на шинах 0,4 кВ														699,352	292,34	757,86
Втрати в трансформаторах														8.017	47.628	
Кількість трансформаторів:	2															
Номінальна потужність, кВА:	630															
Коефіцієнт завантаження K _з =	0,6															
Всього на шинах 10 кВ														704,47	321,83	774.54

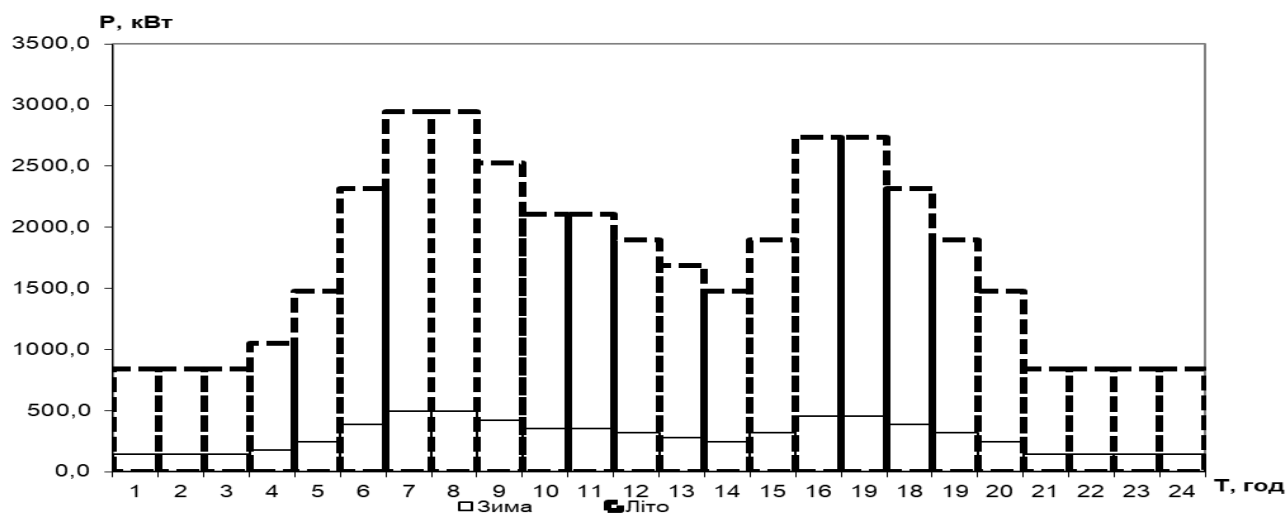
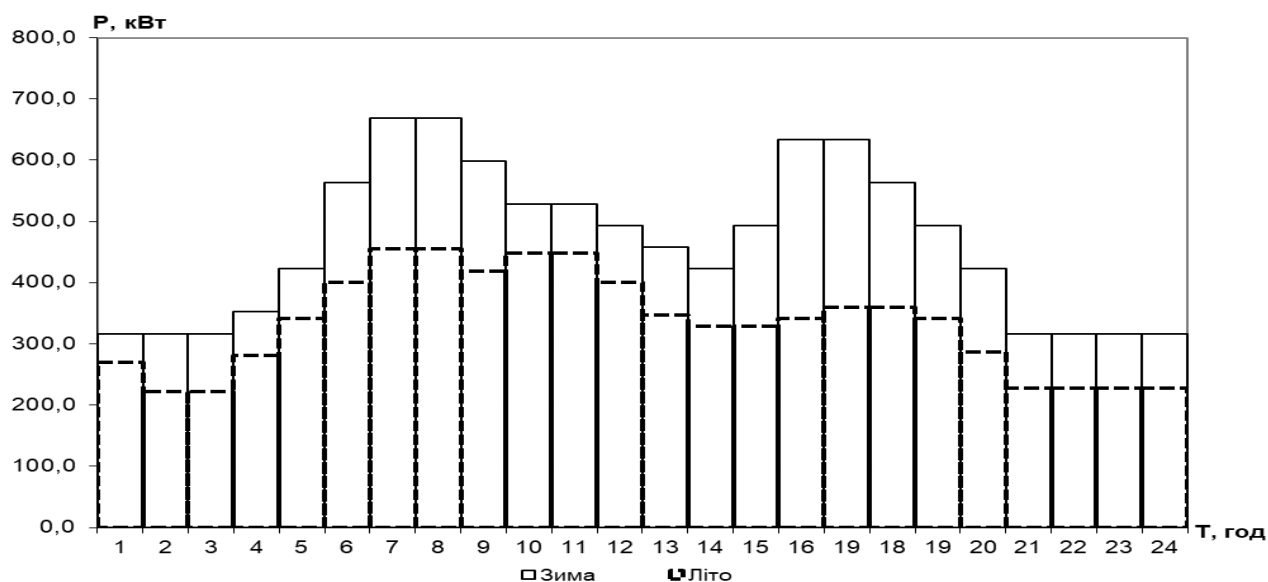
1.4 Побудова графіків електричних навантажень кондитерського цеху з глазурування продукції

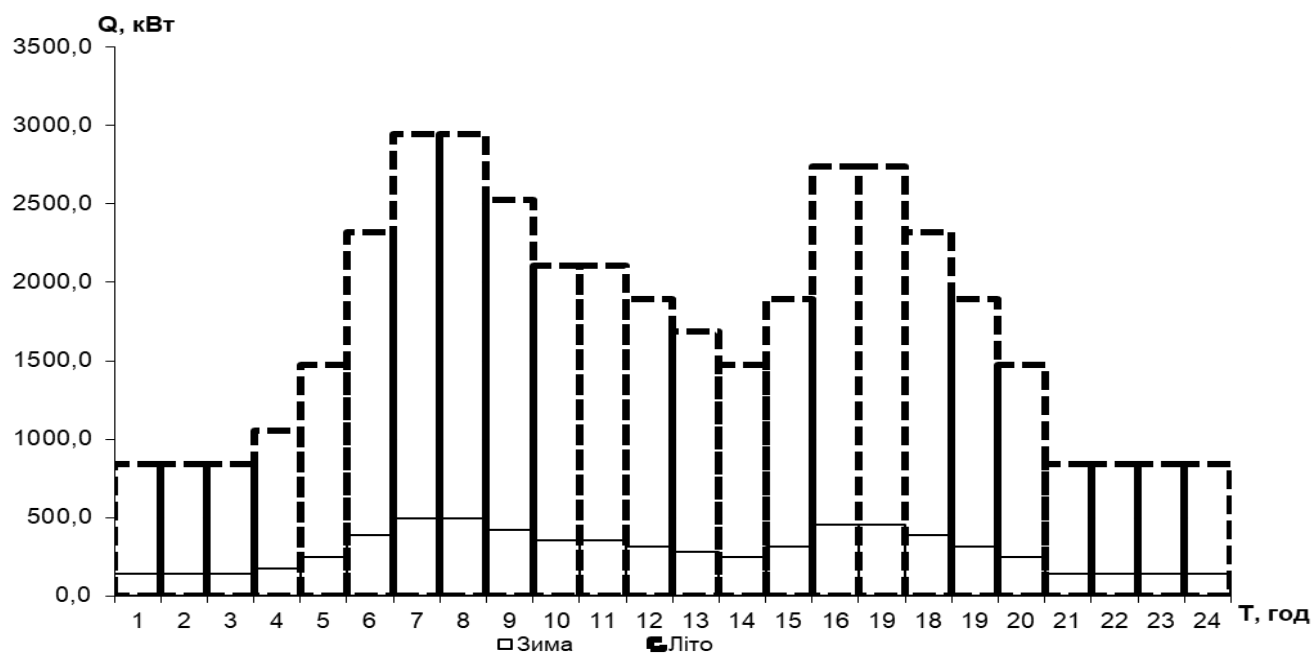
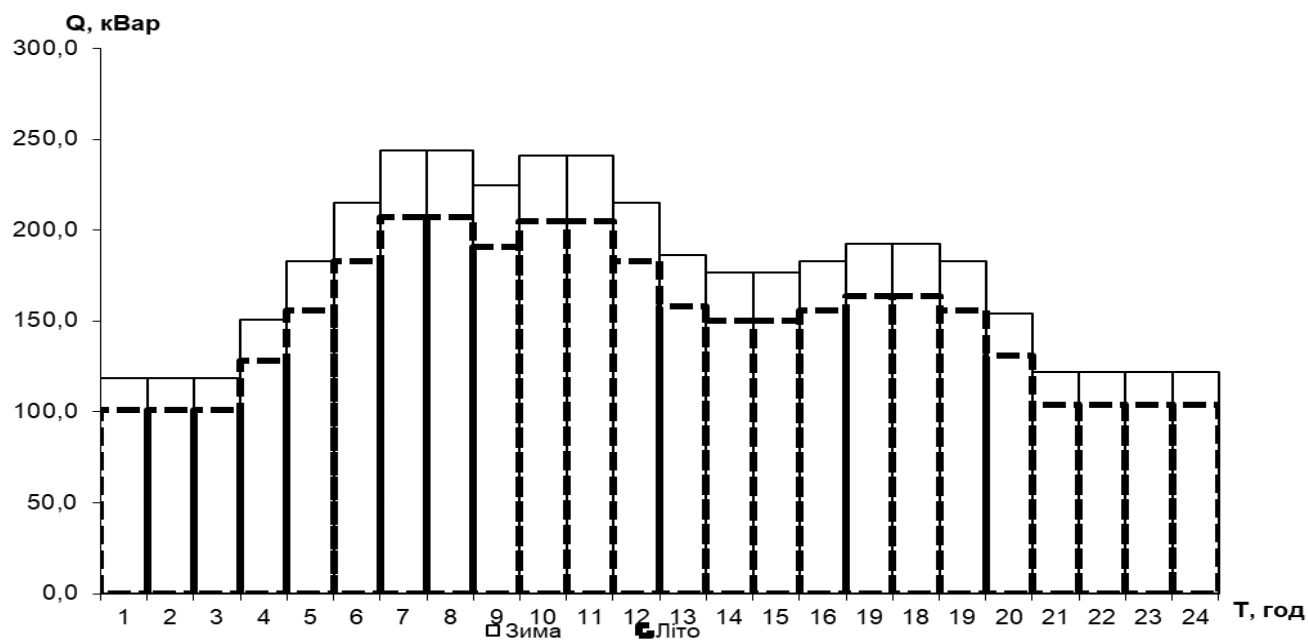
Важливим етапом проектування системи електрозабезпечення є візуалізація динаміки споживання потужності протягом доби. Це дозволяє визначити пікові періоди навантаження на мережу та розрахувати інтегральні показники енергоефективності. Усі отримані значення активної складової (P, кВт) та реактивного компонента (Q, кВар) для ділянки глазурування кондитерської продукції було структуровано та зведено у підсумкову таблицю 1.5. Дана таблиця слугує аналітичною базою для подальшої побудови часових залежностей потужності. Графіки споживання вихідного і робочого (до компенсації) дня наведемо на рис. 1.2 – 1.5, за тривалістю річний – рис. 1.6.

Таблиця 1.5 - Активне навантаження та реактивне навантаження цеху з глазурування продукції

Години	Активне навантаження				Реактивне навантаження			
	Робочий період		Вихідний період		Робочий день		Вихідний день	
	Зима	Літо	Зима	Літо	Зима	Літо	Зима	Літо
1	315	228	141	120	117	101	43	34
2	315	224	141	120	117	101	57	48
3	315	224	141	120	117	101	57	48
4	352	283	176	150	155	128	75	65
5	426	347	247	209	187	156	108	93
6	567	405	387	330	213	183	173	144
7	667	457	494	419	245	207	217	187
8	667	457	494	419	245	207	215	187
9	529	418	422	359	228	191	185	159
10	529	445	352	299	244	205	157	133
11	529	445	352	299	244	205	152	133
12	495	407	317	269	217	183	135	116
13	452	349	287	239	185	158	123	107
14	427	327	246	209	178	150	107	95

15	495	327	317	269	175	150	134	116
16	634	345	458	389	182	156	204	173
19	638	358	458	389	195	164	206	173
18	562	358	387	329	194	164	172	146
19	496	344	317	269	187	156	136	118
20	425	283	246	209	153	131	104	92
21	315	228	141	120	124	104	59	48
22	315	228	141	120	124	104	59	48
23	315	228	141	120	117	104	59	48
24	319	228	141	120	117	104	59	48
Wi	11159	7965	6934	5895	4247	3610	2992	2543





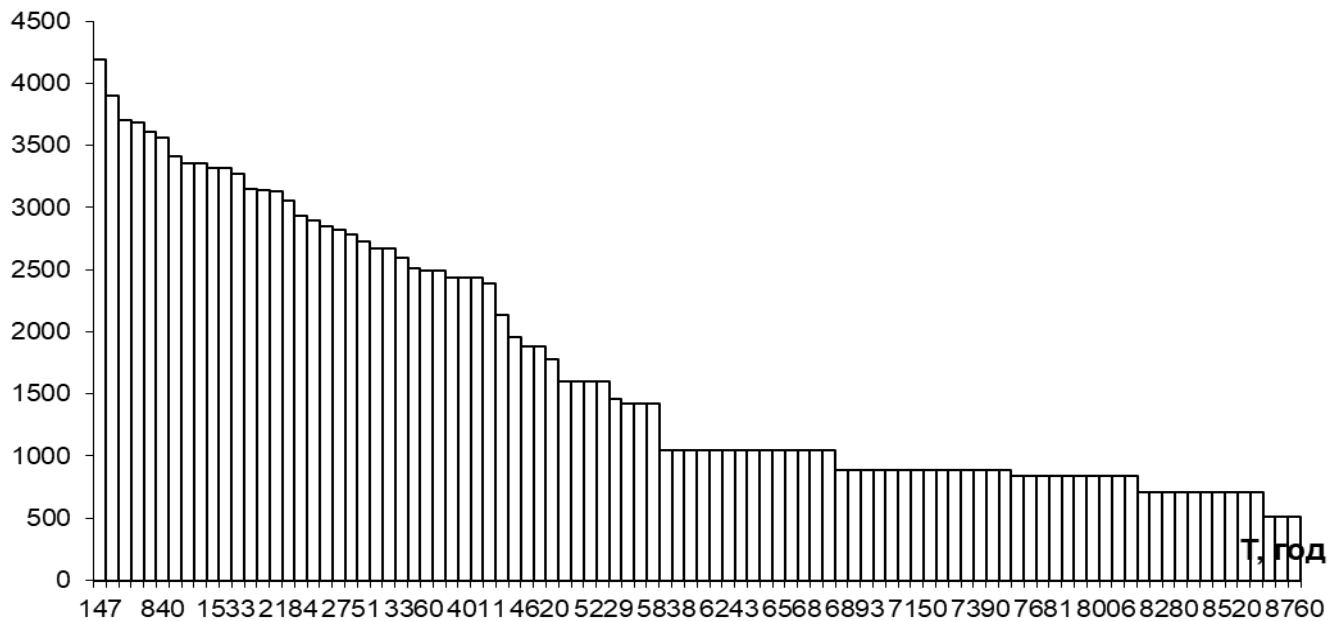


Рис 1.6 - Річний графік навантаження за тривалістю

Результати програми для побудови графіків електричних навантажень кондитерського цеху з глазурування продуктів.

$P = 704$ кВт
 $Q = 321$ кВар
 $S = 775$ кВА

Кількість днів робочих:

зимою 147 днів
 літом 105 днів

Кількість днів вихідних:

зимою 65 днів
 літом 48 днів

Зима

Річна витрата активної електричної енергії, кВт·год:

$W_{зр} = 1640285$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт·год:

$V_{зр} = 624284$

Літо Річна витрата активної електричної енергії, кВт·год:

$W_{лр} = 836294$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт·год:

$V_{лр} = 379030$

Вихідні дані:

Зима Річна витрата активної електричної енергії, кВт·год:

$$W_{зв} = 450736$$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт·год:

$$V_{зв} = 194462$$

Літо Річна витрата активної електричної енергії, кВт·год:

$$W_{лв} = 282924$$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт·год:

$$V_{лв} = 122062$$

Загальна річна витрата активної електричної енергії, кВт·год:

$$W_{лр} = W_{зр} + W_{лр} + W_{зв} + W_{лв} = 3210238,45$$

Загальна річна витрата реактивної електричної енергії, кВт·год:

$$V_{лв} = V_{зр} + V_{лр} + V_{зв} + V_{лв} = 1319837,63$$

Час використання максимального навантаження, год:

$$T_m = 4486,25$$

Час максимальних втрат, год:

$$t_m = 2872,23$$

Для об'єктивної оцінки інтенсивності експлуатації встановленого електрообладнання та визначення річного обсягу споживання енергії розраховується показник часу використання максимального навантаження. Ця величина демонструє умовний час, протягом якого підприємство, працюючи з постійним піковим навантаженням, спожило б таку ж кількість електроенергії, яку воно фактично використовує за рік при реальному графіку. T_m значення відповідає двозмінному або подовженому режиму роботи підприємства і є критично важливим при виборі економічно обґрунтованого перерізу провідників за методом економічної густини струму.

