

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Оцінка методів забезпечення ефективності системи електропостачання виробництва хлібобулочних виробів**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕТм-61
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Цимбалістий Р. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Мовчан Л. Т

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Коваль В. П.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Цимбалістому Роману Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оцінка методів забезпечення ефективності системи електропостачання виробництва хлібобулочних виробів»

Керівник роботи Мовчан Леонід Тимофійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «12» листопада 2025 року № 4/7-966

2. Термін подання студентом завершеної роботи грудень 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план основного виробництва в існуючих осях виробничого корпусу підприємства; характеристика та перелік наявних потужностей; електроживлення основного виробництва здійснити від існуючих потужностей КТП; однолінійна схема електропостачання підприємства; існуючі схеми живлення електроприймачів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Генеральний план підприємства хлібобулочних виробів 1л. ф – А1

2. Схема силової мережі підприємства 1л. ф – А1

3. Схема однолінійна електричних з'єднань ВРП 1л. ф – А1

4. Схема однолінійна електричних з'єднань РП1 та РП2 1л. ф – А1

5. Схема енергоефективного використання вторинних ресурсів на підприємстві 1л. ф – А1

6. Схема електричних з'єднань освітлювальної мережі 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Теслюк В.М., проректор		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., зав. кафедри		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	13.10.2025	
2	Аналітичний розділ	17.10.2025	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	03.11.2025	
4	Проектно-конструкторський розділ	17.11.2025	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	24.11.2025	
6	Висновки	28.11.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	08.12.2025	
8	Оформлення графічної частини	15.12.2025	

Студент

(підпис)

Цимбалістий Р. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Мовчан Л. Т.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Цимбалістий Р. М. Оцінка методів забезпечення ефективності системи електропостачання виробництва хлібобулочних виробів. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм–61. - Тернопіль : ТНТУ, 2025.

Стор. - 72; рис. - 6; табл. - 18; креслень - 7; джерел - 34 додатків -.

У кваліфікаційній роботі проведена оцінка методів забезпечення ефективності системи електропостачання хлібопекарського виробництва шляхом використання одного з поновлюваних джерел енергії для компенсації власних потреб в електроенергії денно-вечірньої пори доби із залученням інформації з графіків (профілів) навантаження підприємства.

Сформульована і досліджена математична модель активного моніторингу споживання енергетичних носіїв хлібо-булочним виробництвом, що дає можливість управління енергоспоживанням підприємства у поєднанні з поточним обсягом виробництва.

Дослідженням встановлено, що оптимізація перерізу кабелю електроживлення споживача є найнадійнішою та найпростішою технологією енергозбереження, що забезпечує прийнятний рівень рентабельності інвестицій.

Освітлювальна мережа виробництва спроектована з врахуванням технологічної запиленості повітря борошном та вибрана із захистом IP54. Кабельно-провідникова продукція для з'єднання елементів електромережі розрахована на основі потужності споживачів. Розрахована і вибрана апаратура захисту споживачів, розподільних пристроїв, силових шаф і щитів освітлення.

Ключові слова: ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, РОЗРАХУНОК, ПОНОВЛЮВАНІ ЕНЕРГОРЕСУРСИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Оцінка енергомісткості технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів	9
1.2 Використання альтернативних джерел енергії у хлібопекарській галузі	13
1.3 Висновки до розділу	16
2 РОЗРАХУНКОВО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Дослідження ефективності використання енергетичного потенціалу на хлібо-булочному виробництві	18
2.2 Дослідження зменшення втрат в електромережі оптимізацією січення кабелю	25
2.3 Дослідження переваг дахової сонячної електростанції в системі електропостачання підприємства	30
2.4 Висновки до розділу	37
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Початкові дані для розрахунку СЕП	39
3.2 Розробка системи ЕП підприємства	39
3.3 Обчислення електропостачання цеху з випуску продукції	40
3.4 Обчислення центру електричних навантажень	46
3.5 Розрахунок системи освітлення	47
3.6 Визначення навантаження щитків освітлення	51
3.7 Визначення потужності ввідно-розподільчого пристрою	52
3.8 Розрахунок навантаження трансформаторної підстанції	53
3.9 Компенсація реактивної потужності на підприємстві	53
3.10 Вибір перерізу жил кабелів та проводів	55
3.11 Висновки до розділу	57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	59

4.1 Мікроклімат виробничого середовища та його вплив на продуктивність праці	59
4.2 Вимоги щодо вибухо- і пожежобезпеки при роботі на електроустановках	62
4.3 Організація цивільного захисту на підприємствах агропрому	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69

ВСТУП

Актуальність теми. Хлібопекарська промисловість у складі харчової галузі України на нинішньому етапі має ті ж проблеми, що й уся галузь: зниження прибутків через ріст цін у монополізованих секторах постачальників сировини; значний відтік спеціалістів у тіньовий бізнес до вищих зарплат сьогодні, а не в перспективі; дефіцит коштів для планової модернізації технологічних установок виробництва хлібо-булочних виробів [5, 7, 18].

Повномасштабна військова агресія сусідньої країни викликала негативні процеси у хліборобській галузі. Основні проблеми – це зниження виробництва й споживання хлібобулочних виробів, а також нерівномірний розвиток галузі у різних регіонах країни [9, 21, 26].

Актуальною є проблема зменшення затрат енергоресурсів на одиницю виробленої продукції. Ефективними рішеннями є придатність технологічного обладнання хлібопекарного виробництва до залучення таких вторинних джерел енергії як тепло відхідних газів на газових пальниках, тепло спечених хлібо-булочних виробів при їх вистиганні, залучення надлишкової пари до нагріву інгредієнтів продукції [14, 30, 31].

Автоматизація виробничих операцій в хлібопеченні залишається актуальною при впровадженні інноваційних технологій на всіх стадіях виготовлення продукції: від приготування борошняно-інгредієнтних сумішей згідно різноманітних рецептур до пакування готової продукції [10, 12, 21].

Ефективність систем електропостачання на підприємствах, особливо харчової промисловості, сприяє здешевленню кінцевого продукту і впливає на добробут споживачів. Зменшення втрат в електромережах методом оптимізації їх пропускної здатності, залучення природних джерел енергії, таких як сонячна, до генерування електроенергії, просте зменшення міжопераційних простоїв технологічного електроустаткування залишається актуальною задачею.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є оцінка методів забезпечення ефективності системи електропостачання виробництва хлібо-булочних виробів для підвищення стійкості підприємства в умовах ринкових відносин. Зменшення споживання електроенергії суттєво впливає на

залучення технологічних інновацій, стабільність роботи підприємства і, в кінцевому підсумку, на кваліфікаційний склад й добробут персоналу.

Поставлена в кваліфікаційній роботі мета досяжна при умові вирішення таких задач:

- аналіз математичних моделей індексу рентабельності інвестицій при унормуванні розмірів кабельно-провідникової продукції, збільшення витрат електроенергії при випіканні дрібно-штучних виробів;
- аналіз заходів щодо зменшення міжопераційних простоїв технологічного електроустаткування та втрат електроенергії в електромережах;
- аналіз заходів щодо підвищення рентабельності хлібопекарського підприємства методом залучення дешевих природних джерел енергії, зважаючи на добову специфіку інтенсивного використання енергії при випіканні хлібопродукції;
- розрахунок навантажень споживачів електроенергії на основі вибраної схеми електропостачання;
- розрахунок розподільчої електромережі підприємства й вибір її елементів.

Об'єкт дослідження - процес забезпечення ефективності системи електропостачання хлібопекарського підприємства й методів підвищення рентабельності його господарської діяльності.

Предмет дослідження - особливості профілів навантаження хлібопекарського підприємства й використання природних джерел енергоресурсів для покриття витрат електроенергії у світлу пору доби.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Отримала подальший розвиток оцінка методів забезпечення ефективності систем електропостачання хлібопекарських підприємств.
- Запропоновані для дослідження моделі індексу рентабельності інвестицій при дослідженні зменшення втрат електроенергії, а також збільшення її витрат електроенергії при міжопераційних простоях.

Практичне значення отриманих результатів.

Використання джерел енергії природного походження з врахуванням добової специфіки профілів навантаження хлібопекарського підприємства сприяє стійкості підприємства в ринкових умовах й забезпеченню ефективності системи

електропостачання.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя [13].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (34 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 72 стор., 18 табл., 6 рис.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Оцінка енергомосткості технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів

Оцінка енергомосткості хлібопекарського виробництва включає аналіз споживання електроенергії, тепла та інших енергоресурсів на всіх етапах: від замісу тіста та розстоювання до випікання та охолодження, що дозволяє визначити питому енергоемність (на 1 т хліба), виявити «вузькі» енергетично-інтенсивні ділянки (наприклад, печі та охолоджувачі) й оптимізувати процес для зниження витрат, що є ключовим для підвищення ефективності та екологічності виробництва.

Енергомосткість хлібопекарського підприємства формується, як правило, за рахунок використання природного газу та електроенергії:

- природний газ (біля 84% енергоспоживання): Використовується переважно для роботи печей та систем опалення.
- електроенергія (до 16% енергоспоживання): забезпечує роботу силового обладнання (тісто змішувальні машини, подільники) та допоміжні системи.

Аналіз літературних джерел [31; 32] показує, що енергомосткість основних етапів процесу виробництва хлібобулочних виробів можливо подати поетапно:

- випікання (найбільш енергоемний етап): енергоемність роботи печей можливо оцінити діапазоном 26,5 % – 42,4 % від загального споживання енергії підприємством: безпосередньо на нагрівання тіста витрачається лише 15–20% енергії печі, тоді як значна частина йде на висушування та попередній розігрів обладнання;
- заморожування (при виробництві напівфабрикатів): за використанням технології перерваного випікання з наступним заморожуванням (part-baked) підвищується енергомосткість процесу в 2,2 раза порівняно з традиційним способом.
- приготування тіста: містить механічне оброблення; замішування; розстоювання (заквашування), що вимагає велике енергоспоживання для підтримування температурного режиму.