Для прогнозування енергетичних втрат у трансформаторах та лініях електропередачі використовується інтегральний показник часу максимальних втрат. Цей параметр (t_m) відображає тривалість проходження розрахункового струму, при якому втрати електричної енергії в елементах системи дорівнювали б фактичним втратам за весь річний період.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР НАПРУГИ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання

Згідно з технічними умовами та попередньо визначеними параметрами, енергопостачання ділянки глазурування кондитерської продукції реалізується через приєднання до міської електричної мережі. Джерелом живлення виступає районна трансформаторна підстанція, територіально віддалена від об'єкта проектування на відстань 600 метрів.

Враховуючи відносно невелику розрахункову потужність підприємства та специфіку його розташування, варіативність архітектури зовнішніх мереж є обмеженою. Оптимальним, технічно виправданим та безальтернативним сценарієм є організація живлення по системі 10 кВ. Передача електроенергії від розподільчого пункту (РП) до проектованої ТП цеху передбачається за допомогою кабельних ліній, прокладених у траншеях. Вибір кабельного виконання для зовнішньої мережі 10 кВ обумовлений декількома факторами: високий рівень надійності, мінімізація втрат, експлуатаційна безпека.

Дана схема відповідає вимогам нормативних документів щодо надійності живлення споживачів відповідної категорії та створює умови для стабільної роботи технологічних ліній кондитерського виробництва з глазурування продукції. Отже, струм кабельної лінії матимемо за результатами розрахунку:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3} \cdot U_{ном}},$$
$$I_p = \frac{774,54}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 42,56$$

Переріз кабельної лінії обираємо по економічній щільності струму:

$$F = \frac{42,56}{1,2} = 35,49 \text{ мм}^2$$

де 1,2 А/мм² - економічна щільність струму, згідно табл.3.2. [2].

						28

Маємо прийняти до прокладення 2 кабельні лінії маркою ААШв (3х50), з допустимим струмом $I_d = 140$ А, та втратою потужності на 1 км $\Delta P_{1 \text{ км}} = 44$ кВт.

Тоді коефіцієнт завантаження на одну лінію матимемо:

$$k_z = \frac{35.49}{140} = 0,342.$$

За аварійної умови: одна лінія виходе з ладу, друга, що залишається в роботі працюватиме з допустимим аварійним перевантаженням і забезпечить живлення навантаження

$$I = I_d \cdot k_{\text{ан}} = 140 \cdot 1,25 = 175 \text{ А},$$

де 1,25 – маємо допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження. Розрахунок показує, що в аварійному режимі живлення кондитерського цеху з глазурування продукції не порушується. Так втрати електроенергії на одну КЛ при врахуванні довжини L_Σ , м:

$$\Delta E_{\text{кл}(1)} = \Delta P \cdot L_\Sigma \cdot k^2 \cdot \tau = 44 \cdot 0.6 \cdot 0.342^2 \cdot 5360 = 24964,76 \text{ кВт год}$$

Вартість втрат енергії:

$$C = \Delta E_{\text{кл}} \cdot c_o = 24964,76 \cdot 12 = 299677.12 \text{ грн.}$$

Середній час простою (аварійного відключення):

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 4,6 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,04 \text{ год.}$$

Середня активна потужність:

$$P_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{розр}} \cdot T_{\text{мах}}}{8760} = \frac{774.54 \cdot 4486.25}{8760} = 600.54 \text{ кВт}$$

Отже, можливий збиток від аварійного недовипуску 1 кВт·год електроенергії при врахуванні вартості ел.ен.

$$Y = Y_0 \cdot P_{\text{сер}} \cdot T_a = 320 \cdot 600.24 \cdot 0.04 = 6770 \text{ грн.}$$

Проведений розрахунок дозволяє науково обґрунтувати вибір найбільш раціонального способу підключення цеху до розподільчої мережі 10 кВ, забезпечуючи баланс між вартістю проекту та його технічною досконалістю в умовах реального виробництва.

						29

2.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання кондитерського цеху з глазурування продукції

В даному підрозділі представимо техніко-економічне порівняння варіантів схем внутрішнього електропостачання кондитерського цеху з глазурування продукції.

I варіант: розрахунок навантажень цехової мережі з СП. Тоді кабельна лінія для живлення СП-1 матиме наступний розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{98,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 22,8 \text{ А}$$

Живлення цього силового пункту кондитерського цеху з глазурування продукції можна здійснити від шин 0,4 кВ цехової ТП. На відхідних лініях автомати АВМ-4 струмом $I_{\text{ном}} = 400 \text{ А}$, розрахунковий струм $I_p = 120 \text{ А}$. І приймемо кабель марки АВВГ перерізом 6 мм^2 ; з $I_{\text{доп}} = 38 \text{ А}$. Уточнення, $I_{\text{доп}} = 38 \text{ А} > I_p = 22,8 \text{ А}$.

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot \ell \cdot 100}{U_n^2} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \phi) = \frac{98,60 \cdot 25 \cdot 100}{380^2} (5,55 + 0,09 \cdot 0,89) = 0,14$$

Вибір всіх інших ділянок ліній для живлення СП виконується аналогічно і наведено в таблиці 2.1. Вибір живлення для окремих електроспоживачів кондитерського цеху з глазурування продукції виконуємо аналогічно і результат зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Вибір кабельної мережі мережі кондитерського цеху з глазурування продукції

№ СП	Р, кВт	I_p , А	$F_{\text{ст}2}$, мм ²	$I_{\text{доп}}$, А	Тип кабелю	R_0 , мОм/м	X_0 , мОм/м	L, м	U, %
СП1	98,64	142,41	50	160	АВВГ	0,67	0,06	23	0,02
СП2	96,93	140,17	50	160	АВВГ	0,67	0,06	34	0,03
СП3	167,72	242,42	95	250	АВВГ	0,18	0,06	43	0,02
СП4	107,13	154,71	50	160	АВВГ	0,67	0,06	42	0,03
СП5	35,11	50,55	16	75	АВВГ	2,08	0,07	54	0,04
СП6	13,12	26,75	4	31	АВВГ	8,35	0,1	27	0,04
СП7	8,63	3,94	4	31	АВВГ	8,35	0,1	65	0,02
СП8	8,34	11,72	4	31	АВВГ	8,35	0,1	29	0,02

Таблиця 2.2 – Вибір живлення в цеховій мережі кондитерського цеху до окремих електроспоживачів

приймач	назва приймача	P, кВт	I _p , А	F _{ст} , мм2	I _{доп} , А	Тип кабеля	R ₀ , мОм/м	X ₀ , мОм/м	l,м	U, %
	СП 1									
1	Тістозмішувальний агрегат	3	4,33	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	8	0,24
2,3	Пристрій перекидання діж	1,9	2,73	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,12
4,5	Порціонуюча установка для тіста	1,1	1,57	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,08
6,7	Обладнання для формування тістових заготовок	2,85	4,14	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	8	0,19
8,9	Теплова камера остаточної розстойки	6,8	9,85	4	31	АВВГ	8,35	0,1	8	0,47
10,11	Пекільний агрегат ротаційного типу	40	57,81	10	60	АВВГ	3,33	0,07	6	0,69
	СП 2									
12	Вібросито	1,8	2,62	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	9	0,14
13,14	Пристрій перекидання діж	1,9	2,76	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,12
15,16	Вібросито	1,1	1,61	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,07
17,18	Обладнання для формування тістових заготовок	2,85	4,14	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	8	0,18
19,2	Теплова камера остаточної розстойки	6,8	9,85	4	31	АВВГ	8,35	0,1	7	0,36
21,22	Пекільний агрегат ротаційного типу	40	57,81	10	60	АВВГ	3,33	0,07	6	0,69
	СП 3									
23,24	Конвеєрна камера тунельного охолодження	3	4,34	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,16
25,26	Термостабільна роб. пов-ня	1,9	2,73	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,09
27,28	Електробойлер накопичувального типу	1,1	1,57	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,07
29,3	Установка для нанесення кондитерського покриття	2,85	4,15	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,16
31,32	Темперувальна машина серії ТМА-80	3	4,36	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,12

Продовження табл.2.2.

33,34	Пекільний агрегат ротаційного типу	40	57,81	10	60	АВВГ	3,33	0,07	6	0,69
	СП 4									
35,36	Конвеєрна камера тунельного охолодження	6	8,68	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,22
37,38	Термостабільна робоча поверхня	1,9	2,73	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,08
39,4	Електронагрівач води	1,1	1,62	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,06
41,42	Установка для нанесення кондитерського покриття	2,85	4,3	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,13
43,44	Темперувальна машина серії ТМА-80	6,8	9,85	4	31	АВВГ	8,35	0,1	6	0,28
45,46	Пекільний агрегат ротаційного типу	40	57,82	10	60	АВВГ	3,33	0,07	5	0,55
	СП 5 Кондитерська ділянка									
47	Кремозбивач	7	10,14	4	31	АВВГ	8,35	0,1	5	0,25
48,49	Термостабільна робоча поверхня	1,9	2,76	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,09
50,51	Гідравлічні помпові агрегати	1,1	1,62	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,06
52,53	Установка для нанесення кондитерського покриття	2,85	4,14	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,14
53,55	Темперувальна машина серії ТМА-80	6,8	9,86	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,28
56,57	Холодильник	5	7,25	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,24
	СП6									
58	Побутовий СВЧ-випромінювач	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,06
59	Електротермічний нагрівач води	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,08
60,61,62	Персональна обчислювальна машина	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,06
63,64,65	Периферійний пристрій друку	0,6	0,86	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,04
66	Холодильник	2	2,91	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,13
67,68	Локальний осьовий вентилятор	2	2,91	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	8	0,15

Продовження табл.2.2.

	СП 7									
69,70,71	Насосне обладнання технологічного циклу	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,06
72,73,74	Компресорна станція стисненого повітря	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,07
75,76,77	Гідравлічні помпові агрегати	1	1,45	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	8	0,07
	СП 8									
78,79	Установки примусової припливно-витяжної вентиляції	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	5	0,04
80,81	Тензометричний ваговий комплекс	0,5	0,74	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,04
82,83	Система спліт-кондиціонування повітря	2	2,92	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7	0,12
84,85	Електропривод стрічкового конвеєра	2	2,92	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	8	0,14
86,87,88	Бойлери	2	2,92	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6	0,09

Варіант II

Друга розрахункова модель внутрішньої електромережі дільниці глазурування базується на використанні змішаної (радіально-магістральної) схеми. Такий підхід поєднує в собі гнучкість радіальних ліній та економічність магістральних шинопроводів, що дозволяє оптимізувати витрати провідникового матеріалу та забезпечити високу адаптивність системи до переміщення технологічного обладнання. У зонах з високою концентрацією та рівномірним розташуванням споживачів передбачається монтаж розподільних шинопроводів серії ШРА. Це рішення дозволяє здійснювати швидке підключення або відключення одиниць обладнання без зупинки всієї лінії.

Живлення розподільних мереж здійснюється від головного магістрального шинопроводу серії ШМА. Вибір перерізу та номінальних характеристик магістральних шинопроводів здійснюється за розрахунковим струмом лінії. Для забезпечення необхідної пропускну здатності та термічної стійкості, розрахункове значення струму магістралі приймається рівним номінальному струму вторинної обмотки встановленого трансформатор. З метою гарантування безпеки та селективності захисту, приєднання до магістралі реалізується через селективні автоматичні вимикачі, інтегровані у відгалужувальні секції. Така архітектура забезпечує локалізацію можливих аварійних режимів у межах однієї групи споживачів.

$$I_{\text{ШРА}} = I_{\text{номТР}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 380} = 975 \text{ А}$$

Для кондитерського цеху з глазурування продукції можемо прийняти ШМА-73-У3, і зазначимо номінальний струм ШМА 1600 А. Інші розрахунки виконаємо подібно і зведемо до таблиці 2.3. Розрахунок поточних витрат в таблицю 2.4 та таблицю 2.5 для остаточного визначення з варіантом електропостачання. Обраний підхід гарантує, що магістраль зможе витримати повне навантаження трансформатора навіть у пікові періоди роботи кондитерського цеху, забезпечуючи стабільність напруги на всіх ділянках розподілу.

						34

Таблиця 2.3 – Вибір живлення для приймачів кондитерського цеху

Ел приймач	Р, кВт	I _p , А	F _{ст2} , мм ²	I _{доп} , А	Тип кабеля чи шинопроводу	R ₀ , мОм/м	X ₀ , мОм/м	L, м	U, %
ШМА 1		975		1600	ШМА-73У3	0,031	0,017	7	0,33
ШМА 2		975		1600	ШМА-73У3	0,031	0,017	14	0,95
ШРА 1		380		400	ШРА-73	0,15	0,17	22	3,16
ШРА 2		375		400	ШРА-73	0,15	0,17	22	3,13
10,11	40	57,81	10	60	АВВГ	3,33	0,07	6	0,68
21,22	40	57,81	10	60	АВВГ	3,33	0,07	6	0,68
33,34	40	57,81	10	60	АВВГ	3,33	0,07	6	0,68
45,46	40	57,81	10	60	АВВГ	3,33	0,07	4	0,54
СП7	2,7	387	4	31	АВВГ	8,35	0,1	67	0,024
69,70,71	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	4,6	0,038
72,73,74	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	6,6	0,048
75,76,77	1	1,46	2,5	23	АВВГ	8,35	0,1	7,3	0,057

Таблиця 2.4 – Розрахунок капвкладень за варіантами внутрішнього живлення

	Елемент схеми	Одиниця вимірювання	Кількість	Вартість, грн.	Всього, грн.
Варіант 1	СУ-9533-11	шт.	8	5 450	43 600
	КЛ до СП				
	4 мм	м.	96	72	6 912
	16 мм	м.	50	285	14 250
	50 мм	м.	106	890	94 340
	95 мм	м.	40	1 650	66 000
	Всього	тис.грн.			225 102
Варіант 2	СУ-9533-11	шт.	1	5 450	5 450
	КЛ до СП				
	2,5 мм.	м	18	48	864
	4 мм.	м	68	72	4 896
	10 мм.	м	19	195	3 705
	ШМА-73У3	м	20	4 200	84 000
	ШРА-73	м	40	3 100	124 000
	Всього	тис.грн.			222 915

Виконаємо розрахунок вартості втрат електроенергії для варіантів схем внутрішнього електропостачання кондитерського цеху глазурування виробів.

Наведемо втрати потужності в кабельній лінії ділянки 5:

$$\Delta P_{кл5} = I_{pкл5}^2 \cdot r_{кл5} \cdot l = 0,142^2 \cdot 0,667 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,34 \text{ кВт}$$

Втрати енергії ділянки кл 5:

$$\Delta E_{кл5} = \Delta P_{кл5} \cdot \tau_{\max} = 0,34 \cdot 2872 = 976,78 \text{ кВт год}$$

Вартість втрат електроенергії визначимо для ділянки кл 5, при цьому врахуємо вартість 1 кВт год енергії за діючою вартістю 512 грн./ кВт·год.

$$B_{\kappa\lambda 5} = \Delta E \cdot c_0 = 978.8 \cdot 12 = 11745.6 \text{ гРН}$$

Результати по інших ділянках кондитерського цеху з глазурування продукції виконаємо та надамо в вигляді таблиць 2.6 та 2.7 відповідно до варіантів.

Таблиця 2.6 – Розрахунок поточних витрат за варіантами 1 та 2

	Елемент схеми	К, грн.	Н _а , %	Н _с , %	Н _{а.с.} , %	С, грн.
Варіант 1	Силові пункти цеху	43 600	15	5	20	8 720,00
	Кабельні лінії цеху	181 502	5	5	10	18 150,20
	Всього	225 102				26 870,20
Варіант 2	Кабельні лінії цеху	9 465	5	5	10	946,50
	Силові пункти	5 450	15	5	20	1 090,00
	Шинопровід	208 000	15	5	20	41 600,00
	Всього	222 915				43 636,50

Проведемо точний розрахунок, результати зводимо в таблиці 2.8:

Варіант 1 (Радіальна кабельна мережа):

$$Z1 = 0,12 \cdot 225,102 + 26,840 = 27,012 + 26,840 = 53,852 \text{ тис. грн/рік}$$

Варіант 2 (Змішана схема з шинопроводами):

$$Z_2 = 0,12 \cdot 222,915 + 43,636 = 26,750 + 43,636 = 70,386 \text{ тис. грн/рік}$$

Таблиця 2.8 – Техніко-економічні показники варіантів електропостачання

№	Показники	Одиниця вимірювання	Варіант схеми	
			<i>I</i>	<i>II</i>
1	Капітальні вкладення	т.грн.	225 102	222 915
2	Поточні витрати	т.грн.	26,840	43,636
3	Вартість втрат ел.енергії	т.грн.	11,745	16,76
4	Приведені витрати	т.грн.	65, 597	87,146

Попри майже ідентичні обсяги капітальних інвестицій (225,1 тис. грн проти 222,9 тис. грн), радіальна схема демонструє значну економію на етапі експлуатації. Приведені витрати за цим варіантом є суттєво нижчими, що зумовлено меншою вартістю технічного обслуговування кабельних мереж та нижчими показниками технологічних втрат електроенергії. Варіант II (магістральна схема) характеризується вищим рівнем втрат (16,7 тис. грн/рік), що пов'язано зі специфікою контактних з'єднань шинопроводів та їхнім опором. У Варіанті I цей показник на 30% нижчий, що є критично важливим для енергоефективності підприємства у 2026 році.