Щодо основних показників витрат в технологічному процесі виробництва на теперішній час означаємо наступне:

- **питомі витрати:** традиційне випікання хліба потребує близько 4 МДж/кг готової продукції.
- **вплив на ціну:** в структурі собівартості на 2025 рік енергоносії є критичним фактором через подорожчання енергії та обмеження в постачанні електроенергії (через обстріли) прогнозується зростання цін на хліб до 25 %;
- **енергоефективність:** використання вторинних енергоресурсів та модернізація печей дозволяють досягти до 45% економії енергії з окупністю заходів до 2 років.

Складові енерговитрат з врахуванням основного технологічного обладнання подано в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Складові енерговитрат

Складова енерговитрат	Частка (%)	Основне обладнання
Газ (теплова енергія)	84	Печі випічки, парові котли
Електроенергія	16	Тістомісильні машини, транспортери
Втрати (розподіл/постачання)	~5 – 31	Системи вентиляції, теплотраси

Щодо методів зниження енергомісткості енергетичного обладнання в технологічних процесах ряд авторів [14; 30;33] означають:

- встановлення більш сучасного обладнання: використання високоефективних печей (конвекційних, подових);
- встановлення багаторівневих систем автоматизації для оптимального керування режимами роботи обладнання;
- по можливості використання рекуперації – повернення тепла від обладнання випічки та/або відпрацьованого повітря печей;
- застосування принципів оптимізації режимів: підбір оптимальних температур, часу випікання при забезпеченні термоізоляційних складових (покращення ізоляції приміщень та печей).

При практичній оцінці енергомісткості [31] необхідно вже на конкретному підприємстві здійснювати енергоаудит, аналізують дані лічильників на кожній

ділянці з порівнянням із нормативними показниками для визначення резервів щодо підвищення енергоефективності.

Окрім проаналізованого, слід означити, що зростання обсягів промислового виробництва призводить до зростання споживання енергії, що впливає на дефіцит енергетичних ресурсів. Відповідно що стосовно технологічних процесів виробництва хлібобулочних виробів основними напрямками енергозбереження є [18; 21]:

- оновлення й вдосконалення термічного обладнання та використання теплоти відхідних газів;
- скорочення витрат енергії на опалення будівель і споруд, вентиляційні системи, освітлення, забезпечення паливом та теплопостачання.

У вентиляційних установках повторне використання теплової енергії досягається шляхом рециркуляції повітря з приміщень або за рахунок застосування теплообмінних пристроїв, до яких належать рекуперативні та регенеративні теплообмінники, й теплові труби [14].

Найбільш значна економія теплової енергії в вентиляційних системах та системах кондиціонування можлива при використанні високотемпературної скидної теплоти печей, сушильних установках, теплових агрегатах і системах охолодження технологічного обладнання. Навіть при відносно невисокій температурі повітря, яке видається, теплообмінні апарати у вентиляційних системах мають строк окупності близько 2–3 років.

Підприємства харчової промисловості характеризуються значним споживанням, тому, зниження витрат як теплової так і електричної складових енергії є особливо актуальним. Найбільш енергоємними вважаються хлібопекарське виробництво [5; 9].

Вторинні енергетичні ресурси в галузях харчової промисловості, відрізняються як за якісними показниками (температурний рівень, властивості теплоносія) так і за кількісним складом. У виробництві хлібобулочних виробів до ВЕР належать: теплота конденсатів, вторинна пара вакуум-апаратів і тепло готової продукції; теплота відхідних газів печей та сушарок і котельні [14].

Доцільним з позиції економії [7] є використання теплоти процесів згоряння природного газу, що наочно проявляється у хлібопекарському виробництві. За

обсягами палива для спалювання, яке спалюється, галузь займає одне з основних місць серед підприємств харчової промисловості, де, для виробництва однієї тони продукції витрачається (в середньому) 50–65 кг палива (умовно), з яких ефективно використовується – 30–32 %.

У печах, де основним елементом служать нагрівальні труби, температура відхідних газів досягає 500–700 °С за умови, що при оптимальному тепловому режимі пекарна камера вимагає температуру згоряння близько 350 °С. В цьому випадку відхідні гази використовуються для підігріву, що дозволяє не лише зменшити витрати на паливо, а й покращити умови процесу горіння й підвищення температури підігрітого повітря на 1 °С призводить до відповідного зниження температури вихідних газів [14].

Високу температуру відхідних газів (понад 350 °С) доцільно використовувати за етапами:

А) нагрів води до температури близько 80 °С з пониженням температури газів до 350 °С;

Б) підігрів повітря, внаслідок чого температура газів зменшується до 200°С, де в процесі, відхідні гази застосовуються в контактних теплообмінниках для підігрівання води.

При такому відборі теплоти суттєво зростає коефіцієнт корисного використання енергії палива [14].

Окрім вказаного, перспективним напрямом застосування вторинних енергетичних ресурсів є забезпечення допоміжних господарств, де, наприклад, для теплиць, розміщених на території підприємства, можуть застосовуватися відхідні гази від основних технологічних ланок виробництва (печі, сушарки і т.д), котельних установок, а також гаряча вода (пара), що утворюються в технологічних процесах, де високотемпературну гарячу воду використовують у системах водяного опалення теплиць, вважаючи, що низькотемпературну – в контактних апаратах для нагрівання та зволоження повітря, яке подається до вторинних господарств [8].

1.2 Використання альтернативних джерел енергії у хлібопекарській галузі

Як показав аналіз [5], основною (критичною) особливістю технологічного процесу випікання хлібобулочних виробів є необхідність використання природного газу. Сучасні умови воєнного стану можуть призвести до відсутності як основного виду палива (природний газ) для акумулювання теплової енергії так і мережевої енергії для використання електричної енергії. Тому, ще в 2023 році пропонувалися можливості переходу підприємств хлібопекарного виробництва середньої потужності на використання альтернативних джерел енергії (АДЕ).

Проведений аналіз показав, що основними напрямками впровадження АДЕ на підприємствах є:

А) Біогаз (біомаса та біопаливо) – використання органічних відходів для виробництва тепла та пари (випікання). Практика встановлення біометанових станцій показала можливість отримання до 8 млн. кВт*год електричної енергії та до 6000 Гкал теплової енергії при енергоефективності когенераційної установки 1.2 МВт. Негативним аспектом є відсутність доступу до дешевої сировини для виробництва біометану для переважної більшості підприємств хлібопекарського виробництва [13]..

Тому, з альтернативних джерел отримання теплової та електричної енергії залишаються: дизель-генератори; тверде біопаливо використання пелетів із деревини або аграрних відходів для генерації технологічної пари; скраплений газ (пропан-бутан (LPG)), використання якого може бути економічно доцільним при зростанні цін на природний газ.

Перехід на LPG призведе до необхідності переналаштування пальників. В цьому випадку пропонується використовувати суміш пропан-бутана з повітрям (SNG).

З позиції енергоефективності, впровадження печей з рециркуляцією пічних газів у поєднанні з альтернативним паливом дозволить економити до 15% енергоресурсів [14; 30].

Б) Теплова рекуперація. Це джерелом енергії щодо отримання не є прямим джерелом, але в деяких випадках розглядається як ключовий елемент енергетичної незалежності, де базовим механізмом є використання надлишкового

тепла від хлібопекарських печей для підігріву води (замість тіста) та опалення приміщень.

В) Сонячна енергетика (СЕС). Найбільш доступний варіант забезпечення електроенергією встановленням сонячних панелей на дахах виробничих корпусів. Практичний результат: встановлення 140 фотоелектричних панелей дозволить забезпечити третину потреби електроенергії влітку.

Основні переваги: переваги: зменшення залежності від мережі та компенсація пікових навантажень в денний час доби.

Аналіз показує, що оптимальною стратегією є поєднання дахових СЕС для освітлення й роботи обладнання та котлів на біомасі – забезпечення теплових процесів випікання [34].

Економічне обґрунтування на основі порівняння витрат для прийняття рішень щодо вибору (використання) альтернативних видів палива для виробництва як теплової так і електричної енергії подано в таблицях 1.2 та 1.3 (без врахування експлуатаційних витрат).

Таблиця 1.2 – Порівняння витрат для вироблення теплової енергії за видами палива

Показник	Пропан-бутан	Природний газ	Дизельне паливо	СЕС	Тверде біопаливо
Максимальні витрати на годину*	95.5	133	111.2	1148	294.1
Номінальна витрата на добу	802.5	1116.5	934.2	9643	2470.5
Номінальна витрата на місяць*	24074.4	33495	28027,7	289285.7	74117.65
Номінальні витрати на рік*	142841.4	198735.8	166297.6	1716428.5	439764.7
Ціна енергоносія (грн)	34	21	55	5.50	9
Вартість палива на рік (грн)	4856606	4173452	9146366	9440357	3957882

* Робота паливних елементів 12 год/добу шість місяців при завантаженні 70 %.

Таблиця 1.3 – Порівняння витрат для вироблення електричної енергії за видами палива

Показник	Пропан-бутан	Природний газ	Дизельне паливо	СЕС	Тверде біопаливо
Максимальні витрати на годину*	12.7	17.7	114.8	153.0	39.2
Номінальна витрата на добу	107	148.9	124.6	1285.7	329.4
Номінальна витрата на місяць*	3209.9	4466	3737	38571.4	9882.3
Номінальні витрати на рік*	19045.5	26498.1	22173	228857.1	458635.2
Ціна енергоносія (грн)	34	16	55	5.50	9
Вартість палива на рік (грн)	647547.5	428969.7	1219515.6	1258714.2	527717.6

* Робота паливних елементів 12 год/добу шість місяців при завантаженні 70 %.

Як видно з таблиць 1.2 та 1.3 виробництво теплової енергії виключно за рахунок електричної або дизельного палива – збитково. Доцільно використання природного газу при резерві палива пропан-бутан. Використання твердого палива – дешево, але ускладнюється логістичними складовими постачання якісної сировини.

На основі проведеного аналізу оптимальна схема цеху випікання заводу хлібобулочних виробів середньої потужності (теплова енергія 1125 кВт; електрична енергія 150 кВт) подана на рисунку 1.1.