За критерієм мінімізації сумарних приведених витрат, найбільш раціональним для реалізації є **Варіант I**. Він забезпечує оптимальний баланс між надійністю електропостачання та щорічними витратами на утримання енергогосподарства цеху.

2.3 Розрахунок освітлювальної мережі цеху

Покажемо схему мережі з освітлювальним навантаженням кондитерського цеху з глазурування продукції на рис.2.1. Слід знайти переріз алюмінієвих проводів для освітлювальної мережі 380/220В напругою, при цьому допустима втрата напруги 2,8%.

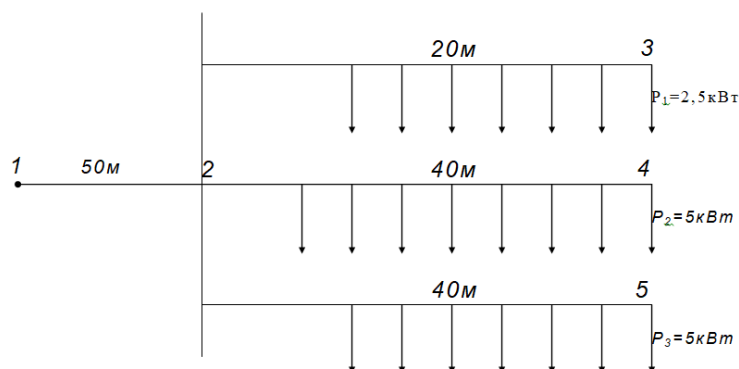


Рис. 2.1 – Схема освітлювальної мережі кондитерського цеху з глазурування продукції

Лінії, що живлять виконануються чотири провідними 1–2 ($\ell = 50\text{м}$) та розподільчі лінії двопровідні, а саме: 2 – 4 і 2 – 5 ($\ell=40\text{м}$), лінія 2–3 ($\ell = 20\text{м}$).

Знайдемо моменти всіх зазначених для ділянок освітлювальної мережі. Для ліній 2 – 3, 2 – 4 та 2 – 5 можемо замінити рівномірно розподілене по довжині навантаження зосереджене в середині лінії:

$$M_{12} = (P_1 + P_2 + P_3) \ell_{12} = 12,5 \cdot 50 = 625 \text{ кВт м};$$

$$M_{23} = P_1 \cdot 0,5 \ell_{23} = 2,5 \cdot 20 = 25 \text{ кВт м};$$

$$M_{24} = 5 \cdot 40 = 100 \text{ кВт м};$$

$$M_{25} = 5 \cdot 40 = 100 \text{ кВт м}$$

Для лінії 1 – 2 переріз обирається:

$$F_{1-2} = \frac{625 + 100 + 100 + 1,85 \cdot 25}{44 \cdot 2,8} = 7,07 \text{ мм}^2$$

Оберемо переріз, як 10 мм^2 , та знайдемо дійсні втрати напруги лінії 1–2:

$$\Delta U_{1-2} = \frac{M_{1-2}}{C \cdot F_{1-2}} = \frac{625}{44 \cdot 10} = 1,42\%$$

Визначимо нижче втрати напруги для інших ділянок 2 – 3, 2 – 4 та 2 – 5:

$$\Delta U_{2-3} = \Delta U_{2-4} = \Delta U_{2-5} = \Delta U_{\text{прип}} - \Delta U_{1-2} = 2,8 - 1,42 = 1,38\%$$

Перерізи проводів наступні:

$$F_{2-3} = \frac{25}{7,4 \cdot 1,38} = 2,45 \text{ мм}^2 \text{ (отже, приймаємо } 2,5 \text{ мм}^2\text{);}$$

$$F_{2-4} = F_{2-5} = \frac{100}{44 \cdot 1,38} = 1,65 \text{ мм}^2 \text{ (отже, приймаємо } 2,5 \text{ мм}^2\text{).}$$

Згідно з нормативами проектування внутрішнього освітлення промислових підприємств, кількість світлових точок на одну фазу групової лінії обмежена для забезпечення надійності захисту та стабільності напруги. Для освітлювальних установок із газорозрядними джерелами високого тиску (типу ДРЛ або ДРІ) та ламп розжарювання встановлено ліміт до 20 одиниць на кожну фазу. У разі використання люмінесцентних світильників (ЛЛ) або сучасних LED-модулів, допускається підключення до 50 одиниць на одну фазу, за умови, що сумарна потужність не перевищує номінальну здатність захисного апарата.

При виборі провідникової продукції враховано вимоги механічної міцності та термічної стійкості. Мінімально допустимий переріз жил для освітлювальних мереж кондитерського цеху становить: для провідників із мідними жилами – 1,5

						38

мм² (відповідно до актуальних вимог ПУЕ для внутрішніх мереж); для провідників з алюмінієвими жилами – 2,5 мм².

Для формування освітлювальної мережі обрано провід із відповідними характеристиками ізоляції (наприклад, марки ПВ-3 або АПВ при закритому прокладанні). З метою захисту від механічних пошкоджень та впливу навколишнього середовища на рівні підвісу освітлювальних приладів передбачено використання захисних сталевих або ПВХ-труб діаметром 40 мм.

На ділянках, де трубне прокладання є недоцільним, застосовується тросова підвіска. Кріплення кабелів здійснюється до сталеві катанки діаметром 5,5 мм, що забезпечує необхідну жорсткість траси та запобігає провисанню ліній на великих прольотах цеху.

Централізоване керування та захист освітлювальних контурів реалізується за допомогою групових щитів серії ЩО 31-32 (або сучасних аналогів типу ЩО-70). Для автоматичного вимкнення ліній при виникненні перевантажень або коротких замикань застосовуються автоматичні вимикачі.

У проекті передбачено використання наступної комутаційної апаратури:

1. Ввідний автомат: серії АЕ-1031-11 або сучасні модульні вимикачі з відповідною вимикальною здатністю, що забезпечує загальний захист щита.
2. Лінійні автомати: серії АЗ114 (або сучасні автомати серії ВА), які характеризуються високою селективністю та надійністю спрацювання у разі аварійних режимів у групових лініях.

Така конфігурація обладнання гарантує безпечну експлуатацію системи освітлення кондитерського цеху та зручність проведення регламентних робіт.

						39

РОЗДІЛ 3

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Виходячи з аналізу технологічного циклу кондитерського цеху та складу встановленого обладнання, слід зазначити, що споживачі з номінальною напругою понад 1000 В у межах даного проекту відсутні. Весь комплекс електроприймачів підключений до низьковольтних шин 0,38 кВ.

Проте наявність великої кількості індуктивних навантажень (асинхронних двигунів, трансформаторів темперувальних машин та пускорегулювальної апаратури) призводить до значного споживання реактивної енергії. З метою мінімізації втрат потужності в силових трансформаторах 2 ТМ-630 та зниження падіння напруги в кабельних лініях, виникає необхідність у техніко-економічному обґрунтуванні оптимального рівня реактивної потужності, що передається з енергосистеми. Значення Q_{eMAX} визначається на основі розрахункових коефіцієнтів, що залежать від конфігурації мережі та схеми живлення підприємства від районного розподільчого пункту (РП). Подальший порівняльний аналіз фактичного навантаження Q та Q_{eMAX} дозволить обрати потужність та місце встановлення компенсуючих пристроїв.

3.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв

Для СЕП всього кондитерського цеху в цілому:

$$Q_{eMAX} = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_e = 704 \cdot 0.15 = 105 \text{ кВар}$$

Визначимо необхідну сумарну потужність КП в цехових мережі :

$$Q_{KY} = Q_{PH} - Q_{eMAX} = 321 - 105 = 216 \text{ кВар}$$

При такому навантаженні число варіантів практично обмежено вибором двотрансформаторних ТП. Встановлення ККУ на шинах низької напруги ТП

						40

дозволяє розвантажити силові трансформатори 2 ТМ-630 від реактивних струмів, вивільняючи їхню пропускну здатність для активної потужності. Отже, розрахуємо мін. кількість внутрішньоцехових трансформаторів ТП при потужності трансформатора 630 і для порівняння 1000 кВ. та, обидва варіанти дозволяють встановлювати компенсуючі пристрої тільки НН. Так:

$$N_{\min} = \frac{P_p}{K_z \cdot S_{\text{тр.ном}}} = \frac{704}{0,7 \cdot 630} = 1,6$$

До встановлення прийняли 2 трансформатори ТМ 630/10.

$$N_{\min} = \frac{P_p}{K_z \cdot S_{\text{тр.ном}}} = \frac{704}{0,7 \cdot 1000} = 1.$$

До встановлення слід би прийняти 1 трансформатор ТМ 1000/10. Тому проведемо техніко-економічне порівняння обох варіантів і приймемо рішення по подальшому варіанту.

Варіант I: встановлення 2 силових трансформаторів ТМ 630/10 в кондитерському цеху з глазурування продукції і знайдемо реактивну потужність, що передаватиметься через цехові трансформатори:

$$Q_m = \sqrt{(N_m \cdot K_z \cdot S_{\text{тр.ном}})^2 - P_p^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,55 \cdot 630)^2 - 704^2} = 0 \text{ кВар}$$

Так, потужність низьковольтних цехових компенсуючих пристроїв:

$$Q_{\text{кн}} = Q_p - Q_m = 321 - 0 = 321 \text{ кВар}$$

Варіант II: встановлення 1 трансформатора ТМ 1000/10 Отже, реактивна потужність, яку передаватимемо через трансформатор складатиме:

$$Q_m = \sqrt{(N_m \cdot K_z \cdot S_{\text{тр.ном}})^2 - P_p^2} = \sqrt{(1 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 704^2} = 0 \text{ кВар}$$

Потужність КУ на стороні НН:

$$Q_{\text{кн}} = Q_p - Q_m = 321 - 0 = 321 \text{ кВар}$$

Потужність КП, що встановлюється на шинах 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_p - Q_{\text{кн}} - Q_e = 0 \text{ кВар}$$

3.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Важливим аспектом проектування є встановлення лімітів реактивної потужності, яку технічно можливо та економічно доцільно транспортувати від зовнішніх мереж 10 кВ до внутрішньоцехової системи 0,4 кВ. Значення потужності, що передається з енергосистеми, безпосередньо впливає на сумарну потужність компенсуючих пристроїв (КРП), які необхідно інсталиувати в електротехнічних приміщеннях об'єкта. Розрахункові втрати для I варіанту.

Втрати активної потужності в конденсаторах:

$$\Delta P_{кв} = 2,5 \cdot 0 = 0 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{кн} = 4,5 \cdot 0,15 = 0,675 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності при передачі реактивної потужності через цехові трансформатори:

$$\Delta P_{mn} = \frac{Q_n^2}{U_n^2} \cdot R'_{ек} = \frac{321^2}{10^2} \cdot 10,6 \cdot 10^{-6} = 10,92 \cdot 10^{-6} \text{ кВт}$$

$$R'_{ек} = \frac{\Delta P_{кн} \cdot U_n^2}{N_m \cdot S_{н.мр}^2} = \frac{10,6 \cdot 10^2}{1 \cdot 1000^2} = 10,6 \cdot 10^{-6} \text{ кОм}$$

Вартість КТП: $K_{кмп\Sigma} = N \cdot K_{кмп} = 1 \cdot 260 = 260 \text{ тис.грн.}$

Вартість батарей конденсаторів НН: $K_{кн} = \sum_{i=1}^n N_{кни} \cdot K_{кни} = 3 \cdot 12 = 36 \text{ тис.грн.}$

Вартість батарей ВН: $K_{кв} = \sum_{i=1}^n N_{квi} \cdot K_{квi} = 0 \text{ тис.грн.}$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$\begin{aligned} Z &= E_n \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{кмп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{mn}) \cdot C_o \cdot \tau = \\ &= 0,12(260 + 0 + 36) + (0 + 0,675 + 10,92) \cdot 12 \cdot 2872,23 \cdot 10^{-3} = 37,06 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Розрахунки для другого варіанту проводимо аналогічно, результати зводимо в таблицю 3.1.

						42

Таблиця 3.1 – Аналіз технологічних втрат енергії для I та II варіантів

Показники	Одиниця виміру	Варіант	
		I	II
Вартість ТП	тис.грн.	260	268
Витрати КУ 0,4 кВ	тис.грн.	36	36
Витрати КУ 10 кВ	тис.грн.	-	-
Витрати на компенсацію	тис.грн.	37,04	53,4
Всього	тис.грн.	333,04	357,4

На підставі проведеного техніко-економічного аналізу різних варіантів компенсації реактивної потужності було встановлено пріоритетність першої моделі проектування як найбільш раціональної з фінансової та технічної точок зору. Відповідно до обраної стратегії, для подальшої деталізації проекту приймається схема енергозабезпечення, що базується на використанні двотрансформаторної підстанції. До встановлення передбачено два силові агрегати типу ТМ-630 номінальною потужністю 630 кВА кожен. Така конфігурація забезпечує необхідний рівень резервування та оптимальні показники енергоефективності в умовах змінного графіку навантаження кондитерського цеху з глазурування продукції.

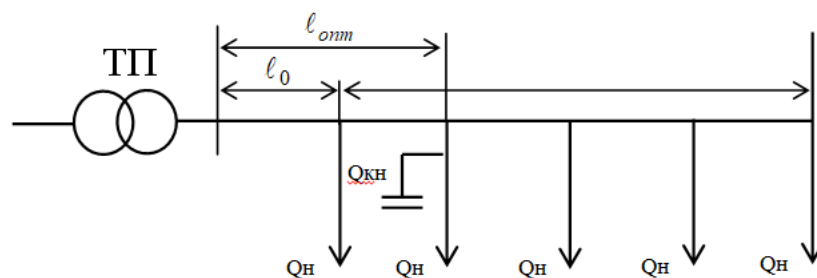


Рис. 3.1 – Схема місця встановлення цехових КУ НН

В данній роботі визначено, що в цехову мережу з мережі 10 кВ передається реактивна потужність $Q_c=321\text{кВар}$, яка розподіляється до РП по 8 лініях з опорами відповідно 0,035; 0,04; 0,015; 0,02 Ом. Реактивні навантаження зазначено в табл.3.2:

Таблиця 3.2 – Визначення місця розташування цехових КУ

№ СП	Реактивна потужність, кВА	Довжина лінії, м	Питомий опір, мОм/м	Опір, мОм	Реактивна потужність, кВа
СП1	36,81	70	3,33	0,2332	28,28
СП2	35,62	55	3,33	0,1834	35,97
СП3	60,81	42	2,08	0,0874	75,43
СП4	44,24	54	3,33	0,1797	36,66
СП5	17,43	25	8,35	0,2087	31,56
СП6	5,66	15	8,35	0,1254	52,63
СП7	2,72	20	8,35	0,1671	39,47

Необхідна $Q_{\Sigma}=300$ кВар. Так як $Q_{\text{кн}} < Q_{\Sigma}$, конденсаторні установки до шин ТП не підключаються, тому розподіляються по РП. Еквівалентний опір цехової мережі R_e , Ом та розподілення реактивної потужності по окремим РП для 1, маємо наступне:

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{0,2331} + \frac{1}{0,1832} + \frac{1}{0,0874} + \frac{1}{0,1798} + \frac{1}{0,2088} + \frac{1}{0,1253} + \frac{1}{0,167}} = 0,02198$$

$$Q_1 = \frac{300 \cdot 0,021}{0,2332} = 28,9 \text{ кВар}$$

Потужність навантаження $Q_{\text{н3}}=60,8$ кВар, що є меншою за отриману розрахункову $Q_3 = 75,44$ кВар і прямоказує на неекономічність встановлення більшої КУ на РП – 3. Тому, маємо $Q_3 = Q_{\text{н3}} = 60$ кВар і маємо врахувати цю потужність при передачі на інші РП. Ре без опору лінії r_3 до РП – 3. Те саме і для $Q_3=Q_{\text{н3}}=20$ кВар.

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{0,2331} + \frac{1}{0,1832} + \frac{1}{0,1798}} = 0,065312$$

$$\text{тоді } Q_1 = \frac{(321-80) \cdot 0,0065312}{0,02331} = 67 \text{ кВар,}$$

Обчислити потужності КП з обліком стандартного ряду потужностей ККУ:

$Q_{\text{кн1}}=35$ кВар (обираємо УКРМ 0,4-35/4-5 (5+5+10+15))

$Q_{KH2}=35\text{кВар}$ (обираємо УКРМ 0,4-35/4-5 (5+5+10+15))

$Q_{KH3}=60\text{кВар}$ (обираємо УКРМ 0,4-50/10-4 (5+10+15+20))

$Q_{KH4}=40\text{кВар}$ (обираємо УКРМ 0,4-35/4-5 (5+5+10+15))

$Q_{KH5}=15\text{кВар}$ (обираємо УКРМ 0,4-25/3-5 (5+10+10))

$Q_{KH6}=0$ (КУ дорівнює нулю).

$Q_{KH7}=0\text{кВар}$ (КУ дорівнює нулю).

Отже, приймемо до подальшого встановлення зазначені вище компенсуючі пристрої низької напруги.

Та маємо уточнити, що така ефективність функціонування конденсаторних установок низької напруги (КУ НН) суттєво залежить від топології внутрішньоцехової мережі та характеру розподілу споживачів по виробничих дільницях. При виборі точок підключення КУ враховуються наступні чинники: топологія мережі (радіальна чи магістральна побудова ліній живлення); динаміка споживання (наявність різкозмінних навантажень від потужних електродвигунів лінії глазурування; мінімізація технологічних втрат (наближення джерела реактивної потужності до її безпосереднього споживача).