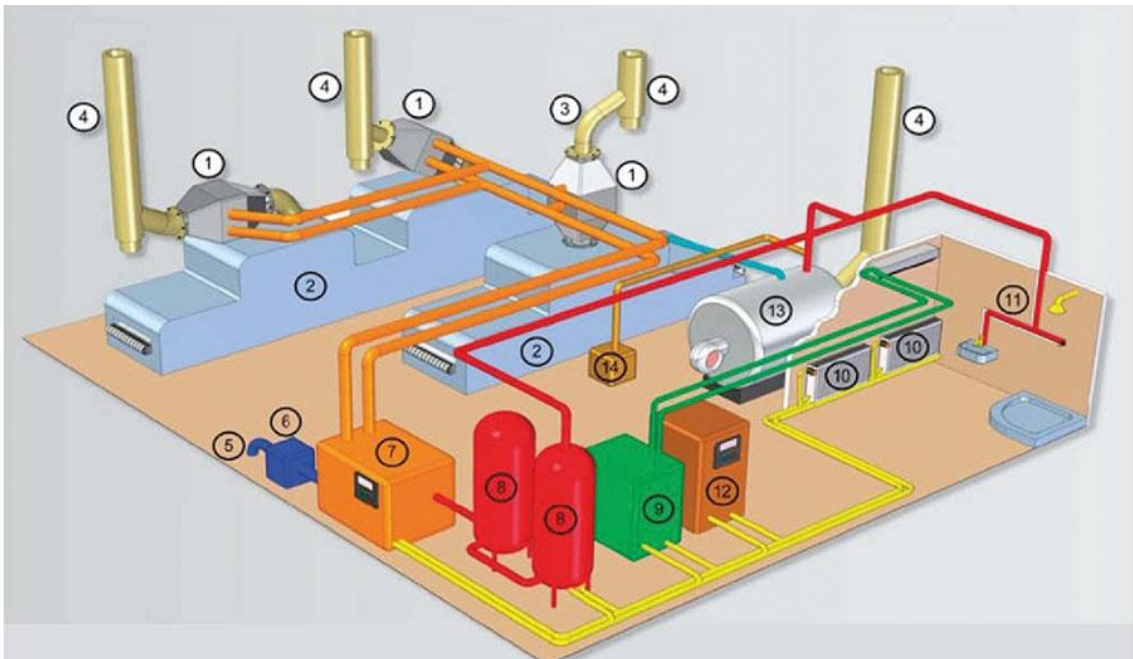


Рисунок 1.1 – Раціональна схема пекарського цеху на резервному паливі при утилізації теплової енергії вихідних газів

1.3 Висновки до розділу

Аналіз ефективності роботи енергетичного обладнання, яке використовується при виробництві хлібобулочних виробів показав, що хлібопекарська промисловість є однією з найбільш енергомістких у харчовому секторі, де найбільшими споживачами електроенергії є процеси замішування тіста.

Просте унормування технологічного процесу та зменшення простою увімкненого обладнання на підготовчих етапах значно знизить питомі витрати, а впровадження систем ключових показників ефективності (КПЕ) та стандартів *ISO 50001* дозволить проводити оцінку залежності споживання від обсягів виробництва та площі приміщень.

З позиції електротехнічної ефективності мережі слід відмітити необхідність врахування вибору перерізу провідників за економічними критеріями, а не тільки за нагрівом.

Окрім цього, при існуючих (зростаючих) тарифах важливу роль відіграє щільність струму, оскільки, перевищення порогових значень призводить до перевитрат енергії.

Також слід відмітити доцільність встановлення конденсаторних установок на стороні низької напруги, що дозволить знизити як струми в кабелях, так і, відповідно, втрати напруги й підвищити пропускну здатність мережі.

В умовах високих тарифів, особливо денних, доцільно, розглянути встановлення дахових СЕС для власних потреб, оскільки максимум виробництва часто співпадає з денним максимумом сонячної інсоляції, що дозволить значно компенсувати денне споживання.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Дослідження ефективності використання енергетичного потенціалу на хлібо-булочному виробництві

Прийняті умовні позначення:

A_c - добове споживання теплової енергії, ГДж/24 год;

A_e - добове споживання активної електроенергії, кВт·год/24 год;

A_{t1} - загальне споживання енергії за добу (з урахуванням коефіцієнта перетворення 1 кВт·год = 12 МДж), МДж/24 год;

A_{t2} - загальне споживання енергії за добу (з урахуванням коефіцієнта перетворення 1 кВт·год = 3,6 МДж), МДж/24 год;

B_{rz} - витрата реального палива, Мг/24 год;

K_2 - кубатура обладнання на одиницю виробництва протягом доби, м³/кг;

K_m - потужність встановленого електрообладнання на одиницю виробництва протягом доби, кВт/кг;

K_{mk} - потужність встановленого електрообладнання на одиницю виробництва, пов'язану з кубатурною одиницею, кВт/Мг·м³;

K_p - виробництво продукції на 1 працівника, кг/особу;

R^2 - коефіцієнт детермінації ($R^2 = r^2 \cdot 100\%$);

Q_w^r - теплотворна здатність реального палива, МДж·кг⁻¹;

W_e - індекс питомого споживання електроенергії обладнанням, кВт·год/кг;

W_c - індекс питомого споживання теплової енергії обладнанням, МДж/кг;

W_{t1} - індекс питомого споживання обладнанням загальної енергії (з урахуванням коефіцієнта перетворення 1 кВт·год = 12 МДж), МДж/кг;

W_{t2} - індекс питомого споживання обладнанням загальної енергії (з урахуванням коефіцієнта перетворення 1 кВт·год = 3,6 МДж), МДж/кг;

W_A - агрегований індекс питомого енергоспоживання (SECa (specific energy

consumption));

W_T - індекс питомого споживання енергії обладнанням (SECT);

W_Z - індекс питомого енергоспоживання обладнанням (SECZ);

W_{ek} - індекс споживання електроенергії установкою на одиницю виробництва, пов'язаний з кубатурою установки, кВт·год/Мг·м³;

¹ – споживання енергії в процесі замішування;

² – споживання електроенергії на одиницю обробленої сировини (борошна).

Попит на енергоносії на хлібопекарських заводах залежить, серед іншого, від розміру та структури виробництва, технології, що використовується, теплофізичних властивостей сировини, ступеню механізації виробничих операцій та використання переробних потужностей.

Індекси питомого споживання енергії часто використовуються для оцінки управління енергією. Підвищення енергоефективності може бути пов'язане як зі зменшенням попиту на енергоносії під час трансформації, передачі та їх кінцевого використання так і це може бути результатом впровадження технологічних змін, які забезпечують незмінний або вищий рівень виробництва. Це може призвести до економії енергії, обмеження обсягу відходів, що утворюються на кожному етапі виробництва хлібобулочних виробів [31].

З наявних літературних джерел видно, що причини мінливості споживання енергоносіїв на хлібопекарських заводах різного розміру вимагають додаткового дослідження.

Проведене дослідження повинно надати більш детальні матеріали для розробки моделей для заводів цієї галузі як споживачів енергії, також для визначення зв'язків між обсягом виробництва та споживанням енергоносіїв, які можуть бути використані для оцінки енергетичної ефективності виробництва.

Дослідницький матеріал було зібрано в хлібозаводі, де добове виробництво (Z) за досліджуваній період коливалося від 306 кг до 1585 мкг, а об'єм технологічної установки дорівнював 1700 м³. Потужність всього встановленого електрообладнання (P) становила 16,9 кВт; його структура представлена в табл. 2.1. Видно, що найбільшу частку в балансі потужності встановленого

електрообладнання займає тістомісильне обладнання (46,1%).

Таблиця 2.1 - Найбільші приймачі за встановленою потужністю в структурі досліджуваного заводу

№ з/п	Обладнання	Встановлена потужність, кВт
1	Місильне обладнання	7,8
2	Тістоділильна машина	3,5
3	Вентиляторні двигуни	3,6
4	Решта електроприймачів	2,0
5	Всього:	16,9

Значення індексу K_m (потужність встановленого електрообладнання на одиницю виробництва продукції протягом доби, кВт/кг) за добу коливалося від 0,011 до 0,055 кВт/кг продукції (в середньому 0,017 кВт/кг).

При оцінці споживання енергії виробництвом хлібо-булочних виробів (ХБВ) було використано *метод індексів*, який дозволив провести поточний аналіз функціональності об'єкта. Для характеристики управління енергією на досліджуваному заводі було прийнято показники, представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Індеси енергозатрат, що використовуються для характеристики хлібо-булочних виробництв

№ з/п	Назва індексу	Формула	Одиниця вимірювання
1	Площа обладнання на 1 кг вироблених ХБВ за добу	$K_2 = \frac{V_2}{Z}$	$\frac{m^3}{кг}$
2	Встановлена потужність ел. обладнання на 1 кг ХБВ, виготовлених за добу	$K_m = \frac{P}{Z}$	$\frac{кВт}{кг}$

3	Встановлена потужність ел.обладнання на 1 Мг ХБВ, вироблених за добу, відносно кубічної одиниці	$K_{mk} = \frac{P}{Z \cdot V_2}$	$\frac{\kappa Bm}{Mz \cdot m^3}$
4	Цілодобове виробництво продукції на одного працівника заводу	$K_p = \frac{Z}{n}$	$\frac{\kappa z}{персон.}$
5	Індекс споживання електроенергії обладнанням на 1 Мг ХБВ	$W_e = \frac{A_e}{Z}$	$\frac{\kappa Bm \cdot год}{Mz}$
6	Індекс споживання ел.енергії заводом на 1 Мг ХБВ, що відноситься до одиниці кубатури	$W_e = \frac{A_e}{Z \cdot V_2}$	$\frac{\kappa Bm \cdot год}{Mz \cdot m^3}$
7	Індекс питомих витрат теплової енергії обладнанням на 1 кг продукції	$W_e = \frac{A_e}{Z}$	$\frac{MJ}{\kappa z}$
8	Індекс загального споживання енергії установкою (з урахуванням коеф. перетворення 1 кВт·год = 12 МДж)	$W_{t1} = \frac{A_{t1}}{Z} = \frac{12 \cdot A_e + B_{rz} \cdot Q_w^r}{Z}$	$\frac{MJ}{\kappa z}$
9	Індекс загального споживання енергії установкою (з урахуванням коеф. перетворення 1 кВт·год = 3,6 МДж)	$W_{t2} = \frac{A_{t2}}{Z} = \frac{3,6 \cdot A_e + B_{rz} \cdot Q_w^r}{Z}$	$\frac{MJ}{\kappa z}$

З точки зору витрат та оцінки даної технології важливо використовувати показник, який включає загальне споживання енергії на виробничому підприємстві. Тому було прийнято показники питомого споживання енергії (див. табл. 2.2, поз. 8, 9).