У сучасній енергопрактиці монтаж КУ виключно на шинах 0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції вважається недостатньо ефективним заходом. Це пояснюється тим, що при такому розміщенні від реактивних струмів розвантажується лише силовий трансформатор, тоді як внутрішньоцехові кабельні лінії залишаються навантаженими реактивною складовою, що призводить до додаткових втрат енергії на нагрівання провідників. Зосередження всієї компенсуючої потужності на шинах ТП є економічно виправданим лише у випадках, коли розосереджене розміщення КУ безпосередньо біля технологічного обладнання є неможливим через специфічні умови експлуатації. До таких обмежень належать: суворі вимоги щодо пожежної та вибухової безпеки в зонах приготування та глазурування продукції; наявність агресивного середовища або підвищеної вологості, що потребує спеціального виконання корпусів обладнання (IP54 і вище); обмежені габаритні розміри майданчиків.

РОЗДІЛ 4

ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ (ТП)

Сучасні тенденції проектування систем промислового електропостачання передбачають спрощення архітектури розподільчих пристроїв на боці вищої напруги (ВН). У більшості випадків цехові підстанції не потребують встановлення громіздких розподільчих пунктів 10 кВ. Замість цього застосовується метод «глухого» приєднання або безпосереднього сполучення кабельних ліній із силовими вводами трансформаторів.

Для об'єкта проектування пріоритетним є використання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) внутрішньої установки. Застосування КТП заводської готовності дозволяє: мінімізувати обсяг монтажних робіт безпосередньо на майданчику кондитерського цеху; підвищити рівень експлуатаційної безпеки завдяки металевому захисному кожуху та системі блокувань; забезпечити компактність розміщення енергетичного обладнання.

З добового графіка навантаження кондитерського цеху з глазурування продукції маємо максимальне навантаження у найбільше завантажений день $S_{\max}=730$ кВА і тривалість такого навантаження на добу складає $t_{\text{т.м.}}=2$ год.

Визначимо коефіцієнт заповнення графіка навантаження за добу:

$$K_{\text{з.г.}} = S_{\text{з.д.}} / S_{\text{макс}} = 464,9/730=0.64$$

$$S_{\text{з.д.}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i t_i}{24} = 11158,4 / 24 = 464,9 \text{ кВА}$$

де

$$\sum_{i=1}^n S_i t_i = 11158,4 \text{ кВАгод}$$

Для забезпечення максимальної ефективності використання встановленої потужності трансформаторів ТМ-630 необхідно врахувати їхню здатність до систематичних перевантажень. Згідно з типовими монограмами [1], що базуються на теплових характеристиках ізоляції та параметрах

оохолодження масляних агрегатів, допустиме значення систематичного перевантаження визначається на основі добового графіка споживання. Це означає, що за рахунок нерівномірності споживання протягом доби трансформатор може безпечно працювати з навантаженням, що на 20% перевищує номінальне, без прискореного старіння ізоляції.

Розглянемо обидва варіанти раніше попередньо обраних потужностей цехових трансформаторів: $S_{\text{НОМ.ТР1}} = 630$ кВА та $S_{\text{НОМ.ТР2}} = 1000$ кВА, врахуємо їх коефіцієнти навантаження і остаточно перевіримо можливість їх перевантажень.

$$K_{31} = \frac{S_{\text{макс}}}{n \cdot S_{\text{н.т}}} = \frac{740}{2 \cdot 630} = 0,58$$

$$K_{32} = \frac{S_{\text{макс}}}{n \cdot S_{\text{н.т}}} = \frac{740}{1000} = 0,74$$

Варіант 1.

$$\Delta Q_{\text{х.х}} = S_{\text{н.т}} \frac{I_{\text{х.х}}}{100} = 630 \frac{1,8}{100} = 11,34 \text{кВар}$$

$$\Delta Q_{\text{к.з}} = S_{\text{н.т}} \frac{U_{\text{к}} \cdot K_3^2}{100} = 630 \frac{5,5 \cdot 0,58^2}{100} = 11,25 \text{кВар}$$

$$\Delta P'_{\text{х.х}} = \Delta P_{\text{х.х}} + D \cdot \Delta Q_{\text{х.х}} = 1,42 + 0,0129 \cdot 11,34 = 1,56 \text{кВт}$$

$$\Delta P'_{\text{к.з}} = \Delta P_{\text{к.з}} + D \cdot \Delta Q_{\text{к.з}} = 7,6 + 0,0129 \cdot 11,25 = 7,75 \text{кВт}$$

Приведені втрати потужності в трансформаторах:

$$\Delta P'_2 = 2\Delta P'_{\text{х.х}} + 2K_3^2 \cdot \Delta P'_{\text{к.з}} = 2 \cdot 1,56 + 2 \cdot 0,58^2 \cdot 7,75 = 8,33 \text{кВт}$$

Втрати енергії в трансформаторах за рік матимемо:

$$\begin{aligned} \Delta W_p &= \Delta P'_{\text{х.х}} \cdot 8760 + K_3^2 \Delta P'_{\text{к.з}} \tau = 1,56 \cdot 8760 + \\ &+ 0,58^2 \cdot 8,33 \cdot 2872 = 21713,55 \text{кВт} \cdot \text{г} \end{aligned}$$

Варіант 2

$$\Delta Q_{\text{х.х}} = S_{\text{н.т}} \frac{I_{\text{х.х}}}{100} = 1000 \frac{1,4}{100} = 14 \text{кВар}$$

						47

$$\Delta Q_{K.3} = S_{H.T} \frac{U_{K.3} \cdot K_3^2}{100} = 1000 \frac{5,5 \cdot 0,74^2}{100} = 30,118 \text{кВар}$$

$$\Delta P'_{X.X} = \Delta P_{X.X} + D \cdot \Delta Q_{X.X} = 2,2 + 0,0129 \cdot 14 = 2,38 \text{кВт}$$

$$\Delta P'_{K.3} = \Delta P_{K.3} + D \cdot \Delta Q_{K.3} = 10,6 + 0,0129 \cdot 30,118 = 10,988 \text{кВт}$$

Приведені втрати потужності в 1-му трансформаторі:

$$\Delta P'_1 = \Delta P'_{X.X} + K_3^2 \cdot \Delta P'_{K.3} = 2,38 + 0,74^2 \cdot 10,988 = 8,397 \text{кВт}$$

Втрати енергії в трансформаторах за повний рік

$$\begin{aligned} \Delta W_p &= \Delta P'_{X.X} \cdot 8760 + K_3^2 \Delta P'_{K.3} \tau = 2,38 \cdot 8760 + \\ &+ 0,74^2 \cdot 8,397 \cdot 2 \cdot 2872,2 = 38146,63 \text{кВт} \cdot \text{г} \end{aligned}$$

Аналіз техніко-економічного порівняння обидвох варіантів в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз техніко-економічного порівняння варіантів ТР

Показники	Потужність, кВА	
	2х630	1000
Капітальні витрати, тис.грн.	820,0	540,0
Вартість річних втрат, тис.грн	152,40	188,60
Амортизація, тис.грн.	52,48	34,56
Обслуговування, тис.грн.	24,60	16,20
Приведені річні витрати, тис.грн.	327,88	304,16

На основі проведеного комплексного аналізу та розрахунку приведених витрат для двох альтернативних варіантів системи електропостачання, можна зробити наступні підсумкові висновки. Встановлено, що щорічні експлуатаційні витрати (враховуючи амортизацію, обслуговування та компенсацію технологічних втрат) за Варіантом №1 є на 27% нижчими порівняно з Варіантом №2. Такий суттєвий економічний ефект досягається завдяки оптимізації топології мережі та вибору енергоефективного силового обладнання, що дозволяє значно скоротити термін окупності проекту. Аналіз виробничих потужностей кондитерського цеху з глазурування показав, що

електричні споживачі розподілені за його площею майже рівномірно. Це створює сприятливі умови для реалізації магістрально-радіального розподілу енергії з мінімальними втратами напруги на найбільш віддалених ділянках.

Згідно з класифікацією виробничих приміщень за ДСТУ та ПУЕ, умови в цеху відповідають категорії Д (негорючі речовини та матеріали в холодному стані). Відсутність вибухопожежонебезпечних зон дозволяє інтегрувати комплектну трансформаторну підстанцію (КТП) безпосередньо всередині виробничого корпусу.

Встановлення КТП безпосередньо в цеху забезпечує:

- Максимальне наближення джерела живлення до центру електричних навантажень (ЦЕН).
- Радикальне скорочення протяжності низьковольтних мереж 0,4 кВ.
- Зниження капітальних витрат на дефіцитну мідну кабельну продукцію.
- Зручність оперативного обслуговування та контролю параметрів мережі персоналом енергослужби.

Таким чином, для подальшої деталізації та виконання графічної частини проекту приймається Варіант №1 як такий, що поєднує високу економічну ефективність із відповідністю всім вимогам промислової безпеки.

						49

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ВН і НН

Для забезпечення надійної експлуатації системи електропостачання кондитерського цеху та коректного вибору комутаційної апаратури виконано розрахунок струмів трифазного короткого замикання в мережі напругою 0,4 кВ. Даний аналіз дозволяє перевірити здатність автоматичних вимикачів розривати надструми та підтвердити селективність їхньої роботи. Схема наведена на рис.5.1, а схема заміщення представлено на рис.5.2.

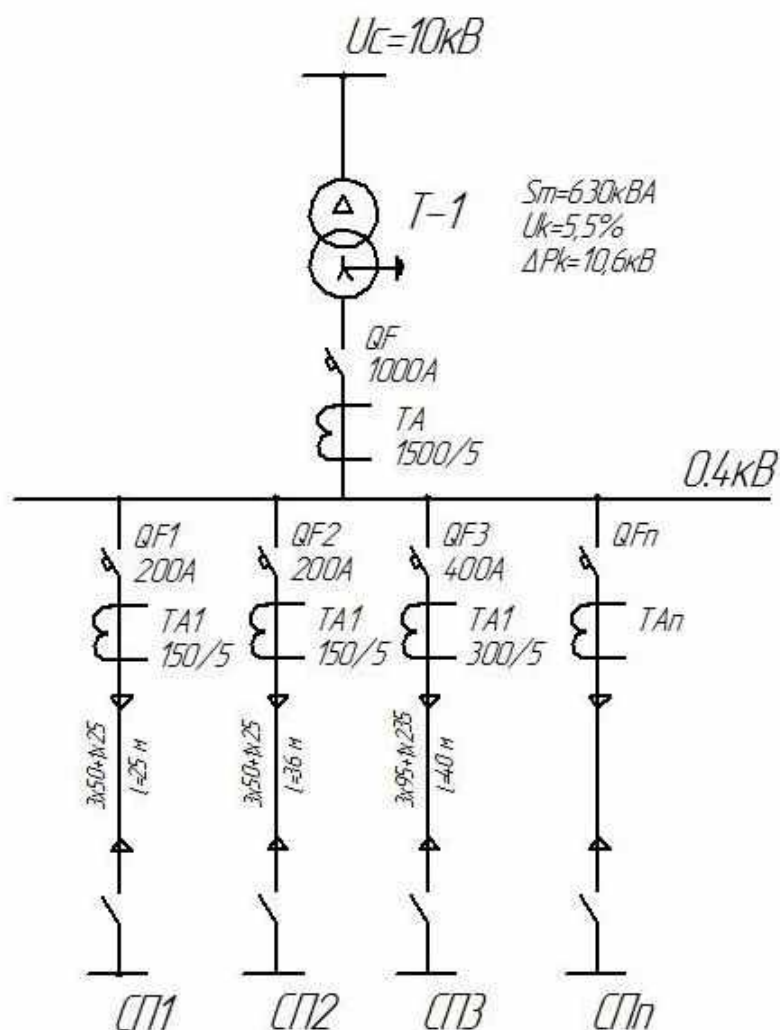


Рисунок 5.1 – Схема для розрахунку струмів КЗ в мережі 0,4 кВ.

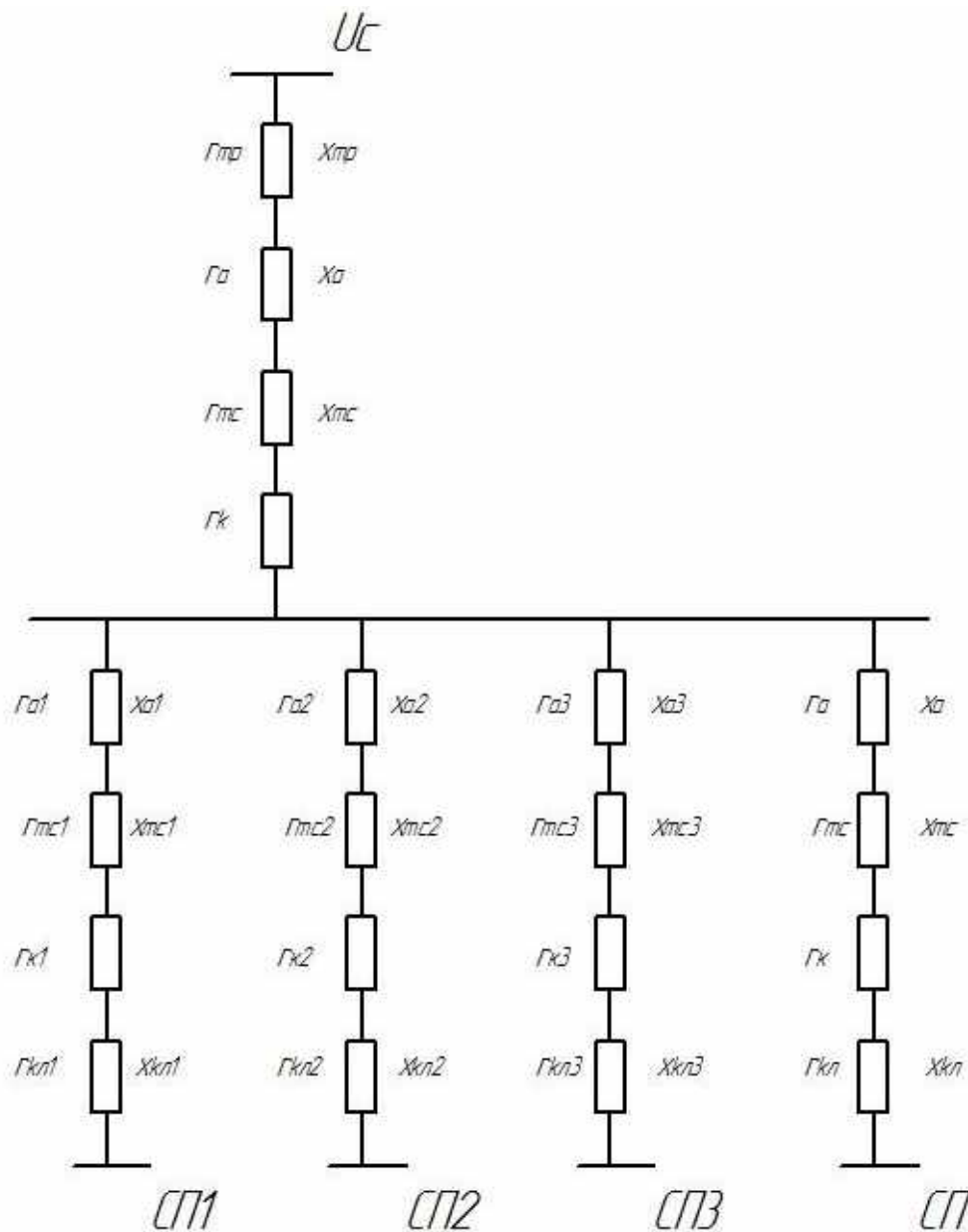


Рисунок 5.2 – Схема заміщення для розрахунку струмів кз цеху з глазурування продукції.

Врахуємо опори обраного цехового Т нижче:

$$R = \Delta P \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.тр}^2} = 10,6 \frac{0,4^2}{630^2} = 2,54 мОм$$

$$X = \sqrt{U_k^2 - \left(\frac{\Delta P k}{S_{ном.тр}} \right)^2} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.тр}} \cdot 10^6 = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100} \right)^2 - \left(\frac{10,6}{630} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^6 = 8,63 мОм$$

Опір автоматичного вимикача складається з опору розціплювача і опору перехідного контакту.

$$r_a = r_{розц} + r_{П.К.} = 0, \quad x_a = x_{розц} = 0,05$$

Визначаємо сумарний опір до КЗ точці К (рис.5.2)

$$r_K = r_{TP} + r_a + r_{TC} + r_{Ш} + r_{К.З} = 2,54 + 0 + 0 + 0,088 + 15 = 17,627 \text{ мОм}$$

$$x_K = x_{TP} + x_a + x_{TC} + x_{Ш} = 8,63 + 0 + 0,05 + 0,628 = 9,31 \text{ мОм}$$

$$Z_K = \sqrt{r_K^2 + x_K^2} = \sqrt{17,627^2 + 9,31^2} = 19,194 \text{ мОм}$$

Визначаємо трифазний струм КЗ в точці К:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} Z_K} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 19,194} = 12,032 \text{ кА}$$

Отже, ударний струм КЗ в точці К:

$$T_a = \frac{x_K}{\omega \cdot r_K} = \frac{9,31}{3,14 \cdot 17,627} = 0,0018 \text{ с}$$

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0018}} = 1,004$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_K^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,004 \cdot 12,032 = 17,084 \text{ кА}$$

Струм однофазного КЗ визначають по наближеній формулі, кА

$$I_K^{(1)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \left(Z_{II} + \frac{Z_T^{(1)}}{3} \right)}$$

Повний опір петлі фаза-нуль включає в себе опір шин, шинопроводів, проводів, кабелів, апаратів і контактів:

$$Z_{II} = \sqrt{r_{II}^2 + x_{II}^2}$$

$$r_{ПК} = r_a + r_{TC} + r_{ШФ} + r_{К.З} + r_{Ш0} = 1,696 + 0 + 0,088 + 15 + 0,175 = 16,96 \text{ мОм}$$

Нульова шина виконана алюмінієвою шиною перерізом 100x80 мм²

$$r_0 = 0,0438 \text{ мОм}, \quad r_{Ш0} = r_0 \ell = 0,0438 \cdot 4 = 0,175 \text{ мОм}$$

$$x_{П_k} = 2x_a + 2x_{TC} + 2x_{Ш} = 2 \cdot 0,05 + 0 + 2 \cdot 0,628 = 1,356 \text{ мОм}$$

						52

Маємо $Z_T^{(1)} = 27 \text{ МОм}$, отже

$$I_K^{(1)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \left(Z_{II} + \frac{Z_T^{(1)}}{3} \right)} = \frac{400}{\sqrt{3} \left(17,014 + \frac{27}{3} \right)} = 8,878 \text{ kA}$$

Таблиця 5.1 – Опори для розрахунку струмів КЗ кондитерського глазурувального цеху.

СП	Р, кВт	I, А	автомат	Р, мОм	Х,мОм	Рконт, мОм	Хконт, мОм	Ркл, мОм/м	Хкл, мОм/м	Дов-на, м
1	98,64	142,5	200/2	0,36	0,28	0,6	0,4	0,67	0,06	25
2	97,03	140,2	200/2	0,36	0,28	0,6	0,4	0,67	0,06	36
3	167,72	242,41	400/5	0,15	0,1	0,4	0,4	0,18	0,06	40
4	107,13	154,8	200/2	0,36	0,28	0,6	0,4	0,67	0,06	45
5	35.11	50,5	70/5	2,4	1,3	1	-	2,08	0,07	50
6	13.12	18,8	50/5	5,5	2,7	1,3	-	3,33	0,07	60
7	8,63	12,5	50/5	5,5	2,7	1,3	-	8,35	0,1	68
8	8,34	11,8	50/5	5,5	2,7	1,3	-	8,35	0	28

Точка КЗ	Сумарний опір до точки КЗ			$I_K^{(3)}$, А	$I_{уд}$, А	$Z^{(1)}$, МОм	$I_K^{(1)}$, кА
	R, МОм	X,МОм	Z,МОм				
К1	33,11	9,91	34,52	6,7	9,42	2,22	3,97
К2	40,23	9,94	41,64	5,6	7,81	2,22	2,76
К3	23,31	9,68	25,03	9,2	12,98	0,13	2,48
К4	46,54	9,86	47,53	4,9	6,85	2,22	2,21
К5	122,68	10,44	123,26	1,9	2,64	4,43	1,99
К6	221,91	11,68	222,26	1,0	1,46	9,88	1,66
К7	589,68	11,68	590,05	0,4	0,55	24,08	1,47
К8	255,79	11,68	256,25	0,9	1,27	24,08	3,54

5.2. Вибір автоматів цехової мережі

Ефективність захисту електромережі кондитерського цеху безпосередньо залежить від коректного підбору комутаційних апаратів. Основним завданням даного етапу є вибір автоматичних вимикачів, які забезпечуватимуть надійне відключення аварійних ділянок при коротких замиканнях (КЗ) та перевантаженнях, зберігаючи при цьому працездатність решти системи.

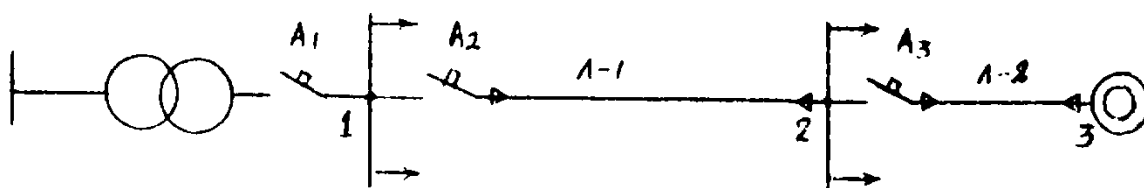


Рисунок 5.3 – Схема цехової мережі для розрахунку і подальшого вибору автоматичних вимикачів.

Вибір автомата А-1

Конструктивне виконання комплектної трансформаторної підстанції (КТП) потужністю 630 кВА передбачає використання шаф введення високої напруги та розподільчих пристроїв низької напруги (РПНН) відповідної серії. Зокрема, у шафах вводу типу КП-6 штатним комутаційним обладнанням є селективні автоматичні вимикачі серії АВМ-20.

З метою забезпечення повної технічної сумісності з конструктивом шафи, уніфікації вузлів підключення та дотримання розрахункових параметрів динамічної стійкості, головний ввідний автомат А-1 обирається аналогічної серії. Використання вимикача АВМ-20 дозволяє реалізувати надійне гальванічне розв'язування та захист силового трансформатора від перевантажень і надструмів на боці 0,4 кВ.

1. Ном. струм ввідного автомата обрано з умови аварійного режиму:

$$I_{A1} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{в.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1274,5 \text{ кА}$$

2. $I_{\text{н,расц}} = 1500 \text{ А}$

3. Струм установки спрацьовування в зоні струмів перевантаження

$$I_{y \text{ тепла}} = 1,25 I_{н.расц} = 1,25 \cdot 1500 = 1875 \text{ А}$$

4. Струм відсічки в зоні КЗ визначаємо по кратності спрацьовування відповідає трикратному значенню номінального струму розчіплювала:

$$I_{y.расц} = 3 \cdot 1500 = 4500 \text{ А.}$$

Можливість налаштування витримки часу при коротких замиканнях, що дозволяє локалізувати аварію на рівні відхідних ліній, не відключаючи всю підстанцію. Для витримки часу дії КЗ приймаємо час 0,45 с

5. Перевіряємо за умовою:

$$4500 > 1,25 \cdot 1274,50$$

$$1875 < 1,25 \cdot 1500$$

6. Перевіряємо на відключення можливого однофазного КЗ :

$$16000 \text{ А} > 15000 \text{ А}$$

Вибір автомата типу А3110 та А3730

Для захисту розподільчих ліній низької напруги та окремих груп електроприймачів у проекті передбачено використання автоматичних вимикачів серії А3100. Дана лінійка апаратів характеризується високою надійністю та широким діапазоном номінальних струмів — від 15 до 600 А, що дозволяє охопити всі рівні навантаження кондитерського цеху.

Залежно від характеру навантаження (освітлювальні чи силові мережі), автомати серії А3100 можуть бути укомплектовані різними типами розчіплювачів: теплові, для захисту від тривалих перевантажень; електромагнітні, для миттєвої відсічки при виникненні великих струмів короткого замикання; комбіновані, для комплексного захисту ліній у всіх аварійних режимах.

Важливою конструктивною особливістю серії А3100 є фіксоване заводське налаштування: у даних апаратах не передбачено можливість ручного регулювання уставок, що вимагає максимально точного попереднього

						55

розрахунку розрахункових струмів лінії при їх виборі. Результати вибору покажемо в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вибір автоматичних вимикачів глазурувального цеху мережі 0,4 кВ.

№ п/п	Рн, кВт	Iн, А	Iн.авт., А	Тип автомата	Iн.розч., А	Iу.тепл, А	Iу.розч., А
1	3	4,341	50	A3110	15	18,75	150
2,3	1,9	2,751	50	A3110	15	18,75	150
4,5	1,1	1,59	50	A3110	15	18,75	150
6,7	2,85	4,123	50	A3110	15	18,75	150
8,9	6,8	9,831	50	A3110	15	18,75	150
10,11	40	57,836	70	A3130	150	187,5	450
СП1	105,24	152,062	200	A3734C	250	312,5	750
12	1,8	2,6041	50	A3110	15	18,75	150
13,14	1,9	2,748	50	A3110	15	18,75	150
15,16	1,1	1,587	50	A3110	15	18,75	150
17,18	2,85	4,116	50	A3110	15	18,75	150
19,2	6,8	9,824	50	A3110	15	18,75	150
21,22	40	57,83	70	A3130	150	187,5	450
СП2	103,31	149,29	200	A3734C	250	312,5	750
23,24	3	4,338	50	A3110	15	18,75	150
25,26	1,9	2,748	50	A3110	15	18,75	150
27,28	1,1	1,591	50	A3110	15	18,75	150
29,3	2,85	4,123	50	A3110	15	18,75	150
31,32	3	4,341	50	A3110	15	18,75	150
33,34	40	57,83	70	A3130	150	187,5	450
СП3	178,42	257,81	400	A3734B	400	500	1200
35,36	6	8,677	50	A3110	15	18,75	150
7,38	1,9	2,748	50	A3110	15	18,75	150
39,4	1,1	1,589	50	A3110	15	18,75	150
41,42	2,85	4,123	50	A3110	15	18,75	150
43,44	6,8	9,831	50	A3110	15	18,75	150
45,46	40	57,84	70	A3130	150	187,5	450

Продовження таблиці 5.3

СП4	115,88	167,52	200	A3734C	250	312,5	750
47	7	10,19	100	A3734C	150	200	360
48,49	1,9	2,752	50	A3110	15	18,75	150
50,51	1,1	1,591	50	A3110	15	18,75	150
52,53	2,85	4,19	50	A3110	15	18,75	150
53,55	6,8	9,831	50	A3110	15	18,75	150
56,57	5	7,23	50	A3110	15	18,75	150
СП5	39,06	56,51	100	A3734C	150	187,50	450
58	1	1,448	50	A3110	15	18,75	150
59	1	1,448	50	A3110	15	18,75	150
60,61,62	1	1,448	50	A3110	15	18,75	150
63,64,65	0,6	0,871	50	A3110	15	18,75	150
66	2	2,889	50	A3110	15	18,75	150
67,68	2	2,889	50	A3110	15	18,75	150
СП6	14,14	20,451	100	A3734C	150	187,50	450
69,70,71	1	1,451	50	A3110	15	18,75	150
72,73,74	1	1,452	50	A3110	15	18,75	150
75,76,77	1	1,451	50	A3110	15	18,75	150
СП7	9,05	13,071	100	A3734C	150	187,50	450
78,79	1	1,452	50	A3110	15	18,75	150
80,81	0,5	0,731	50	A3110	15	18,75	150
82,83	2	2,886	50	A3110	15	18,75	150
84,85	2	2,886	50	A3110	15	18,75	150
86,87,88	2	2,886	50	A3110	15	18,75	150
СП8	11,58	16,72	100	A3734C	150	187,50	450

Для забезпечення стабільності електропостачання всього об'єкта та мінімізації площі відключення при аваріях, на головних вводах та міжсекційних зв'язках застосовуються селективні автоматичні вимикачі.

На відміну від стандартних апаратів, ці вимикачі базуються на використанні сучасних напівпровідникових (електронних) розчіплювачів. Це забезпечує: високу точність спрацювання – електронна схема моніторингу параметрів мережі є значно чутливішою за традиційні механічні аналоги;

регульовану витримку часу – зоні короткого замикання селективні вимикачі дозволяють налаштовувати час спрацювання в діапазоні 0,1 – 0,4 с. Це дає змогу нижчерозташованим апаратам захисту локалізувати пошкодження на конкретній лінії, зберігаючи живлення на шинях підстанції.

5.3. Вибір трансформаторів струму та напруги

Для забезпечення точного обліку споживаної електричної енергії, контролю параметрів мережі та коректної роботи пристроїв релейного захисту, на вводах низької напруги 0,4 кВ комплектної трансформаторної підстанції (КТП) передбачено встановлення вимірювальних трансформаторів струму (ТС).

Трансформатори струму виконують роль проміжних ланок, що масштабують великі первинні струми введення до значень, безпечних для підключення вимірювальних приладів (лічильників активної та реактивної енергії, амперметрів) та електронних розчіплювачів автоматичних вимикачів. Нижче виконаємо вибір трансформатору струму 0,4 кВ, враховуючи навантаження по фазах.

Таблиця 5.4 – Вторинне навантаження ТС на вводі 0,4 кВ.

Прилад	Тип	Навантаження фази, В·А		
		А	В	С
Амперметр	ЕЗ77	0,1	-	-
Лічильник активної та реактивної енергії	НІК-2303І	0,05	0,05	0,05
Всього		0,15	0,05	0,05

Таблиця 5.5 – Вторинне навантаження ТС на лініях.

Прилад	Тип	Навантаження фази, В·А		
		А	В	С
Амперметр	Е377	0,1	-	-
Лічильник активної та реактивної енергії	НІК 2303 АРПЗТ	0,05	0,05	0,05
Всього		0,15	-	0,15

Сумарний опір підключених приладів та з'єднувальних проводів не повинен перевищувати номінальну потужність вторинної обмотки ТС:

$$Z_2 = Z_{np} + R_{пров} + R_{конт}$$

де Z_{np} – опір приладів, що послідовно підключені до вторинних кіл

$$Z_{прил} = S_{прил} / I_{2НОМ}^2 = 0,15/5^2 = 6 \cdot 10^{-3}$$

$R_{конт}$ – опір контактів, в даних розрахунках слід прийняти $R_K = 0,05 \dots 0,1$ Ом; врахувати $R_{пров}$ – опір проводів. Додано вимогу щодо класу 0,5, що є стандартом для комерційного обліку. І перевіримо виконання умови:

$$Z_{прил} + R_{пров} + R_K \leq Z_{2НОМ}$$

Так, $Z_{np} = 0,4 - 0,006 - 0,1 = 0,387$ Ом. Врахуємо довжину ліній 0,4 кВ до споживачів 3,5-5 м і розрахунковий переріз проводів матимемо:

$$F = \frac{0,0175 \cdot 3}{0,387} = 0,131 \text{ мм}^2$$

$$z_{np} = \frac{0,0175 \cdot 3}{2,5} = 0,0211 \text{ Ом}$$

$$Z_2 = 0,131 + 0,0211 + 0,1 = 0,27 \text{ Ом}$$

$$Z_2 \leq Z_{2НОМ}, \text{ тому маємо } 0,27 \text{ Ом} \leq 0,4 \text{ Ом}$$

На лініях до СП, встановлюємо ТС типу ТСА і ТСВ.

На основі проведених розрахунків максимальних робочих струмів на вводах 0,4 кВ та лініях живлення найбільш потужних споживачів кондитерського цеху, було здійснено підбір відповідних вимірювальних трансформаторів струму (ТС). Критеріями вибору слугували номінальний струм, клас точності для комерційного обліку (0,5S) та здатність витримувати струми короткого замикання.

Результати технічних характеристик обраних апаратів, включаючи їхні типи, коефіцієнти трансформації та номінальну потужність вторинного навантаження, систематизовано та представлено у Таблиці 5.4 «Відомість вибору трансформаторів струму».

						59

Таблиці 5.4 – Відомість вибору трансформаторів струму.

Призначення	Номер точки обліку	I _p , А	Тип ТС	I _н , А	K _{тс}
ввід 1 сш РУ	КО1	1273	ТСВ-44-50	1200	240
ввід 2 сш РУ	КО2	1273	ТСВ-44-50	1200	240
СП1	ТО1	142,6	ТСВ3-18-20	150	30
СП2	ТО2	140,4	ТСВ3-18-20	150	30
СП3	ТО3	242,6	ТСВ-44-50	250	50
СП4	ТО4	154,9	ТСВ3-18-20	150	30
СП5	ТО5	50,6	ТСВ-17-20	60	12
СП6	ТО6	18,8	ТСА-14	20	4
СП7	ТО7	12,6	ТСА-14	20	4
СП8	ТО8	11,87	ТСА-14	20	4

У межах даного проекту розрахунків та встановлення трансформаторів напруги (ТН) у мережі низької напруги 0,4 кВ не проводилися. Це зумовлено наступними технічними факторами. Пряме ввімкнення приладів обліку: Сучасні електронні лічильники електричної енергії, що застосовуються в мережах 380/220 В, конструктивно розраховані на безпосереднє підключення до фазних напруг мережі. Номінальна ізоляція та входні ланцюги напруги лічильників витримують лінійні напруги до 400-450 В без використання проміжних знижувальних трансформаторів.

Також, спрощення схеми РПНН – відмова від ТН у низьковольтних ланцюгах дозволяє спростити конструкцію розподільчого пристрою, зменшити габарити шаф та підвищити надійність системи за рахунок мінімізації кількості допоміжних елементів.

Згідно з нормами ПУЕ, використання ТН у мережах 0,4 кВ є доцільним лише у специфічних випадках (наприклад, для живлення ланцюгів автоматики з іншим рівнем напруги або при необхідності гальванічної розв'язки вимірювальних систем), що не є необхідним для типового кондитерського виробництва.

Таким чином, схема вимірювання та обліку в проекті реалізована за класичною трифазною схемою з використанням лише трансформаторів струму та лічильників прямого ввімкнення за напругою.