При створенні математичної моделі затрат енергоносіїв було зроблено цілком реалістичне припущення, що добовий обсяг виробництва (Z) впливає на потребу в енергоносіях на виробничому підприємстві. Це припущення підтверджують численні дослідження.

Для визначення впливу обсягу виробництва хлібобулочних виробів (Z) на реальну вартість ХБВ (Y), що підтверджується на реальному виробництві, було прийнято лінійне рівняння:

$$Y = b + a \cdot Z,$$

де: Y - споживання енергоносіїв (енергомістка змінна, наприклад, W_e , W_{tl});

Z - загальний обсяг хлібопекарського та кондитерського виробництва.

Якщо виконуються умови: $a \cdot Z \geq b$ та $Z \geq 0$, то застосування отриманих *рівнянь регресії* з урахуванням коефіцієнтів кореляції (r) та детермінації (R^2) дозволяє

врахувати проблему енергозатрат на аналізованому хлібозаводі.

Діапазони технічних та організаційних показників, що характеризують досліджуване виробництво, представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Технічні та організаційні показники досліджуваного виробництва

№ з/п	Індекс	Одиниця вимірювання	Діапазон зміни	
			мін.	макс.
1	K_m	кВт/кг	0,011	0,055
2	K_{mk}	кВт/Мг·1000 м ³	6,27	32,49
3	K_p	кг/особу	25,50	132,08
4	K_2	Σм ³ /кг	1,07	5,56

Межі зміни щомісячного споживання енергоносіїв представлені нижче:

- Електрична енергія: $A_e = 65,8 - 224,4$, кВт·год/24 год;

$$W_e = 55,2 - 266,5, \text{ кВт·год/кг};$$

- Теплова енергія: $A_c = 1,34 - 2,63$, ГДж/24 год;

$$W_c = 1,52 - 4,52, \text{ ГДж/кг};$$

- Загальна енергія: $A_{t1} = 2,26 - 5,29$, (1 кВт·год = 12 МДж), ГДж/24 год;

$$W_{t1} = 2,51 - 7,72, (1 \text{ кВт·год} = 12 \text{ МДж}), \text{ ГДж/кг};$$

$$A_{t2} = 1,68 - 3,41, (1 \text{ кВт·год} = 3,6 \text{ МДж}), \text{ ГДж/24 год};$$

$$W_{t2} = 1,84 - 5,48, (1 \text{ кВт·год} = 3,6 \text{ МДж}), \text{ ГДж/кг}.$$

За допомогою статистичного аналізу зібраного матеріалу були отримані рівняння лінійної регресії, що описують межі зміни споживання енергії на хлібо-булочному виробництві (див. табл. 2.4).

Таблиця 2.4 - Залежність факторів при споживанні енергії у виробництві ХБВ

№ з/п	Рівняння регресії	Незалежна змінна	Коефіцієнт детермінації R^2	Одиниці залежних змінних
----------	-------------------	---------------------	----------------------------------	--------------------------------

1	$A_e = 0,0725 \cdot Z + 44,683$	$Z \left[\kappa\text{г} / 24\text{год.} \right]$	0,395	кВт·год/24 год
2	$A_c = 0,8647 \cdot Z + 1209,4$		0,871	МДж/24 год
3	$A_{t1} = 1,7342 \cdot Z + 1745,6$		0,729	МДж/24 год
4	$A_{t2} = 1,1255 \cdot Z + 1370,3$		0,882	МДж/24 год
5	$W_e = -0,1184 \cdot Z + 274,69$		0,655	кВт·год/Мг
6	$W_c = -0,0023 \cdot Z + 5,0754$		0,961	ГДж/Мг
7	$W_{t1} = -0,0037 \cdot Z + 8,3717$		0,874	ГДж/Мг
8	$W_{t2} = -0,0027 \cdot Z + 6,0643$		0,934	ГДж/Мг

Продовження таблиці 2.4

9	$W_{ek} = -0,0697 \cdot Z + 161,58$		0,655	кВт·год/кг·м ³ .
10	$A_e = -1720 K_m + 168,16$	$K_m [кВт / кг]$	0,268	кВт·год/24 год
11	$A_c = -25320 K_m + 2762,3$		0,898	МДж/24 год
12	$A_{t1} = -45960 K_m + 4780,3$		0,616	МДж/24 год
13	$A_{t2} = -31,512 K_m + 3,3677$		0,831	МДж/24 год
14	$W_e = 3746,6 K_m + 57,374$		0,789	кВт·год/Мг
15	$W_c = 67,44 K_m + 0,9222$		0,980	ГДж/Мг
16	$W_{t1} = 112,4 K_m + 1,6107$		0,951	ГДж/Мг
17	$W_{t2} = 80,927 K_m + 1,1288$		0,978	ГДж/Мг
18	$W_{ek} = 2203,9 K_m + 33,75$		0,789	кВт·год/кг·м ³ .

На основі результатів, представлених у табл. 4, можна знайти раціональне використання теплової енергії на хлібопекарському обладнанні. Це підтверджується високими значеннями коефіцієнту детермінації R^2 для рівнянь регресії, що описують A_c та W_c як функції обсягу виробництва (0,871 та 0,961, відповідно). Добове споживання електричної енергії (A_e) та питома споживання електроенергії (W_e) меншою мірою пояснюється обсягом виробництва за добу (39,5% та 65,5%, відповідно). На досліджуваному виробництві індекс K_m (потужність встановленого електрообладнання на одиницю виробництва протягом доби) особливо корисний для пояснення діапазону зміни загального споживання енергії (W_{t2}). Для отриманої формули 17 (див. табл. 2.4) значення коефіцієнта R^2 становить 0,978.

На досліджуваному виробництві показники питомого споживання електроенергії A_c були досить високими і змінювалися в широкому діапазоні: $A_e = 65,8 - 224,4$, кВт·год/24 год; $W_e = 55,2 - 266,5$, кВт·год/кг. Це можна пояснити, серед іншого, значною кількістю продукції, що вироблялася малими серіями, і сприяло суттєвим перервам у виробництві та збільшенню непродуктивного часу роботи обладнання. При цьому Індекс K_m на досліджуваному обладнанні коливався від 12,6 до 16,8 кВт/Мг·24 год.

Також було встановлено, що питоме споживання електроенергії W_e має функціональну залежність від встановленої потужності (P) на 66,7% згідно емпіричної формули $W_e = 0,102 \cdot P + 7,44$ (для P від 20 до 650 кВт).

Слід зазначити, що хлібопекарські печі є періодичним джерелом низькотемпературної відвідної енергії, яка рекуперується лише в небагатьох таких установках. Використання цієї енергії може призвести до підвищення енергетичної ефективності установок цього типу.

2.2 Дослідження зменшення втрат в електромережі оптимізацією січення кабелю

Відомо, що втрати потужності в силовому кабелі досягають 3-15% від загальної активної потужності, яка споживається потужними електродвигунами та іншими установками. Однією із найпростіших, але досить ефективних технологій підвищення енергоефективності при експлуатації електроустановок є зниження втрат потужності в силовому кабелі шляхом збільшення площі перетину його жил. Однак застосовувані протягом багатьох років підходи при виборі перерізу силового кабелю для живлення електродвигунів були орієнтовані в основному на підбір провідника допустимо малого перерізу.

У роботі [4] перераховані основні фактори, що враховуються під час підбору кабелю для асинхронних електродвигунів (АЕД):

- робоча напруга;
- допустимі струмові навантаження при температурі експлуатації;
- конструктивне виконання кабелю (кругле або плоске);
- зовнішній діаметр (розмір) і маса;
- економічні показники (вартість та параметри надійності);
- забезпечення напруги живлення АЕД.

Останній пункт є найбільш важливим при виборі перерізу кабелю. Для забезпечення легкого запуску АЕД проводиться розрахунок падіння напруги в кабелі за формулою:

$$U = 1,73 \cdot I_d \cdot R_{\text{ж}} \cdot \cos \varphi,$$

де I_D - номінальний струм електродвигуна, А;

$R_{ж}$ - електричний опір жили кабельної лінії;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності АЕД.

У найпростішому випадку, якщо переріз струмопровідних жил основного кабелю та подовжувача розрізняються незначно, електричний опір жили кабельної лінії розраховується як електричний опір жили основного кабелю за формулою:

$$R_{ж} = (18,4 / S_1) \cdot (1 + 0,004(T - 20) \cdot L_1),$$

де S_1 - січення жил основного кабелю;

T - температура струмопровідних жил кабелю;

L_1 - довжина основного кабелю.

Розрахунок завершується порівнянням напруги, яка отримується в результаті віднімання падіння напруги в кабельній лінії від величини напруги на ВО трансформатора, і робочої напруги, необхідної для роботи АЕД [23]. Правила влаштування електроустановок (ПУЕ) визначають економічну щільність струму для кабелю з мідним перетином та гумовою або пластмасовою ізоляцією при роботі понад 5000 год./рік, що дорівнює 2,7 А/мм².

Цей поріг економічної щільності струму досі використовується, але, очевидно, з урахуванням зміни вартості електроенергії та кабельних ліній має бути переглянутий.

У роботі [4] викладено підходи, що застосовуються різними західними компаніями щодо визначення максимально допустимих втрат потужності в кабельній лінії:

- максимальний поріг падіння напруги в кабелі - 100 В на довжині 1000 м;
- максимальний поріг падіння напруги в кабелі не повинен перевищувати 5% напруги на виході трансформатора, що її живить.

Для підбору перерізу кабелю застосовують поріг максимального падіння напруги 100 В на 1000 м довжини кабелю і поріг максимальної щільності струму відповідно до ПУЕ - 2,7 А/мм². Оскільки жоден із цих критеріїв не був прямо спрямований на отримання додаткового прибутку від зменшення втрат потужності, з метою зниження капітальних вкладень застосовувався кабель з мінімальним перерізом, при якому вищезгадані обмеження дотримувалися.