5.4 Вибір системи комплексного обліку електроенергії АСКОЕ

Комерційний облік електроенергії в кондитерському цеху з глазурування продукції є правовою основою для здійснення фінансових розрахунків між електропостачальною організацією та споживачем. Оскільки цех функціонує як окрема юридична особа, вузли обліку встановлюються на межі балансової належності електромереж.

У проекті двотрансформаторної підстанції 10/0,4 кВ реалізовано схему встановлення двох комерційних лічильників на вводах 0,4 кВ (після силових трансформаторів). Згідно з вимогами нормативних документів (Кодексу комерційного обліку), клас точності лічильників для промислових споживачів такого типу має бути не нижче 0,5S. Це забезпечує мінімальну похибку при вимірюванні значних обсягів енергії, що проходять через трансформатори 630 кВА.

Для внутрішнього моніторингу, аналізу питомих витрат енергії на одиницю готової продукції (глазурованих виробів) та виявлення технологічних втрат передбачена система технічного обліку. Точність – для технічних лічильників використовується клас точності 1,0. Деталізація – облік організовано не лише на головних вводах, а й на окремих енергоємних ділянках: лініях глазурування, компресорних установках та темперувальних машинах. Це дозволяє впроваджувати стратегію енергоменеджменту та оперативно реагувати на нераціональне використання ресурсів. Схему топології обліку наведено на рисунку 5.2.

Для автоматизації збору даних та інтеграції в сучасний енергоринок України 2026 року в проекті застосовано трьохрівневу систему АСКОЕ

						61

(Автоматизована система контролю та обліку електроенергії) на базі обладнання НІК та програмного комплексу NovaSyS.

Структура системи включає три ієрархічні рівні:

1. Нижній рівень (Рівень вимірювання): Представлений інтелектуальними багатофункціональними лічильниками серії НІК (наприклад, НІК 2303). Вони здійснюють вимірювання активної та реактивної енергії у двох напрямках, фіксують миттєві значення потужності, напруги та струму, а також зберігають графіки навантаження.

2. Середній рівень (Рівень збору та передачі даних): Використовується контролер збору даних (УСПД) типу КС-03. Він у задані інтервали часу опитує лічильники через інтерфейси RS-485 або PLC-модеми, накопичує інформацію та передає її на сервер за допомогою захищених каналів зв'язку (GPRS/Ethernet).

3. Верхній рівень (Інформаційно-обчислювальний): Програмне забезпечення NovaSyS. Це аналітичний центр системи, який формує звіти, автоматично передає дані енергопостачальнику, візуалізує споживання у реальному часі та дозволяє здійснювати прогнозування витрат.

Інформаційне ядро системи АСКОЕ кондитерського цеху з глазування продукції базується на клієнт-серверній архітектурі, що забезпечує високу швидкість обробки даних та надійність їх зберігання. Центральний вузол системи представлений сервером бази даних під управлінням сучасних систем управління базами даних (СУБД), таких як **PostgreSQL** або **MS SQL Server**. Вибір цих СУБД зумовлений їхньою здатністю ефективно працювати з великими масивами часових рядів (графіками навантаження).

Безпосередня взаємодія з даними та керування системою здійснюється через програмний комплекс **NovaSyS Enterprise**. Програмне забезпечення підтримує багатокористувацький режим, що дозволяє організувати автоматизовані робочі місця (АРМ) для головного енергетика, бухгалтера та фахівців з енергоменеджменту з різними рівнями прав доступу.

						62

○ Візуалізація навантаження: Контроль поточного споживання потужності в режимі «online». Система сигналізує про перевищення встановлених лімітів, що дозволяє уникнути штрафних санкцій від енергокомпанії.

○ Діагностика: Постійний аналіз повноти та вірогідності даних. Програма маркує недостовірну інформацію та повідомляє про спроби несанкціонованого втручання в роботу лічильників.

○ Генерація звітів довільної складності (відомості споживання, графіки навантаження, звіти за тарифами).

○ EDI (Electronic Data Interchange): Автоматизоване формування макетів даних та їх передача захищеними каналами зв'язку до інформаційних систем оператора системи розподілу (ОСР) та постачальника енергії згідно з вимогами чинного ринку електроенергії.

Впровадження NovaSyS Enterprise дозволяє кондитерському цеху перейти до моделі динамічного енергоменеджменту. Завдяки детальному аналізу графіків навантаження з'являється можливість оптимізувати роботу енергоємних агрегатів (наприклад, перенесення циклів розігріву темперувальних машин на години дії нічного тарифу), що забезпечує додаткове зниження витрат на електроенергію до 10 – 15%.

На базі інтелектуальних лічильників серії НК, промислових контролерів КС-03 та спеціалізованого програмного комплексу NovaSyS Enterprise розроблено трирівневу автоматизовану систему комплексного обліку електроенергії (АСКОЕ). Архітектура системи, представлена на рис. 5.3 (б), забезпечує повну автоматизацію процесів збору, обробки та передачі енергетичної інформації, що відповідає сучасним вимогам цифрової енергетики.

Центральною ланкою середнього рівня системи є пристрій збору та передачі даних (УСПД) КС-03 (рис. 5.4). Контролер спроектований для роботи у складних промислових мережах і виконує наступні критичні функції:

- Інтеграція інтерфейсів: Збір та накопичення інформації з трифазних лічильників через цифрові інтерфейси RS-232/485.



Рис.5.4- Контролер збору даних КС 03.

- Масштабованість: Можливість роботи як безпосередньо з приладами обліку, так і через проміжні комутаційні контролери, що актуально при значній протяжності цехових мереж.

- Дистанційний моніторинг: Передача накопичених пакетів даних на сервер АСКОВЕ через високошвидкісну мережу Ethernet з використанням захищених протоколів передачі.

- Автономність: Пристрій володіє власною енергонезалежною пам'яттю для зберігання графіків навантаження у разі тимчасової відсутності зв'язку з сервером.

Для реалізації комерційного обліку на вводах 0,4 кВ обрано мікропроцесорний лічильник НІК 2303 І. Даний прилад є універсальним рішенням для трифазних три- та чотирипровідних мереж змінного струму.

Ключові технічні переваги та характеристики приладу:

- Висока точність: Клас точності 0,5S для активної енергії дозволяє мінімізувати похибки при комерційних розрахунках.
- Багатотарифність: Підтримка до 12 тарифів та 24 часових зон, що дозволяє підприємству оптимізувати витрати, використовуючи «нічний» тариф для найбільш енергоємних процесів глазурування.
- Пофазний моніторинг: Можливість детального обліку параметрів по кожній фазі (напруга, струм, потужність), що важливо для контролю симетрії навантаження трансформаторів.
- Енергонезалежність: Наявність двох елементів живлення для годинника реального часу гарантує збереження міток часу в графіках навантаження протягом всього терміну експлуатації.

- Надійність: Міжповірочний інтервал тривалістю 16 років свідчить про високу стабільність метрологічних характеристик.

Для забезпечення максимальної безпеки та точності в мережі 0,4 кВ використано триелементну схему підключення. Струмові кола –підключення здійснюється через трансформатори струму (трансформаторна схема), що дозволяє вимірювати значні струми навантаження цеху; кола напруги – реалізовано пряму схему ввімкнення (без ТН), що спрощує конструкцію щитів обліку. Дана конфігурація є стандартною для трифазних чотирипровідних мереж з глухозаземленою нейтраллю і забезпечує коректну роботу АСКОЕ в усіх режимах роботи обладнання. Схема їх підключення показана на рис. 5.5.

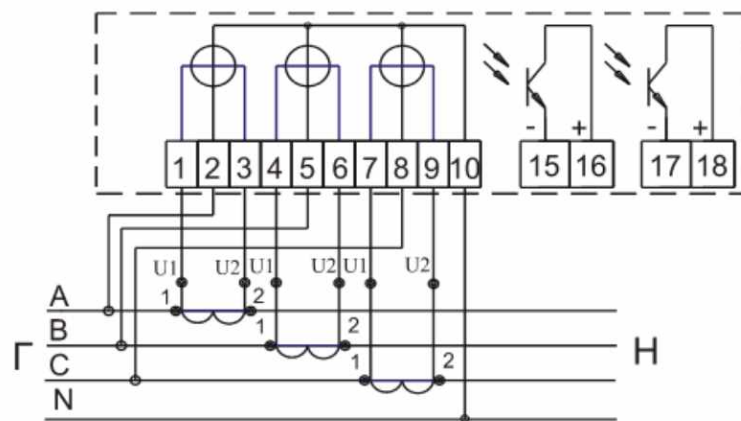


Рисунок 5.5 - Схема підключення лічильника НІК до чотирьохпроводної мережі кондитерського цеху з глазурування продукції.

РОЗДІЛ 6

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОНДИТЕРСЬКОГО ЦЕХУ З ГЛАЗУРОВАННЯ ПРОДУКЦІЇ

Сучасні кондитерські крафтові підприємства належать до об'єктів із підвищеними критеріями щодо якості світлового середовища. Оскільки виготовлення солодошів передбачає високу точність візуального контролю, використання неякісних або пульсуючих джерел світла є неприпустимим. Це негативно впливає на кондиційність товарів, провокує передчасне виснаження персоналу та підвищує ризики виробничого травматизму.

При проектуванні штучної ілюмінації для цеху глазурування слід спиратися на специфіку технологічних операцій. Робочі зони характеризуються нестабільними показниками температурного режиму та рівня вологості, що диктує особливі вимоги до захищеності електрообладнання. Створення інженерного рішення для таких ділянок базується на синергії галузевих особливостей і загальноприйнятих санітарних регламентів праці.

У даному розділі проаналізовано перспективні конфігурації освітлювальних мереж, адаптованих до харчової галузі. Окрему увагу приділено методам оптимізації витрат за допомогою впровадження енергоощадних технологій та інтелектуальних засобів керування світлом.

6.1 Аналіз та підбір джерел штучного освітлення для цеху з глазурування продукції

Найбільш поширеним представником газорозрядних пристроїв у промисловості є ртутна люмінесцентна лампа (ЛЛ). Її конструкція базується на герметичній скляній колбі, внутрішній простір якої насичений парами ртуті та інертними газами. Внутрішня поверхня скла вкрита шаром люмінофора — спеціальної речовини, що трансформує невидиме ультрафіолетове випромінювання, яке виникає під час розряду, у видимий спектр світла.

						67

Електродна система та механізм зносу: функцію емісії електронів виконують вольфрамові спіралі, оброблені активною пастою на основі оксидів лужноземельних металів. Цей шар критично важливий для підтримки стабільного тліючого розряду. Проте в процесі експлуатації, особливо при частих циклах увімкнення-вимкнення, відбувається термічна деградація та випаровування активної маси. Наслідком цього процесу є потемніння країв колби («ефект чорних кілець»), що свідчить про критичний знос електродів та наближення завершення ресурсу лампи.

Через явище негативного диференційного опору, люмінесцентна лампа (рис 6.1, а), потребує обов'язкового підключення через пускорегулювальну апаратуру (ПРА) або баласт, що обмежує силу струму.

- Класичний електромагнітний баласт (ЕМПРА): Являє собою індуктивний дросель у поєднанні зі стартером. Попри конструкційну простоту, він має суттєві технічні недоліки: значні теплові втрати (до 25-30% потужності), низькочастотний акустичний шум (гул) та високий коефіцієнт пульсації світлового потоку (100 Гц). Останній чинник провокує швидку втому зору та може створювати небезпечний стробоскопічний ефект на обертових механізмах лінії глазурування.

- Сучасний електронний баласт (ЕПРА): Це високочастотна інтелектуальна схема, що працює в діапазоні 20–60 кГц. Застосування ЕПРА дозволяє: повністю усунути мерехтіння світла; забезпечити миттєвий безшумний пуск; подовжити ресурс лампи на 15–20% завдяки щадному режиму прогріву електродів; зменшити масу та габарити світильника.

Для забезпечення різних технологічних потреб (наприклад, оцінки якості покриття шоколадною глазур'ю або пакування готової продукції) використовуються лампи з різною колірною температурою:

1. ЛБ (біле світло): Універсальний варіант для загальних цехових зон.
2. ЛД / ЛДЦ (денне світло з покращеною передачею кольору): Необхідні для зон візуального контролю якості.

3. КЛЛ (компактні моделі): Мають зігнуту форму трубки та часто оснащуються інтегрованим електронним баластом із цоколями E27/E14, що дозволяє монтувати їх у стандартні патрони замість енергоємних ламп розжарювання.

Світлові показники ЛЛ критично залежать від температури навколишнього середовища. Стабільний світловий потік гарантується в діапазоні $+18...+25^{\circ}\text{C}$. У зонах кондитерського цеху з підвищеною температурою (наприклад, поблизу печей) рекомендується використовувати амальгамні модифікації ламп, світловіддача яких у гарячому середовищі на 25% вища за стандартні аналоги.



Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд стандартної трубчастої люмінесцентної лампи:

а) трубчаста люмінесцентна лампа, б) виробниче приміщення

Конструктивною основою люмінесцентної лампи (ЛЛ) є вольфрамові катоди, на які нанесено шар активної пасти з оксидів лужноземельних елементів. Ця емісійна речовина знижує роботу виходу електронів, забезпечуючи підтримання стійкої дуги при відносно низьких температурах. Відсутність або критичний знос цього покриття призводить до термічного руйнування вольфрамових ниток.

У процесі використання, зокрема під час інтенсивних комутацій (увімкнення/вимкнення), спостерігається ерозія та випаровування активного

шару. Наслідком старіння є депонування часток металу на внутрішній стінці колби, що візуально проявляється як темний наліт біля цоколів. Це не лише знижує світловий потік, а й свідчить про вичерпання технічного ресурсу приладу.

Принцип генерації світла базується на виникненні низькотемпературної плазми в ртутному середовищі. Потік електронів ініціює інтенсивне ультрафіолетове (УФ) випромінювання. Шар люмінофора, нанесений на скло, виконує функцію вторинного перетворювача: він поглинає енергію УФ-спектру та перевипромінює її у видимій області. Регулюючи хімічний склад цього покриття, інженери отримують різні відтінки світла — від теплого жовтого до холодного денного.

Характерною рисою газорозрядних приладів є від'ємний диференціальний опір. Ця властивість зумовлює лавиноподібне зростання сили струму, що без зовнішнього обмеження призвело б до руйнування лампи. Для стабілізації робочого режиму використовують пускорегулювальну апаратуру (ПРА) двох основних конфігурацій:

Електромагнітне ПРА (ЕМПРА): реалізоване у формі індуктивного дроселя, що працює в парі з неоновим стартером (рис. 6.2 а). Має наступні переваги: висока надійність схеми та низька собівартість компонентів. Але й недоліки: значний коефіцієнт пульсації (100 Гц), що провокує зоровий дискомфорт та небезпечний стробоскопічний ефект. Крім того, така схема характеризується інерційним запуском (до 3 секунд) та додатковими втратами потужності в самому дроселі через нагрівання обмоток.

Електронне ПРА (ЕПРА): являє собою високочастотний інвертор, який перетворює стандартну напругу мережі у високочастотний сигнал (20 – 60 кГц). Має переваги: повна відсутність візуального мерехтіння та акустичного шуму. Завдяки високій частоті підвищується світлова віддача лампи на 10 – 15% при одночасному зниженні енергоспоживання. ЕПРА забезпечує «м'який» прогрів

електродів за 0,5–1 с, що суттєво сповільнює вигорання емісійної пасти та подовжує термін служби освітлювального приладу.



а)

б)

Рисунок 6.2 – Електромагнітний (а) та електронний баласт (б)

Класифікація та спектральні характеристики люмінесцентних джерел. Газорозрядні прилади дозволяють генерувати оптичне випромінювання з різноманітними колориметричними параметрами. Завдяки варіативності хімічного складу люмінофора, виробники створюють лампи з широким діапазоном кольорних температур: від м'яких теплих тонів до холодного денного спектра. Вибір конкретного відтінку регламентується галузевими нормами залежно від функціонального призначення об'єкта.

У промислових зонах кондитерських підприємств найчастіше застосовуються наступні типи трубчастих ламп:

- ЛБ (біле світло): базовий варіант для загальних виробничих площ.
- ЛТБ (тепло-біле): забезпечує комфортне середовище в зонах відпочинку персоналу.
- ЛХБ (холодно-біле): доцільне для приміщень з високим рівнем тепловиділення.
- ЛД та ЛДЦ (денне світло): характеризуються покращеним індексом кольоропередачі, що критично важливо для дільниць візуальної дефектоскопії готової продукції (наприклад, перевірки глянцевої шоколадної глазури).

Люмінесцентні джерела класифікують за форм-фактором на дві основні категорії: лінійні (трубчасті) та компактні моделі.

Лінійні (колбові) лампи: являють собою скляний циліндр, параметри якого визначаються довжиною, діаметром трубки та конфігурацією цоколя. Типовим прикладом є стандартна модель потужністю 20 Вт (вітчизняне маркування «ЛБ-20»), яка за світлотехнічними характеристиками відповідає поширеному європейському стандарту T8 18W.