На практиці це призводило, наприклад, до того, що для живлення АЕД при робочому струмі 42 А і підвищеній температурі зовнішнього середовища міг використовуватися кабель перерізом $3 \times 16 \text{ мм}^2$. За цих умов розрахункове падіння напруги становило 90В на 1000 м довжини кабелю, тобто було нижче рекомендованого верхнього порогу 100 В, а щільність струму становила $2,63 \text{ А/мм}^2$ та відповідала нормам ПУЕ. Можливість зниження розрахункових втрат активної потужності, рівних для цього випадку 19 кВт·год., при виборі перерізу кабелю та сталих тарифах на електроенергію не розглядалася.

Сучасна тенденція до збільшення тарифів на електроенергію змінила ситуацію і змусила переглянути доцільність застосування багатьох технологій, які до цього вважалися економічно малопривабливими.

Оцінка економічної можливості зменшення втрат в кабельній лінії зводиться до оцінки зниження операційних витрат на оплату електроенергії після комплектації лінії кабелем *більшого перерізу* та *збільшення капітальних вкладень* на закупівлю кабелю. Як і для будь-якої іншої технології, критерієм ефективності застосування є *індекс рентабельності інвестицій* (індекс прибутковості дисконтованих інвестицій) PI, який у загальному вигляді розраховується по формулі:

$$PI = 1 + \frac{NPV}{TIC},$$

де NPV - прибуток (чиста приведена вартість);

TIC - повні інвестиційні затрати від заміни кабелю.

Як правило, мінімальне значення індексу PI для проектів енергозбереження приймається рівним 1,5; середній термін служби кабелю - 3 роки. З огляду на це відношення дисконтованого потоку готівки від економії витрат на електроенергію протягом трьох років до абсолютних дисконтованих інвестицій на збільшення вартості закупівлі кабелю має бути не менше 0,5.

Втрати активної потужності в кабелі розраховуються за формулою:

$$\Delta P_{\text{каб}} = 3 \cdot I_D^2 \cdot (18,4 / S_1) \cdot (1 + 0,004(T - 20)) \cdot L_1).$$

Оскільки і вартість кабелю, і втрати потужності в ньому прямо пропорційні його довжині, остання не впливає на індекс рентабельності PI. Наприклад, PI проекту заміни кабелю перетином $3 \times 16 \text{ мм}^2$ на кабель перетином $3 \times 21 \text{ мм}^2$ буде однаковим за умови рівності струму АЕД та температури кабелю.

Якщо прийняти умову, що кабель збільшеного перерізу буде працювати при тій же температурі, втрати потужності залежатимуть тільки від робочого струму двигуна і перерізу кабелю.

Таким чином, для зручності виконання практичних розрахунків з визначення порогів економічно доцільного збільшення перерізу кабелю необхідно побудувати залежності PI від сили струму для різних діаметрів жил кабелів.

Наприклад, якщо після ранжування проєктів за рівнем рентабельності інвестицій економічними службами буде визначено граничне значення $PI = 2$, то технологічні служби підприємства легко розрахують, що граничне значення сили струму проєкту заміни кабелю перетином 25 мм^2 на кабель перетином 35 мм^2 становить 56 А (див. табл. 2.5).

З таблиці можна знайти оптимальні економічно обґрунтовані діапазони застосування кабелю різного перерізу. Наприклад, діапазон застосування кабелю перетином 16 мм^2 знаходиться між значеннями струму 26 і 35 А .

Таблиця 2.5 - Густина струму при рентабельності збільшення січення кабелю

Січення жил кабелю, мм^2	Струм економічно доцільного збільшення січення кабелю, А	Гранична економічна густина струму, А/мм^2
10	22	2,1
11	26	1,9
16	35	2,1
25	49	1,9
35	56	2,0

Гранична економічно обґрунтована щільність струму при рівнях цін на кабелі різного перерізу, тарифах на електроенергію і прийнятому індексі рентабельності інвестицій для проєктів заміни кабелю меншого перерізу на кабель наступного розміру дорівнює в середньому 2 А/мм^2 . Це значення щільності струму на 26% нижче, за рекомендоване ПУЕ, і може бути прийняте на підприємствах як граничне і таке, що забезпечує зменшення втрат в кабелях.

З таблиці можна знайти оптимальні економічно обґрунтовані діапазони застосування кабелю різного перерізу. При розрахунку втрат потужності у кабелі використовуються дані, що містяться в основній частині технологічного режиму: робоча температура ізоляції, струм навантаження, довжина кабельної лінії.

Оптимальний переріз кабелю розраховується з використанням визначеної на даний момент економічно обґрунтованої щільності струму за формулою:

$$S_1 = \frac{I_D}{J_{opt}},$$

де J_{opt} - економічна густина струму, A/mm^2 .

Дослідженнями встановлено, що збільшення перерізу кабелю з 16 до 21 mm^2 для АЕД типу ME2-132M3-4 11 кВт-V35 (11 кВт; 4 полюси; 132 габарит; V35; 1500 об./хв.) із наведеними вище параметрами роботи дозволяє за рік скоротити втрати потужності на 45,1 тис. кВт·год, електроенергії.

Зниження щільності струму також збільшує надійність кабельних ліній, що, зрештою, дозволяє скоротити кількість відмов кабелю і дає додаткову вигоду від зниження витрат на заміну кабельних ліній.

2.3 Дослідження переваг дахової сонячної електростанції в системі електропостачання підприємства

2.3.1 Інформативність графіків споживання електроенергії

Графік (профіль) енергетичного навантаження є ключовим кроком у визначенні того, чи достатньо вироблятиме електроенергії сонячна установка для покриття власних потреб підприємства та своєї окупності посередністю продажі виробленої електроенергії.

Профіль навантаження показує, скільки енергії підприємство використовує в кожну годину доби для кожного дня року. Це критично важливий перший крок до оцінки фінансової прибутковості, яку запропонує сонячна установка. Профіль навантаження також корисний для визначення того, який розмір установки (встановлена потужність) найкраще відповідатиме потребам клієнта.

Одна з причин, чому профілі навантаження, також відомі як профілі споживання, настільки важливі, полягає в тому, що вони формують основу для оцінки фінансів потенційної сонячної установки. Це пояснюється тим, що нетто-лічильник є переважаючим підходом до компенсації власникам сонячних систем.

Для клієнтів з нетто-лічильником електроенергетична компанія коригує їхній рахунок, щоб сплатити їм роздрібний тариф за надлишок сонячної енергії, яку

вони подають у мережу. В результаті вони платять лише за своє чисте споживання енергії. Таким чином, щоб оцінити, скільки клієнт заощадить на своїх рахунках в результаті додавання сонячної енергії, ви повинні знати, скільки енергії вони споживають і скільки сонячної енергії вироблятиме їхня система.

Якби це була повна історія виставлення рахунків енергокомпанією, було б достатньо знати загальну кількість енергії, яку клієнт використовував щомісяця, але в багатьох випадках енергокомпанії також тарифікують електроенергію залежно від того, коли вона споживається. Ці тарифи за часом використання встановлюють вищі ціни на енергію в періоди, коли є більший попит. Таким чином, вам потрібно знати не лише скільки енергії використовує клієнт, але й коли він її використовує, і як це відповідає енергії, яку виробляє його сонячна установка в різний час.

Крім того, ключова відмінність у способі виставлення рахунків комерційним клієнтам порівняно з побутовими клієнтами полягає в тому, що багато комерційних клієнтів також повинні сплачувати плату за споживання. Ці платежі, які відображають використану кількість електроенергії в будь-який момент часу, визначаються максимальною кількістю потужності (кВт), яку клієнт використав за будь-який (15 чи 30-хвилинний, можливий 1-годинний) інтервал протягом розрахункового циклу. Детальний профіль енергетичного навантаження, який показує споживання енергії у відповідний інтервал, дозволяє побачити точки високого споживання енергії, що визначають плату клієнта за споживання.

Нарешті, профіль навантаження також надає цінну інформацію для визначення розміру (потужності) сонячної установки, необхідної для досягнення цілей клієнта. Наприклад, якщо клієнт хоче, щоб його рахунок за електроенергію був якомога ближчим до нуля, профіль енергетичного навантаження дозволить оцінити, скільки енергії потрібно буде виробляти його системі.

2.3.2 Способи визначення комерційних профілів навантаження

Існує кілька способів визначення профілю енергетичного навантаження споживача, два з яких полягають у використанні фактичних даних про споживання енергії за певний період у минулому як репрезентативного профілю

навантаження або в оцінці профілю навантаження на основі технічних характеристик підприємства.

Там, де це можливо, використання реальних інтервальних даних про минуле споживання електроенергії є ідеальним підходом, оскільки профіль навантаження точно відображає історичне використання. Однак, це не враховує майбутні зміни в інтенсивності навантаження чи в кількості обладнання, такі як встановлення більш енергоефективних пристроїв. Це також найкращий підхід, якщо необхідно врахувати витрати на зростання попиту, оскільки оцінка профілю навантаження споживача не дасть достатньо детальної інформації для прогнозування найвищого попиту клієнтів протягом, наприклад, 15-хвилинних інтервалів.

Один зі способів отримати цю інформацію – це дані інформаційних джерел, наприклад, Green Button - стандартизований тип інтервальних даних, які деякі енергопостачальні підприємства надають своїм клієнтам.

2.3.3 Створення розрахункового профілю навантаження

Якщо інтервальні дані по підприємству недоступні, можна оцінити профіль навантаження на основі рахунків за електроенергію, загальних характеристик навантаження, інтенсивності навантаження щодо споживання енергії та географічного розташування будівлі підприємства. Використання програмного забезпечення, яке може адаптувати профіль навантаження на основі цих факторів, – це простий спосіб розробити точну оцінку профіля навантаження.

Існують також методи ручної розробки профілів навантаження шляхом вимірювання кількості енергії, яку використовують конкретні установки, та часу їх використання; однак це складний та трудомісткий процес.

Хоча є багато етапів проектування ідеальної сонячної установки та оцінки її фінансової прибутковості, розробка точного профілю навантаження споживача є одним із вирішальних кроків.