Фігурні та малогабаритні модифікації: для випадків, коли монтаж довгих лінійних світильників обмежений габаритами обладнання або архітектурними особливостями, застосовують лампи складної геометричної форми:

Кільцеві: потужністю від 20 до 40 Вт, забезпечують безтіньове освітлення робочої зони;

U-подібні: мають підвищену концентрацію світлового потоку при компактних розмірах (діапазон потужностей 1 5– 80 Вт);

W-подібні: спеціалізовані джерела (стандартно 30 Вт) для специфічних освітлювальних установок.

Використання таких конфігурацій дозволяє оптимізувати розміщення світлових приладів, наближаючи їх до центру електричних навантажень без загрози захаращення технологічного простору кондитерського цеху.

Компактні люмінесцентні лампи. Конструктивною особливістю компактних моделей (рис. 6.3, б) є використання вигнутої розрядної трубки, що значно зменшує загальні габарити приладу. Такі джерела світла оснащуються специфічними типами цоколів, які забезпечують надійну фіксацію та електричний контакт. КЛЛ характеризуються підвищеною механічною міцністю та ергономічністю. Завдяки наявності адаптованих різьбових з'єднань, вони легко інтегруються в традиційні освітлювальні установки без необхідності модернізації патронів. Ресурс роботи таких пристроїв є досить високим і становить від 6 до 15 тисяч годин залежно від режиму експлуатації.



а



б

Рисунок 6.3 – Типи компактних люмінесцентних ламп

а) інтегровані компактні лампи з вбудованим баластом і стартером, доступні з цоколем E14, E27 і E40 для монтажу в стандартні побутові та промислові патрони; б) зовнішній вигляд КЛЛ без вбудованого стартера 13...36 Вт для промислових та побутових світильників

Переваги та технічні недоліки люмінесцентних джерел. При проектуванні системи освітлення цеху з глазурування продукції необхідно враховувати баланс між енергоефективністю та експлуатаційними обмеженнями ЛЛ. До безумовних переваг цих ламп належать низьке споживання енергії, варіативність спектральних характеристик (можливість адаптації під циркадні ритми) та тривалий життєвий цикл.

Однак повноцінне інженерне обґрунтування потребує врахування ряду критичних недоліків:

- складність пускових режимів: необхідність використання додаткових комутаційних вузлів;
- енергетичні втрати в ПРА: баластні пристрої можуть поглинати до 30% загальної потужності світильника;
- термозалежність: параметри світлової віддачі суттєво коливаються при зміні температури повітря в цеху;

- деградація світлового потоку: поступове зниження яскравості до завершення терміну придатності;
- наявність пульсацій: коливання інтенсивності світла, що негативно впливає на візуальний комфорт.

Слід зазначити, що сучасні технології постійно розвиваються: конструкції пускорегулювальних апаратів вдосконалюються, що дозволяє мінімізувати паразитні втрати енергії та покращити якість світлового середовища.

Світлотехнічні та електричні параметри люмінесцентних ламп значною мірою залежать від температурного режиму роботи, що обумовлено особливостями протікання ртутного газорозрядного процесу всередині колби. Температура поверхні лампи, у свою чергу, визначається умовами навколишнього середовища та режимом тепловідведення. Для забезпечення стабільної роботи джерела світла температура повітря в зоні експлуатації повинна перебувати в межах від 5 до 50 °С. При цьому паспортні значення світлового потоку та енергетичної ефективності гарантуються виробниками лише за температури навколишнього середовища від 18 до 25 °С. Відхилення від оптимального температурного інтервалу призводить до зниження світловіддачі, погіршення умов запалювання та скорочення ресурсу роботи лампи.

Для виробничих приміщень із підвищеними температурними показниками доцільним є застосування амальгамних люмінесцентних ламп, які характеризуються кращою стабільністю світлотехнічних параметрів у складних умовах експлуатації. Такі джерела світла можуть ефективно використовуватись у цехах з температурою повітря в межах 5...30 °С, а також у технологічних зонах, де температура сягає 30...60 °С. За високотемпературного режиму амальгамні лампи здатні формувати світловий потік приблизно на 25 % більший порівняно зі стандартними люмінесцентними аналогами. Це

пояснюється стабілізацією парціального тиску ртуті в процесі роботи та зменшенням впливу перегріву на параметри електричного розряду.

Одним із характерних недоліків трубчастих люмінесцентних джерел світла є наявність пульсацій світлового потоку, які виникають під час живлення ламп через електромагнітний пускорегулювальний апарат. Коливання освітленості можуть негативно впливати на зорове сприйняття, викликати швидку втому працівників та створювати небезпечний стробоскопічний ефект у приміщеннях з обертовими механізмами. З цієї причини однолампові світильники доцільно встановлювати переважно у допоміжних або неробочих зонах. У багатолампових освітлювальних приладах пульсація значно зменшується завдяки зміщенню фаз світлового потоку окремих ламп.

Для мінімізації стробоскопічного ефекту в електроосвітлювальних установках рекомендується здійснювати підключення сусідніх світильників до різних фаз трифазної мережі живлення. Ефективним технічним рішенням також є використання електронних пускорегулювальних апаратів, які забезпечують живлення ламп струмом підвищеної частоти. Це дозволяє суттєво знизити коефіцієнт пульсації освітленості, підвищити енергоефективність системи освітлення та покращити умови праці персоналу. Крім того, електронні баласты сприяють швидшому запуску ламп, зменшенню шуму під час роботи та збільшенню терміну експлуатації джерел світла.

До недоліків люмінесцентних систем освітлення також належить необхідність спеціалізованої утилізації відпрацьованих ламп, оскільки вони містять ртуть та її сполуки. Порушення правил поводження з такими відходами може призвести до забруднення навколишнього середовища та негативного впливу на здоров'я людини. У компактних люмінесцентних лампах вміст ртуті зазвичай становить 2–3 мг, що є співставним із кількістю ртуті у медичному термометрі. Водночас у сучасних амальгамних конструкціях ртуть перебуває переважно у зв'язаному стані, що знижує ризик її потрапляння в атмосферу у разі механічного пошкодження колби. У зв'язку з цим питання організації

збору, транспортування та переробки використаних люмінесцентних ламп є важливим складником екологічної безпеки підприємств та енергоефективних систем освітлення.

Для організації місцевого освітлення у виробничих приміщеннях, адміністративних будівлях та допоміжних зонах доцільно застосовувати галогенні лампи (рис. 6.4). За конструктивним виконанням і принципом функціонування вони подібні до традиційних ламп розжарювання, однак відрізняються наявністю в газовому середовищі колби незначної кількості галогенів або їхніх хімічних сполук. Найчастіше використовуються бром, хлор, фтор чи йод. Наявність таких компонентів забезпечує перебіг так званого галогенного циклу, завдяки якому зменшується осадження частинок вольфраму на внутрішній поверхні колби. У результаті цього підтримується прозорість скла та стабільність світлового потоку протягом усього терміну експлуатації джерела світла.

Галогенні лампи мають низку переваг у порівнянні зі звичайними лампами розжарювання. До основних позитивних характеристик належать підвищена світлова віддача, менше споживання електричної енергії при однаковому рівні освітленості, а також збільшений ресурс роботи, який може перевищувати показники ламп розжарювання у 2–4 рази. Крім того, такі джерела світла забезпечують формування яскравого білого світла з високим індексом передачі кольору, що особливо важливо для виробничих процесів, де необхідне точне розрізнення відтінків і деталей. Важливою перевагою є також можливість ефективного спрямування світлового потоку, що дозволяє використовувати галогенні лампи для акцентного або локального освітлення робочих зон.

Принцип роботи галогенного джерела світла базується на взаємодії випарованого вольфраму з галогенами, які містяться в колбі. Під час нагрівання нитки розжарення атоми вольфраму випаровуються та утворюють леткі сполуки з галогенами. Ці сполуки циркулюють усередині колби й при

досягненні області з високою температурою поблизу спіралі розкладаються на складові компоненти. Частина атомів металу повторно осідає на нитці розжарення, що сприяє відновленню її товщини та зменшує швидкість руйнування. Завдяки цьому процесу підтримується стабільність параметрів лампи, а температура нитки може бути вищою, ніж у звичайних ламп розжарювання. Підвищення температури спіралі забезпечує наближення спектра випромінювання до природного денного світла.

У сучасних галогенних лампах нового покоління (рис. 6.4, а) застосовуються спеціальні інтерференційні покриття, які частково відбивають інфрачервоне випромінювання назад до нитки розжарення. Завдяки цьому частина теплової енергії повторно використовується для підтримання високої температури спіралі, що сприяє підвищенню енергоефективності та збільшенню світловіддачі. Такі технологічні рішення дозволяють зменшити непродуктивні теплові втрати та покращити експлуатаційні характеристики освітлювальних приладів.

За величиною робочої напруги галогенні лампи поділяються на високовольтні та низьковольтні. Перший тип працює безпосередньо від мережі змінного струму напругою 220 В, тоді як низьковольтні моделі, як правило, розраховані на 12 В. Останні вважаються більш безпечними в умовах підвищеної вологості, тому часто використовуються у ванних кімнатах, виробничих приміщеннях із вологим середовищем та декоративних системах освітлення. Крім підвищеного рівня електробезпеки, 12-вольтні лампи характеризуються збільшеним строком служби, який може досягати 4000 годин, тоді як ресурс високовольтних аналогів зазвичай становить близько 2000 годин. Разом із тим їх використання потребує встановлення знижувального трансформатора або електронного перетворювача напруги, а також окремої системи підключення провідників.

Незважаючи на значні переваги, галогенні лампи мають і певні недоліки, які необхідно враховувати під час проєктування освітлювальних систем.

						77

Основним недоліком є висока температура нагрівання колби, що може досягати 500 °С. За таких умов особливого значення набуває дотримання вимог пожежної безпеки та правильний вибір місця встановлення світильників. Дотик до працюючої або щойно вимкненої лампи може спричинити серйозні термічні опіки. Крім того, навіть холодну колбу небажано торкатися голими руками, оскільки жирові забруднення, що залишаються на поверхні скла, під впливом високої температури обвуглюються та утворюють локальні перегріви. Це може призвести до появи тріщин або руйнування колби під час роботи. У зв'язку з цим монтаж галогенних ламп рекомендується виконувати у чистих тканинних рукавичках або за допомогою серветки, а забруднену поверхню необхідно очищати спиртовим розчином.



а)



б)

Рисунок 6.4 – Зовнішній вигляд та приклади галогенних ламп: а) низьковольтна галогенна лампа з відбивачем (10 Вт, 12 В); б) високовольтна галогенна лампа (40 Вт, 230 В)

Останнім часом широкого поширення набули галогенні лампи з вбудованим відбивачем. У таких конструкціях значна частина інфрачервоного випромінювання віддзеркалюється спеціальним напівпрозорим покриттям, що дозволяє зменшити тепловий вплив на освітлювані об'єкти та підвищити комфорт експлуатації. Завдяки цьому подібні джерела світла активно

використовуються у торговельних залах, адміністративних приміщеннях, виставкових комплексах та системах локального декоративного освітлення.

Галогенні джерела світла характеризуються підвищеною чутливістю до коливань напруги в електричній мережі. Різкі перепади або короточасні перенапруги можуть призводити до прискореного руйнування нитки розжарення та суттєвого скорочення ресурсу роботи лампи. У зв'язку з цим для забезпечення надійної та стабільної експлуатації доцільно застосовувати стабілізатори напруги або інші засоби захисту електроживлення. Особливо актуальним це є для промислових підприємств і адміністративних будівель, де можливі значні зміни параметрів мережі внаслідок роботи потужного електрообладнання.

Для досягнення максимальної світлової ефективності галогенні лампи рекомендується експлуатувати у номінальному режимі потужності, визначеному виробником. Разом із тим конструкція таких джерел світла допускає використання світлорегуляторів, що дозволяє плавно змінювати рівень освітленості залежно від потреб технологічного процесу або умов експлуатації приміщення. При тривалому зниженні потужності галогенний цикл може порушуватися, внаслідок чого лампа фактично починає працювати аналогічно звичайній лампі розжарювання. Це супроводжується осіданням частинок вольфраму на внутрішній поверхні колби та поступовим зменшенням світлового потоку. Для відновлення нормального функціонування галогенного циклу достатньо на декілька хвилин увімкнути лампу на повну потужність. У такому режимі відбувається очищення поверхні колби та часткове повернення вольфраму на нитку розжарення.

Одним із недоліків галогенних ламп є підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання у спектрі світлового потоку. Надлишок ультрафіолету може негативно впливати на органи зору людини, а також спричиняти прискорене старіння деяких матеріалів та декоративних покриттів. З метою зниження шкідливого впливу сучасні освітлювальні прилади часто

оснащуються спеціальними захисними фільтрами або кварцовим склом із поглинанням ультрафіолетового випромінювання. Без використання відповідного захисту тривале застосування таких джерел світла у приміщеннях постійного перебування людей є небажаним.

Незважаючи на наявність певних експлуатаційних недоліків, люмінесцентні та галогенні лампи тривалий час залишалися одними з найбільш ефективних джерел штучного освітлення. У порівнянні з традиційними лампами розжарювання вони характеризуються вищою світловіддачею, меншим споживанням електричної енергії та покращеними світлотехнічними показниками. Саме ці переваги забезпечили їх широке використання у виробничих, адміністративних, торговельних і побутових системах освітлення.

Сучасним етапом розвитку енергоефективних технологій освітлення стало широке впровадження світлодіодних джерел світла (рис. 6.5). Світлодіодні енергозберігаючі лампи призначені для використання як у внутрішніх приміщеннях, так і в зовнішніх освітлювальних установках. Такі джерела світла поєднують компактність конструкції, високу механічну міцність, надійність роботи та значну енергоефективність. Світлодіодні лампи забезпечують високу якість освітлення, характеризуються насиченістю кольорів і стабільністю світлового потоку протягом тривалого періоду експлуатації.

Принцип роботи білих світлодіодів базується на використанні напівпровідникових структур зі сполуками галію, індію та нітрогену. Основою випромінювання є синій світлодіод, світло якого частково перетворюється люмінофором у жовтогарячий спектральний діапазон. Комбінація синього та жовтого випромінювання сприймається людським оком як біле світло. Завдяки високій ефективності перетворення електричної енергії у світлову сучасні світлодіоди можуть досягати світловіддачі до 330 лм/Вт, що суттєво перевищує показники люмінесцентних ламп та ламп розжарювання.

Важливою перевагою світлодіодних ламп є відсутність потреби у використанні громіздких електромагнітних дроселів та пускорегулювальних апаратів. Це дозволяє зменшити втрати електроенергії в системі освітлення та підвищити загальну енергоефективність установки. У порівнянні з традиційними джерелами світла світлодіодні лампи споживають у декілька разів менше електроенергії при однаковому рівні освітленості, а строк їх служби може бути у 8–10 разів більшим. Додатковою перевагою є простота монтажу та можливість безпосередньої заміни більшості стандартних ламп без необхідності суттєвої модернізації освітлювальної мережі.



Рисунок 6.5 – Приклади світлодіодних ламп з цоколем Е-27, напруга 220 В
 а) світлодіодна лампа високої яскравості (1 CREE світлодіод потужністю 3 Вт, яскравість – 120 лм); б) світлодіодна лампа високої яскравост (5 CREE світлодіод потужністю 1Вт і яскравістю – 300 лм)

До основних переваг світлодіодних джерел світла слід віднести їх високу енергоефективність, екологічну безпечність та значний експлуатаційний ресурс. На відміну від люмінесцентних ламп, світлодіодні прилади не містять ртуті та інших токсичних речовин, що значно спрощує процес утилізації та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище. Завдяки цьому LED-технології відповідають сучасним вимогам енергозбереження та концепціям декарбонізації енергетичного сектору.

Однією з важливих характеристик світлодіодних ламп є низький рівень тепловиділення. Значна частина спожитої електричної енергії перетворюється

безпосередньо у світловий потік, а не у теплову енергію, як це відбувається у лампах розжарювання. Це дозволяє суттєво скоротити втрати електроенергії та підвищити загальний коефіцієнт корисної дії системи освітлення. Зменшення теплового навантаження особливо важливе для виробничих та адміністративних приміщень, де підтримання оптимального мікроклімату впливає на комфорт працівників і витрати на кондиціонування повітря.

Світлодіодні лампи працюють практично безшумно та не створюють акустичних перешкод під час експлуатації. Завдяки цьому вони можуть використовуватись у приміщеннях з підвищеними вимогами до рівня шуму, зокрема в навчальних аудиторіях, медичних закладах, адміністративних будівлях та лабораторіях. Крім того, сучасні LED-джерела формують рівномірний світловий потік із мінімальним коефіцієнтом пульсації, що позитивно впливає на зоровий комфорт людини та знижує втому під час тривалої роботи.

Важливою перевагою світлодіодного освітлення є практична відсутність ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання. Це дозволяє використовувати такі джерела світла для освітлення приміщень, у яких зберігаються чутливі матеріали, документи або декоративні елементи, що можуть втрачати свої властивості під впливом ультрафіолету. Відсутність шкідливого випромінювання також підвищує рівень безпеки для здоров'я людини.

Сучасні світлодіодні лампи характеризуються широким діапазоном робочої напруги, який зазвичай становить від 80 до 230 В. Це забезпечує стабільну роботу навіть за умов нестабільного електроживлення та знижує ймовірність виходу освітлювального обладнання з ладу при перепадах напруги в електромережі. Додатковою перевагою є висока механічна міцність конструкції. Більшість LED-ламп виготовляються з полікарбонатних матеріалів, які значно стійкіші до механічних пошкоджень у порівнянні зі скляними колбами традиційних джерел світла. Це підвищує рівень

електробезпеки та зменшує ризик травмування у разі випадкового пошкодження освітлювального приладу.

Світлодіодні технології забезпечують значну економію електричної енергії та мають тривалий строк служби, який у багатьох випадках перевищує 30–50 тисяч годин роботи. Завдяки цьому зменшуються витрати на технічне обслуговування, заміну ламп та експлуатацію освітлювальних систем у цілому. Такі характеристики роблять світлодіодні джерела світла перспективним напрямом модернізації освітлювальних установок промислових підприємств, адміністративних будівель та об'єктів комунальної інфраструктури.

Разом із тим варто зазначити, що окремі типи сучасних люмінесцентних ламп все ще можуть забезпечувати вищий світловий потік порівняно з деякими бюджетними світлодіодними аналогами. З цієї точки зору люмінесцентні джерела світла тривалий час залишалися ефективним рішенням для створення високих рівнів освітленості при відносно невеликих витратах електроенергії. Однак розвиток LED-технологій, удосконалення конструкції світлодіодних модулів та підвищення їх світловіддачі поступово зменшують цю різницю.

Незважаючи на окремі відмінності у світлотехнічних характеристиках, світлодіодні лампи мають суттєві переваги у питаннях надійності, безпеки експлуатації та екологічності. Вони не містять токсичних речовин, характеризуються стійкістю до механічних впливів, мають великий ресурс роботи та забезпечують зниження споживання електроенергії. Саме тому світлодіодне освітлення сьогодні вважається одним із найбільш перспективних напрямів розвитку сучасних енергоефективних систем освітлення.

6.2 Можливості підвищення енергоефективності освітлювальних систем у кондитерському цеху з глазурування продукції

Освітлювальні установки є одним із суттєвих споживачів електричної енергії, особливо у виробничих цехах харчової промисловості, адміністративних будівлях та допоміжних приміщеннях підприємств. У

кондитерському виробництві система освітлення повинна забезпечувати не лише нормативний рівень освітленості, а й комфортні та безпечні умови праці персоналу, точність виконання технологічних операцій і належний контроль якості продукції. У зв'язку з цим питання підвищення енергоефективності освітлювальних установок є важливим напрямом зниження загального електроспоживання підприємства та складовою сучасної політики енергозбереження і декарбонізації.

Основними заходами щодо скорочення витрат електричної енергії в системах освітлення є такі:

1. Заміна джерел світла на більш енергоефективні типи. Одним із найбільш ефективних способів енергозбереження є перехід на сучасні джерела світла з вищою світловіддачею, яка визначається відношенням світлового потоку до споживаної потужності та вимірюється в лм/Вт. Заміна ламп розжарювання на люмінесцентні або світлодіодні дозволяє суттєво знизити споживання електроенергії при забезпеченні однакового рівня освітленості. Найбільш перспективним рішенням є застосування LED-технологій, які характеризуються високою енергоефективністю, тривалим строком служби та мінімальними експлуатаційними витратами.

2. Підвищення коефіцієнта корисної дії освітлювальних приладів. Зменшення втрат світлового потоку може бути досягнуте шляхом оптимального вибору кількості світильників, їх конструктивного виконання та раціонального розташування у приміщенні. Використання сучасних світильників із високим коефіцієнтом відбиття та ефективними оптичними системами дозволяє забезпечити необхідний рівень освітленості при меншій встановленій потужності. Важливим фактором також є своєчасне очищення плафонів та відбивачів від пилу і забруднень, що сприяє підтриманню стабільних світлотехнічних характеристик системи освітлення.

3. Підвищення ефективності використання відбитого світла у приміщенні.

Значний вплив на освітленість робочої поверхні мають коефіцієнти відбиття стін, стелі та інших внутрішніх поверхонь приміщення. Використання світлих тонів оздоблення дозволяє збільшити рівень відбитого світлового потоку та покращити рівномірність освітлення. Перефарбування поверхонь у світлі кольори із коефіцієнтом відбиття понад 20 % може забезпечити економію електричної енергії в межах 5–15 % без додаткового збільшення потужності освітлювальної установки. Такий захід є відносно простим у реалізації та економічно доцільним для виробничих і адміністративних приміщень.

4. Автоматизація керування освітлювальними системами. Суттєвий ефект енергозбереження може бути досягнутий шляхом впровадження автоматизованих систем керування освітленням. До таких систем належать датчики руху, таймери, реле часу, фотодатчики та інтелектуальні системи регулювання освітленості залежно від рівня природного освітлення. Автоматичне керування дозволяє уникнути нераціонального використання електроенергії у періоди відсутності персоналу або достатнього природного освітлення. Ефективність цього заходу залежить від режиму роботи приміщень, графіка експлуатації обладнання та особливостей технологічного процесу, тому для точної оцінки економії доцільно виконувати спеціальні техніко-економічні розрахунки.

5. Використання сучасної пускорегулювальної апаратури. Застосування електронних пускорегулювальних апаратів замість електромагнітних дроселів дозволяє зменшити втрати електроенергії, знизити коефіцієнт пульсації світлового потоку та підвищити надійність роботи освітлювальних установок. Електронна ПРА забезпечує плавний запуск ламп, зменшує навантаження на електромережу та збільшує строк служби джерел світла. Особливо ефективним використання таких пристроїв є у системах люмінесцентного освітлення виробничих приміщень.

6. Комплексна модернізація освітлювальних установок. Повна заміна світильників передбачає не лише встановлення нових джерел

світла, а й оптимізацію схеми їх розміщення, підвищення коефіцієнта корисної дії світильників та вдосконалення системи розподілу світлового потоку. Для визначення очікуваного рівня економії електричної енергії необхідно виконати світлотехнічний розрахунок освітленості для нової системи освітлення. Найчастіше такі розрахунки проводяться методом коефіцієнта використання світлового потоку або точковим методом. Це дозволяє забезпечити відповідність нормативним вимогам щодо освітленості робочих місць та обґрунтувати доцільність впровадження енергоефективних заходів.

Таким чином, впровадження сучасних енергоощадних технологій в освітлювальних установках кондитерського цеху дозволяє не лише знизити витрати електроенергії, а й покращити умови праці, підвищити надійність роботи систем освітлення та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Комплексний підхід до модернізації освітлення є важливою складовою підвищення енергоефективності промислового підприємства загалом.

Розглянемо існуючу систему освітлення кондитерського цеху з глазурування продукції. Освітлювальна установка виконана із застосуванням люмінесцентних світильників типу ПВЛМ 1×80 та ПВЛМ 1×40 з коефіцієнтом корисної дії світильників $\eta_{\text{св}} = 52 \%$. У світильниках використовуються люмінесцентні лампи типу ЛД-80 та ЛД-40 зі світловіддачею $\eta_{\text{л}} = 75 \text{ лм/Вт}$. Режим роботи виробничого приміщення – однозмінний, з 8:00 до 17:00 години. Тривалість роботи освітлення становить у середньому 9 годин на добу. Кількість встановлених світильників ПВЛМ 1×80 становить 205 шт., а ПВЛМ 1×40 – 13 шт.

Для оцінки потенціалу енергозбереження виконаємо розрахунок річного споживання електричної енергії та визначимо можливий ефект від впровадження енергоефективних заходів. Отже, впровадження комплексу енергоефективних заходів у системі освітлення кондитерського цеху з глазурування продукції дозволяє суттєво зменшити річне споживання

електричної енергії. Найбільший ефект забезпечується модернізацією світильників, переходом на сучасні джерела світла та впровадженням автоматизованих систем керування освітленням. Реалізація зазначених заходів не лише знижує експлуатаційні витрати підприємства, а й підвищує енергоефективність виробництва, покращує умови праці персоналу та сприяє зменшенню викидів парникових газів відповідно до сучасних принципів декарбонізації промисловості.

Для оцінки ефективності діючої системи освітлення кондитерського цеху виконано аналіз базового варіанту. На даний момент освітлення забезпечується світильниками серії ПВЛМ із коефіцієнтом корисної дії на рівні **52%**. У проекті задіяні лампи типу ЛД 80 та ЛД 40 зі світловою віддачею 75 лм/Вт. Виробничий процес організовано в одну зміну (9 годин на добу).

1. Визначення базових енергетичних показників

Установлена потужність системи освітлення при врахуванні кількості світильників та потужність ламп, із врахуванням втрат в електромагнітних ПРА (приблизно 20% від потужності лампи):

$$P_{уст} = (n \cdot P_1 + n_2 \cdot P_2) 20\% = (205 \cdot 80 + 13 \cdot 40) 1,2 = (16400 + 520) 1,2 = 20,3 \text{ кВт}$$

Річне енергоспоживання (W_{рік}):

При роботі 250 днів на рік протягом 9 годин:

$$W_{рік} = P_{уст} \cdot t \cdot N_{днів} = 20,3 \cdot 9 \cdot 250 = 45675 \text{ кВт год/рік}$$

2. Розрахунок потенційної економії за технічними заходами

Нижче наведено заходи з енергозбереження та очікуваний ефект від їх впровадження:

- Заміна ламп на високоефективні (типу LD 36/84):**

Завдяки підвищенню світлової віддачі до 93 лм/Вт та зниженню номінальної потужності апаратів, економія складе:

$$\Delta W_1 = 0,25 \cdot W_{рік} = 0,25 \cdot 45675 = 11418 \text{ кВт год/рік}$$

- Регулярне обслуговування (чистка світильників):**

						87

Коефіцієнт запасу через забруднення складає близько 3%. Економія від підтримки чистоти відбивачів:

$$\Delta W_2 = W_{\text{рік}} \cdot 0,03 = 45675 \cdot 0,03 = 1370,25 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

- **Оздоблення приміщення (підвищення коефіцієнта відбиття):**

Покращення відбиваючих властивостей поверхонь (стін та стелі) до 0,5 дозволяє знизити потребу у штучному світлі на 10%:

$$\Delta W_3 = W_{\text{рік}} 0,1 = 4567,5 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

- **Автоматизація управління:**

Впровадження датчиків присутності та фотореле для вимкнення світла в зонах з достатнім природним освітленням дає ефект близько 10%:

$$\Delta W_4 = 4567,5 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

- **Перехід на електронні ПРА (ЕПРА):**

Зменшення паразитних втрат у пускорегулювальній апаратурі та підвищення ККД системи на 8-12%:

$$\Delta W_5 = W_{\text{рік}} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{старий}}}{\eta_{\text{новий}}}\right) \approx 3654 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

- **Модернізація світильників (ККД 75%):**

Заміна корпусів світильників ПВЛМ на сучасні з ККД = 75%:

$$\Delta W_6 = W_{\text{рік}} \cdot \left(1 - \frac{0,52}{0,75}\right) = 45675 \cdot 0,306 = 13976 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

3. Сумарний енергозберігаючий ефект

Загальний резерв економії електричної енергії при комплексному впровадженні вищезазначених заходів для кондитерського цеху складе:

$$\Delta W_{\Sigma} = \sum \Delta W_i$$

Враховуючи взаємовплив факторів, реальний обсяг енергозбереження оцінюється у 35 - 45% від початкового рівня споживання. Кожен із

запропонованих етапів модернізації має високу економічну доцільність і сприяє зниженню собівартості продукції за рахунок зменшення частки енерговитрат.

Виходячи з уточнених даних базового споживання:

$$W_{\text{рік}} = 45675 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}.$$

Ефект від модернізації ламп та впровадження ЕПРА. Це основний захід. Заміна старих ламп ЛД 80 з електромагнітними ПРА (де втрати в дроселі сягають 20 -30%) на сучасні трубки TL-D з електронними баластами дає реальне зниження споживання приблизно на 25%.

$$W_1 = 45,675 \cdot 0,75 = 34,256 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}.$$

Ефект від підвищення ККД світильників та чистки:

Врахуємо, що нові світильники краще спрямовують світловий потік. Це дозволяє забезпечити ту саму освітленість при меншому часі роботи або меншій кількості задіяних точок. Це дає ще біля **10%** економії.

$$W_2 = 34,256 \cdot 0,90 = 30,830 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}.$$

Організаційні та автоматизаційні заходи:

Фарбування стін у світлі кольори (підвищення коефіцієнта відбиття) та встановлення датчиків або фотореле для використання природного світла дозволяють зменшити час використання штучного освітлення ще на **5 - 8%**.

$$W_{\text{фінальне}} = 30,830 \cdot 0,93 = 28,672 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}.$$

Підсумкові показники

- Початкове споживання: 45,675 кВт·год/рік.
- Оптимізоване споживання: 28,672 кВт·год/рік.
- Реальна сумарна економія: 17,003 кВт·год/рік.
- Відносний ефект: 37,2%.

Діюча система освітлення на базі світильників ПВЛМ із люмінесцентними лампами першого покоління та електромагнітними пускорегулювальними апаратами є морально застарілою. Низький ККД світильників (52%) та значні втрати у дроселях (до 30%) створюють суттєвий потенціал для енергозбереження.

Визначено, що найбільш вагомим фактором зниження енергоспоживання є перехід на сучасні високоефективні люмінесцентні лампи з електронними баластами (ЕПРА). Це не лише зменшує встановлену потужність мережі, а й покращує якість світлового середовища за рахунок усунення стробоскопічного ефекту та акустичного шуму, що безпосередньо впливає на безпеку праці в цеху глазурування.

Розрахунковим шляхом встановлено, що впровадження комплексного підходу — включаючи модернізацію обладнання, автоматизацію керування через фотореле та покращення відбиваючих властивостей поверхонь — дозволяє знизити річне енергоспоживання системи освітлення з 45 675 кВт·год до 28 672 кВт·год.

Реальний показник енергозбереження після впровадження запропонованих заходів становить 37,2%. При діючих тарифах на електроенергію для промислових підприємств це забезпечує значне зниження експлуатаційних витрат та дозволяє окупити капіталовкладення в модернізацію протягом короткого терміну (1,2–1,5 року).

Окрім прямої економічної вигоди, запропоновані рішення сприяють зменшенню екологічного навантаження та відповідають сучасним концепціям енергоменеджменту харчових підприємств, спрямованим на раціональне використання ресурсів.

Таким чином, розроблений проект модернізації є технічно виправданим та економічно ефективним, що дозволяє рекомендувати його до впровадження на підприємстві.

						90

ВИСНОВКИ

У представленій кваліфікаційній роботі розроблено комплексну систему електрозабезпечення та впроваджено стратегію підвищення енергоефективності кондитерського цеху з глазурування виробів. За результатами проведеного проектування можна зробити наступні висновки. Зовнішнє живлення об'єкта організовано від розподільчої підстанції (РП) на напрузі 10 кВ через кабельну лінію протяжністю 600 метрів. Визначення розрахункових навантажень ділянки виконано за методом упорядкованих діаграм, що дозволило отримати достовірні дані для вибору силового обладнання.

З метою оптимізації режимів роботи мережі та зниження втрат потужності обґрунтовано встановлення КУ напругою 0,4 кВ із сумарною потужністю 170 кВАр. Запропонована система забезпечує автоматичне регулювання потужності протягом доби, що сприяє підтриманню високого коефіцієнта потужності та розвантаженню трансформаторного обладнання.

На основі аналізу розрахованих струмів короткого замикання проведено ретельний вибір та перевірку комутаційних апаратів і захисних пристроїв за умовами термічної та динамічної стійкості. Порівняльний аналіз варіантів внутрішнього електророзподілу дозволив обрати найбільш раціональну схему живлення споживачів.

У спеціальному розділі, присвяченому енергоефективності, розроблено заходи з оптимізації системи штучного освітлення. Встановлено, що заміна застарілих освітлювальних приладів типу ПВЛМ (з низьким ККД 52%) та ламп серії ЛД на сучасні енергоощадні аналоги типу TL-D 36/84 (світлова віддача 93 лм/Вт) із застосуванням електронних пускорегулювальних апаратів забезпечує суттєве скорочення витрат електроенергії. Реалізовані заходи дозволяють значно знизити собівартість продукції за рахунок економії енергоресурсів.

Проектні рішення базуються на положеннях чинних нормативних актів, ПУЕ та галузевих інструкцій. Кожне технічне рішення підтверджене відповідним економічним обґрунтуванням.

						91

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А.Ю. Орлович, П.Г. Плешков, Т.В.Величко. Электричне обладнання підстанцій систем електропостачання. Навчальний посібник.-Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2009.
2. Б.Н.Неклепаев, И.П.Крючков. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Електропостачання промислових підприємств. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (електропостачання заводу) для студентів V-VI курсів спеціальності 8.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання. – Кіровоград 2004.
4. Автоматизація контролю і управління якістю електроенергії: методичні вказівки для вивчення курсу “Автоматизація контролю і управління якістю електричної енергії” для студентів V-VI курсів спеціальності 8.090603 “Електротехнічні системи електроспоживання” / Укл.: канд. техн. наук, доц. П.Г. Плешков, канд. техн. наук, доц. А.Ю. Орлович, асистент О.А. Козловський. – Кіровоград: КДТУ, 2001 р. – 97 с.
5. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.
6. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – К.: Кіровоградський Національний технічний університет, 2009. – 495 с.
7. <http://www.impexmash.com>
8. <https://kiroe.com.ua/>