Для прикладу розглянемо профілі навантаження підприємства з виробництва хлібо-булочних виробів, яке має різке зростання навантаження у вечірньо-нічний час та практично рівномірне мале навантаження у ранішньо-денний період доби (див. рис. 2.1 - 2.2).

Зауважимо, що попит на електроенергію у пізньо-вечірній та нічний періоди роботи підприємства досить малий, що сприяє зменшенню затрат на оплату за електроенергію. В той же час досить високий денно-вечірній тариф на електроенергію при рівномірному профілі навантаження робить досить економічно привабливим для підвищення ефективності системи електропостачання проєкт встановлення дахової сонячної електростанції (СЕС) невеликої потужності на такому підприємстві.

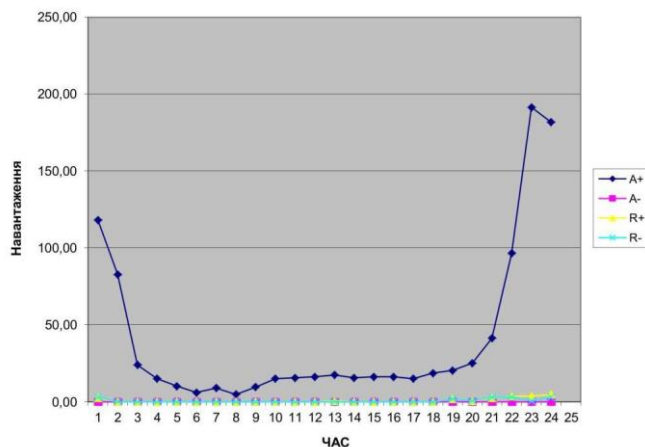


Рисунок 2.1 - Профіль навантаження підприємства у літній період доби (погодинний графік)

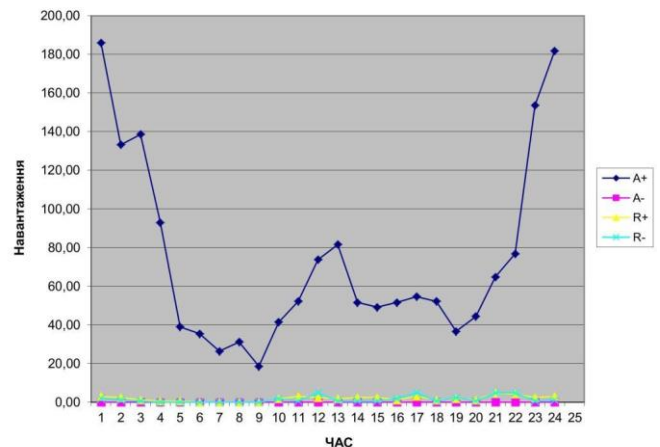


Рисунок 2.2 - Профіль навантаження підприємства у зимовий період доби (погодинний графік)

Виходячи з денної частини профілів навантаження, а це з 03:00 години ранку до 19:00 години вечора, у літню пору доби достатня потужність СЕС - (25 ... 30) кВт. На даху досліджуваного підприємства є достатньо місця для розміщення панелей СЕС потужністю (100 ... 120) кВт. Потенціальну надлишкову потужність при дотриманні всіх договірних обов'язків можна генерувати в електромережу.

Потрібно відмітити, що на підприємстві в наявності більш потужне обладнання з 1-2-годинним піковим навантаженням величиною: (10 ... 15) кВт (електродвигуни 2-х роторних компресорів та установки подрібнення сухаря); (40 ... 45) кВт (електродвигуни 2-х поршневих компресорів). Ці потужні навантаження будуть джерелом нестабільності поставок електроенергії від СЕС назовні.

Ефективність СЕС як додаткового джерела енергії в зимовий період буде досить низькою через малий к.к.д. сонячних панелей. До того ж зростає нерівномірність

профілю навантаження підприємства ((40 ... 80)кВт) внаслідок під'єднання до електромережі різноманітних електроустановок, в тому числі й нагрівальних.

2.3.4 Сонячна електростанція як прибуткове джерело енергії

Сонячна електростанція на власне споживання електричної енергії - особливий вид безакумуляторної сонячної установки, що спрямовує усю вироблену енергію на споживання у режимі реального часу без перетікань у зовнішню електромережу. Це досягається завдяки спеціальному лічильнику SmartMeter від австрійської компанії Fronius. SmartMeter – двонаправлений інтелектуальний лічильник електроенергії, призначений для оптимізації використання електроенергії з функцією 0% Feed-In (Zero Export).

Така СЕС - найефективніший варіант рішення щодо заміщення електроенергії із зовнішньої електричної мережі дешевою електричною енергією від власної СЕС. Обсяг заміщення електроенергії може становити до 90% у весняно-літній і 15–20% у осінньо-зимовий періоди (30–50% сумарно протягом року). Це дає змогу зменшити поточні витрати і підвищити рентабельність стаціонарної електричної мережі підприємства.

Така сонячна електростанція може бути встановлена у будь-якому місці - на даху виробничого цеху, складському приміщенні чи будь-якому іншому об'єкті, де присутнє постійне споживання електричної енергії у денний період. Якщо такої «сонячної електроенергії» є недостатньо, то різниця автоматично відбирається від загальної електричної мережі.

СЕС для власного електроспоживання вигідні також тим, що не потребують виконання проєктів про приєднання і одержання ліцензії облenerго. У результаті термін реалізації такого проєкту складає 1-2 місяці та починає економити електричну енергію із першої хвилини запуску СЕС.



Рисунок 2.3 - Приклади реалізації дахових СЕС на підприємстві

Дахова СЕС потужністю 120 кВт, яка призначена для повної компенсації витрати електроенергії на виробництві, буде укомплектована такими крупними вузлами:

- сонячна панель *Longi Solar 580 Вт* –200 штук;
- мережевий інвертор *Huawei SUN2000 –100KTL – M2* – 2 штуки;
- пристрій моніторингу *Huawei* ;
- комплект обмежувача перетікання *Huawei*;
- конструкція кріплення ФЕМ (на скатний дах) – 200 штук.

2.3.5 Техніко-економічні показники дахової СЕС

Нижче подані техніко-економічні показники дахової СЕС потужністю 120 кВт для покриття внутрішніх потреб підприємства в електроенергії. На рис. 2.4 представлена діаграма генерації електроенергії протягом року. В табл. 2.6 наведені дані ефективності роботи СЕС протягом року для компенсації видатків за спожиту електроенергію при її вартості 8,6 грн. за 1 кВт·год.

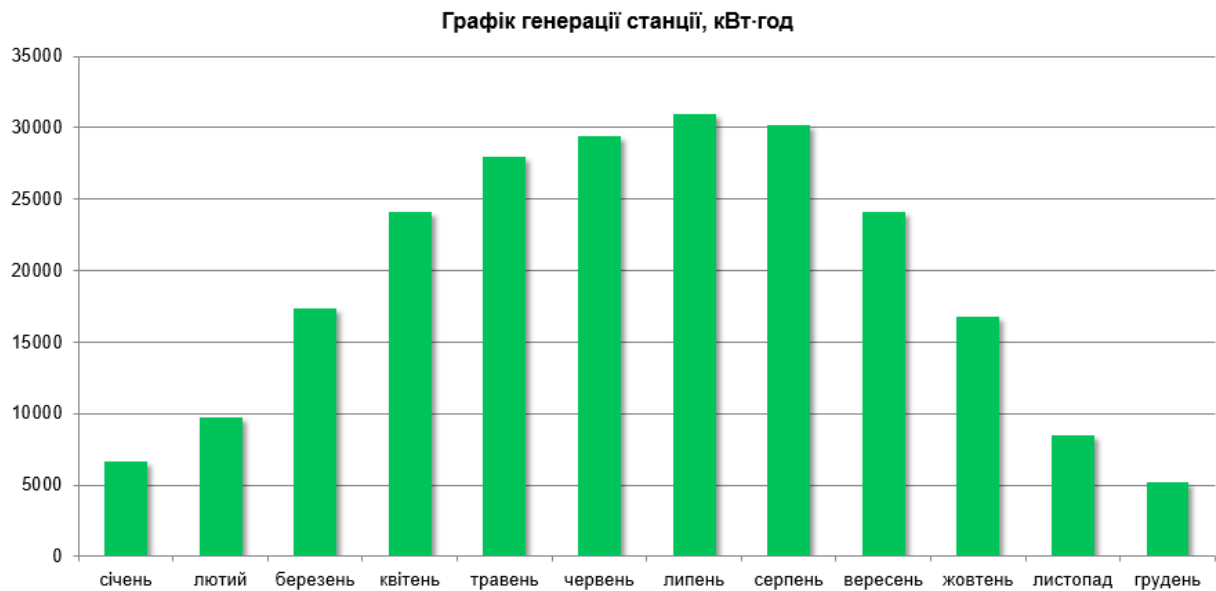


Рисунок 2.4 - Діаграма генерації електроенергії СЕС протягом року

Таблиця 2.6 - Ефективність роботи СЕС в системі електропостачання

Місяць року	Генерована енергія, кВт-год	Економія коштів на власні витрати, грн
Січень	6700	57620
Лютий	9800	84280
Березень	17000	146200
Квітень	24000	206400
Травень	28000	240800
Червень	29000	249400
Липень	31000	266600
Серпень	30000	258000
Вересень	24000	206400
Жовтень	17000	146200
Листопад	8600	73960
Грудень	5200	44720
Разом за рік	230300	1980580=47157\$

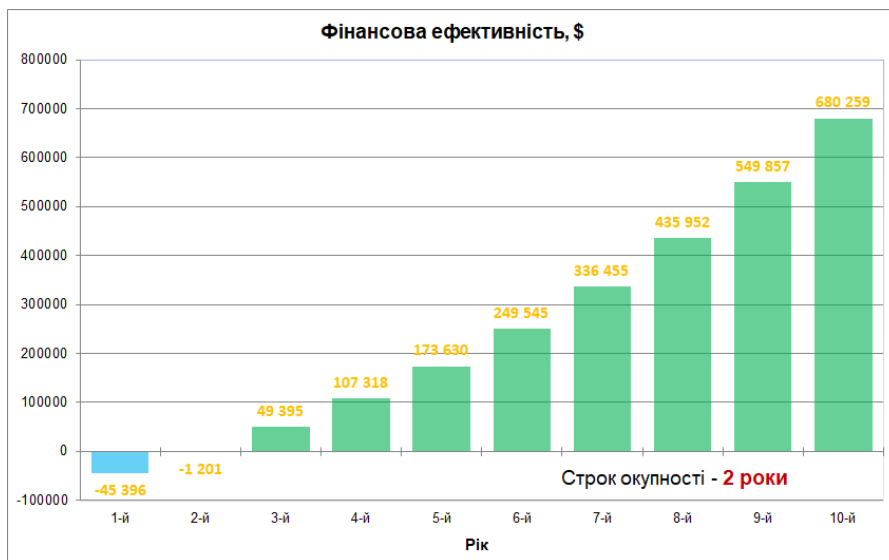


Рисунок 2.5 - Діаграма строку окупності та прибутків від роботи СЕС

В середньому для СЕС потужністю 120 *кВт* термін окупності складає близько двох років. Наступні 25 років роботи, а це термін придатності сонячних панелей і всієї інфраструктури СЕС, після повернення інвестицій, електростанція генеруватиме лише дохід (див. рис. 2.5).

2.4 Висновки до розділу

1. Отримані результати можна використовувати з урахуванням ступеня використання встановленого електричного обладнання та кубатури виробничих приміщень; наприклад, для оцінки виробничих витрат на хлібопекарних виробництвах подібного типу і розміру.
2. Для підвищення ефективності споживання електричної енергії необхідно унормовувати технологічний процес на підготовчих операціях для зменшення простою увімкненого обладнання.
3. Споживання теплової енергії коливалося від 1500 до 4500 кДж/кг продукту, що становить близько 40-60% від максимальних значень, наведених у доступних джерелах.
4. З огляду на високу енергоємність процесу випікання хлібо-булочних виробів, доцільно проводити активний моніторинг споживання енергетичних носіїв, що дає можливість управління енергоспоживанням підприємства у поєднанні з поточним обсягом виробництва.

5. Гранична економічна щільність струму, що склалася при існуючих співвідношеннях вартості електроенергії та вартості кабелю різного перерізу становить $\sim 2 \text{ А/мм}^2$. При перевищенні цього порогу економічно вигідно перейти до застосування кабелю більшого перерізу.
6. Технологія оптимізації перерізу кабелю є найнадійнішою та найпростішою технологією енергозбереження, що забезпечує при цьому прийнятний рівень рентабельності інвестицій.
7. Дослідження профілів навантаження підприємства підвищує економічну інформативність використання електроенергії споживачем.
8. Високий денно-вечірній тариф на електроенергію при рівномірному профілі навантаження робить досить економічно привабливим встановлення дахової сонячної електростанції для компенсації власних витрат споживача.
9. Профілі навантаження даного підприємства в денно-вечірній період доби з потужністю на рівні (20 ... 30) кВт та з врахуванням пікових навантажень від роботи потужних споживачів електроенергії на рівні (30 ... 50) кВт роблять економічно привабливою роботу дахової сонячної електростанції потужністю 120 кВт, що при фіксованій річній вартості електроенергії на рівні 8,6 грн за 1 кВт·год становить строк окупності 2 роки.

3 ПРОЕКТНО–КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Початкові дані для розрахунку СЕП

У Таблиці 3.1 представлено список можливостей хлібозаводу із значеннями встановленої енергоємності кожного споживача струму та його $\cos\varphi$.

Таблиця 3.1 – Перелік потужностей хлібозаводу

№ з/п	Тип або позначення	Назва	P , кВт	$\cos\varphi$
1	ПМ-900М	Просіювач борошна	1,8	0,8
2	ПМ-900М	Просіювач борошна	1.8	0,8
3	ТД-2	Тістовідділювач	1.44	0,7
4	Bull-80	Тістозмішувач	4.5	0,7
5	Bull-80	Тістозмішувач	4.5	0,7
6	ТО-2	Тістоокруглювач	2.3	0,7
7	Бриз-плюс	Шафа розстійна	1.25	0,8
8	К–СТР\Р41	Шафа розстійна	7.0	0,8
9	К–СТР\Р41	Шафа розстійна	7.0	0,8
10	Rollfix 300 W	Тісторозкатувальна машина	1.1	0,8
11	Thermo MAX	Піч термо-масляна	3.0	0,7
12	Thermo MAX	Піч термо-масляна	3.0	0,7
13	Varian V10-4	Піч цикло-термічна ярусна	2.5	0,7
14	Euroline	Лінія виробництва конд. виробів	4.0	0,6
15	РТ–УМ–ГШ ПС	Машина для пакування	2.1	0,7
16	Polair KHN–4.41	Холодильна камера	1.2	0,7
17	ША Telsi	Шафа автоматизації	0.02	0,7
18	Standard SV–10	Установка вентиляційна	3.0	0,8
19	EkoBlook II	Установка використання	0.95	0,7
Всього:			52,46	–

3.2 Розробка системи ЕП підприємства

На схемі цеху по випуску випічки фіксуємо точки встановлення апаратів. Енергозабезпечення об'єкта має виконуватись магістраллю, протягнутою від ТП-403 «Хлібокомбінат» до вхідного вузла (ВРП) заводу по стінах на спеціальних стелажах. Агрегати робочих зон компанії мають живитися від комутаційних панелей лініями, схованими в каналах. З ВРП напруга буде подаватися на дві

станції (РП1, РП2) і трійку боксів світла (ЩО1, ЩО2, ЩО3), від котрих отримають енергію лампи, ліхтарі вуличної площі, ба навіть комплекс гнізд для ввімкнення техніки малої продуктивності.

3.3 Обчислення електропостачання цеху з випуску продукції

В таблиці 3.2 подано дані для розрахунку електричних навантажень.

Таблиця 3.2 – Дані для розрахунку електричних навантажень

Номер	Назва	n , один.	P_n , кВт	$P_{\text{сум}}$, кВт	k_{ε}	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	$P_n^2 \cdot n$, кВт	I_n , А
1.1; 1.2.	Просіювач борошна	2.	1.8	3.6	0.7	0.8	0.75	6.48	3.42
2.1; 2.2	Тістозмішувач	2	4.5	9.0	0.7	0.7	1.02	40.5	9.76
3	Тістовідділювач	1	1.44	1.44	0.65	0.7	1.02	2.07	3.16
4	Тістоокруглювач	1	2.3	2.3	0.65	0.7	1.02	5.29	5.0
5.1	Шафа попереднього вистоювання	1.	1.25	1.25	0.65	0.8	0.75	1.56	2.37
5.2; 5.3	Шафа розстійна	2	7.0	14.0	0.75	0.8	0.75	98	13.3
6	Тісторозкаточна машина	1	1.1	1.1	0.75	0.8	0.75	1.21	2.09
7.1; 7.2	Термомасляна піч	2	3.0	6.0	0.75	0.7	1.02	18	6.51
8	Циклотермічна ярусан піч	1.	2.5	2.5	0.75	0.7	1.02	6.25	5.47
9	Лінія для виробн. б/кондиторських виробів	1.	4.0	4.0	0.85	0.6	1.33	16	10.13
10	Машина пакувальна	1	2.1	2.1	0.65	0.7	1.02	4.41	4.56
11	Холодильна камера	1	1.2	1.2	0.85	0.7	1.02	1.44	2.6
12	Шафа автоматизації	1	0.02	0.02	0.55	0.7	1.02	0.0004	0.043
13	Установка вентиляційна	1	3.0	3.0	0.65	0.8	0.75	9	5.7
14	Устан. максимального використання	1.	0.95	0.95	0.65	0.7	1.02	0.9	2.06
	ВСЬОГО	19		52.46				211.1	

Коефіцієнт використання групи:

$$K_{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^{19} P_{ni} \cdot k_{\varepsilon i}}{\sum_{i=1}^{19} P_{ni}};$$

$$K_{\varepsilon} = \frac{3,6 \cdot 0,7 + 9 \cdot 0,7 + 1,44 \cdot 0,65 + 2,3 \cdot 0,65 + 1,25 \cdot 0,65 + 14 \cdot 0,75 + 1,1 \cdot 0,75 + 6 \cdot 0,75 + 2,5 \cdot 0,75 + 4 \cdot 0,85}{52,46}$$

$$\frac{2,1 \cdot 0,65 + 1,2 \cdot 0,85 + 0,02 \cdot 0,55 + 3 \cdot 0,65 + 0,95 \cdot 0,65}{52,46} = \frac{37,427}{52,46} = 0,71$$

Значення середньої активної потужності:

$$P_c = K_{\varepsilon} \cdot \sum_{i=1}^{19} P_{ni}; P_c = 0,71 \cdot 52,46 = 37,25 \text{ кВт.}$$

Значення ефективної кількості струмоприймачів:

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^{19} p_{ni})^2}{\sum_{i=1}^{19} p_{ni}^2}; n_e = \frac{(52,46)^2}{211,1} \approx 14$$

Значення коефіцієнта реактивної потужності:

$$tg\varphi_C = \frac{\sum_{i=1}^{19} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{ei} \cdot tg\varphi_i}{\sum_{i=1}^{19} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{ei}};$$

$$\sum_{i=1}^{19} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{ei} \cdot tg\varphi_i = 1,8 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 0,75 + 4,5 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 0,75 + \dots + 0,95 \cdot 0,65 \cdot 1,02 = 34,26 \text{ кВт};$$

$$tg\varphi_C = \frac{34,26}{37,25} = 0,92$$

Значення активної розрахункової потужності виробництва:

$$P_p = P_c \cdot K_{\max} = K_{\epsilon} \cdot \sum_{i=1}^{19} p_{ni} \cdot K_{\max}; P_p = 0,71 \cdot 52,46 \cdot 1,11 = 41,34 \text{ кВт}.$$

Значення реактивної розрахункової потужності:

$$Q_p = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{19} p_{ni} \cdot k_{ei} \cdot tg\varphi_i;$$

$$Q_p = 1,11 \cdot 34,26 = 38,03 \text{ кВт} \cdot Ap$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{41,34^2 + 38,03^2} = 56,17 \text{ кВА}.$$

Таким самим чином виконаємо розрахунок потужності РП1:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^9 p_{ni} \cdot k_{ei}}{\sum_{i=1}^9 p_{ni}};$$

$$K_B = \frac{(1,44 + 2,3 + 1,25 + 2,1) \cdot 0,65 + (14 + 1,1) \cdot 0,75 + (4 + 1,2) \cdot 0,85}{27,39} = \frac{20,35}{27,39} = 0,74$$

$$P_c = K_B \cdot \sum_{i=1}^9 p_{ni} = 0,74 \cdot 27,39 = 20,27 \text{ кВт}.$$

•

$$P_p = P_c \cdot K_{\max} = 20,27 \cdot 1,14 = 23,11 \text{ } \kappa Bm.$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{23,11^2 + 21,13^2} = 31,31 \kappa BA$$

$$\sum_{i=1}^9 p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{\epsilon i} \cdot \cos \varphi_i = 1,44 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,65 + 2,3 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 0,65 + \dots + 0,95 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,65 = 15,12 \text{ } \kappa Bm;$$

$$\sum_{i=1}^9 p_{hi} \cdot n_i \cdot k_{ei} = 1,44 \cdot 0,65 + 2,3 \cdot 0,65 + \dots + 1,2 \cdot 0,82 = 20,35$$

$$\cos \varphi_C = \frac{15,12}{20,35} = 0,743$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{31,31 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 47,57 A$$
$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi} = \frac{23,11 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,743} = 47,25 \text{ A}$$

Таблиця 3.3 – Розподільний пристрій РП1

[illegible]

5.1	Шафа вистоювання	1	1.25	1.25	0.65	0.8	0.75									
5.2	Шафа розстійна	2	7.0	14	0.75	0.8	0.75									
5.3																
6	Тісторозкаточна машина	1	1.1	1.1	0.75	0.8	0.75									
9	Лінія з виробн. конд. виробів	1	4.0	4.0	0.85	0.6	1.33									
10	Машина пакувальна	1	2.1	2.1	0.65	0.7	1.02									
11	Холодильна камера	1	1.2	1.2	0.85	0.7	1.02									
	Всього	12		27.39				0.74	20.27	9	1.14	23.11	21.13	31.31	47.57	47.25

Обчислення потужності РП2.

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_{ni} \cdot k_{ei}}{\sum_{i=1}^{10} p_{ni}};$$

$$K_B = \frac{(3,6 + 9) \cdot 0,7 + (6 + 2,5) \cdot 0,75 + 0,02 \cdot 0,55 + (3 + 0,95) \cdot 0,65}{25,07} = \frac{17,77}{25,07} = 0,71$$

$$P_c = K_B \cdot \sum_{i=1}^{10} p_{ni} = 0,71 \cdot 25,07 = 17,8 \text{ кВт.}$$

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^{10} p_{ni})^2}{\sum_{i=1}^{10} p_{ni}^2} = \frac{(25,07)^2}{81,13} = 7,75 \approx 8$$

З графіку при $n_e = 8$ і $K_u = 0,71$ визначаємо $K_{\max} = 1,19$.

$$P_p = P_c \cdot K_{\max} = 17,8 \cdot 1,19 = 21,18 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{10} p_{ni} \cdot k_{ei} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i = 1,19 \cdot (2,52 \cdot 0,75 + 6,3 \cdot 0,75 + 4,5 \cdot 1,02 + 1,875 \cdot 1,02 + 0,011 \cdot 1,02 + 1,95 \cdot 1,02 + 0,6175 \cdot 1,02) = 18,74 \text{ кВАр.}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{21,18^2 + 18,74^2} = 28,28 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_C = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{ei} \cdot \cos \varphi_i}{\sum_{i=1}^{10} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{ei}};$$

$$\sum_{i=1}^{10} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{ei} \cdot \cos \varphi_i = 1,8 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 0,8 + 4,5 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 0,7 + \dots + 0,95 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 0,7 = 14,9 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=1}^{10} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{ei} = 1,8 \cdot 2 \cdot 0,7 + 4,5 \cdot 2 \cdot 0,7 + \dots + 0,95 \cdot 1 \cdot 0,65 = 17,77$$

$$\cos \varphi_C = \frac{14,9}{17,77} = 0,84$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{28,28 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 42,96 \text{ А}$$

$$I_n = \frac{P_\Sigma}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{21,18 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84} = 38,31 \text{ А}$$

Результати запишемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Розподільний пристрій РП2

№ на плані	Назва електричного споживача	К- сть	Потуж- ність		k_{ϕ}	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	K_B	$P_c,$ кВт	n_e	$K_{\text{ма}}$ _x	Розрахункові навантаження			$I_p,$ А	$I_n,$ А
			$P_n,$ кВт	$\sum P,$ кВт								$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВА р	$S_p,$ кВА		
1.1 1.2.	Просіювач борошна	2.	1.8	3.6	0.7	0.8	0.75									
2.1 2.2	Тістозмішувач	2	4.5	9.0	0.7	0.8	0.75									
7.1 7.2	Термомасляна піч	2	3.0	6.0	0.7	0.7	1.02									
8	Циклотермічна ярусна піч	1.	2.5	2.5	0.7	0.7	1.02									
12	Шафа автоматизації	1	0,02	0,02	0,5	0,7	1,02									
13	Установка вентиляційна	1	3,0	3,0	0,6	0,7	1,02									
14	Установка використання	1	0,95	0,95	0,6	0,7	1,02									
	Всього	10		25,07				0,7 1	17, 8	10	1,19	21,8	18,74	28,2 8	42,9 6	38,3 1

$$P_{P1.1} = k \cdot P_{H1.1} = 0,75 \cdot 1,8 = 1,35 \text{ кВт},$$

$$Q_{P1.1} = P_{P1.1} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{1.1} = 1,8 \cdot 0,75 = 1,35 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

$$S_{P3.4} = \sqrt{P_{P1.1}^2 + Q_{P1.1}^2} = \sqrt{1,35^2 + 1,35^2} = 1,91 \text{ кВА}.$$

$$I_{P1.1} = \frac{S_{P1.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.1}} = \frac{1,91 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 2,9 \text{ А}.$$

$$I_{H1.1} = \frac{P_{H1.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.1} \cdot \cos\varphi} = \frac{1,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84} = 3,41 \text{ А}.$$

Подібним чином обчислюємо проектні показники для кожної решти складових енергосистеми. Знайдені величини енергоспоживачів заводу систематизовані в таблиці 3.2.

3.4 Обчислення центру електричних навантажень

Таблиця 3.5 – Розрахунки потужності РП1

№	Назва обладнання	P_n , кВт	x_i , м	y_i , м	$P_{Hi} x_i$	$P_{Hi} y_i$
3	Тістовідділювач	1.44	19	10	27.36	14.4
4	Тістоокруглювач	2.3	17.5	10	40.5	23
5.1	Шафа вистоювання	1.25	16.5	9	20.625	11.25
5.2	Шафа розстійна	7.0	11.5	9	80.5	63
5.3	Шафа розстійна	7.0	9	9	63	63
6	Тісторозкаточна машина	1.1	14	10	15.4	11
9	Лінія виробн. конд. виробів	4.0	24	4	96	16
10	Машина пакувальна	2.1	7.5	9.5	15.75	19.95
11	Холодильна камера	1.2	9.5	5	11.4	6
-	ВСЬОГО	27.39	-	-	370.535	227.6

Таблиця 3.6 – Планування потужності РП2

№	Назва обладнання	P_n , кВт	x_i , м	y_i , м	$P_{Hi} x_i$	$P_{Hi} y_i$
1.1	Просіювання борошна	1.8	21	16	37.8	28.8
1.2	Просіювання борошна	1.8	21	13.5	37.8	24.3
2.1	Тістозмішувач	4.5	18	15.5	81	69.75
2.2	Тістозмішувач	4.5	18	13.5	81	60.75
7.1	Термомасляна піч	3.0	12	15	36	45
7.2	Термомасляна піч	3.0	9.5	15	28.5	45
8	Циклотермічна піч	2.5	6	15.5	15	38.75
12	Шафа автоматизації	0.02	4.5	12	0.09	0.24
13	Установка вентиляційна	3.0	13.5	18	40.5	54
14	Устан. використ.	0.95	17	16.5	16.15	15.675
-	ВСЬОГО	25.07	-	-	373.84	382.265

Координати ЦЕН РП1:

$$x_{0ПП1} = \frac{\sum_{i=1}^9 p_{ni} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^9 p_{ni}}; x_{0ПП1} = \frac{370,535}{25,07} = 13,53 \text{ м};$$

$$y_{0ПП1} = \frac{\sum_{i=1}^9 p_{ni} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^9 p_{ni}}; y_{0ПП1} = \frac{382,265}{25,07} = 15,25 \text{ м}.$$

Координати ЦЕН РП2:

$$x_{0PP2} = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_{ni} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{10} p_{ni}}; x_{0PP2} = \frac{373,84}{25,07} = 14,91 \text{ м}$$

$$y_{0PP2} = \frac{\sum_{i=1}^9 p_{ni} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^9 p_{ni}}; y_{0PP2} = \frac{227,6}{27,39} = 8,31 \text{ м}$$

Знайдені параметри осередків споживання (x_0 ; y_0) з огляду на пропорції масштабу дублюємо на схему. Вдовж лінії у положення фокуса живлення РП1 зсуваємо на 2 метри в напрямку спадання до перегородки, а позицію середовища потужності РП2 віддаляємо на 2,5 метри в бік зростання до стіни.

3.5 Розрахунок системи освітлення

Освітлення для приміщень і інші дані наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – План освітленості приміщень

№ з/п	Назва приміщення	l , м	B , м	Площа, м^2	E , лк	Тип ламп
1	Цех приготування і випічки	20	12	240	300	ДРЛ250(14)-4
2	Формувальний цех	10	6	60	300	ДРЛ250(14)-4
3	Кондитерський цех	8	6	48	300	ДРЛ250(14)-4
4	Кімната майстра	6,5	4	26	200	ST8-НА5-330-865
5	Місце прийому їжі	5	4	20	200	ST8-НА5-330-865
6	Приміщення миття	4	3,5	14	150	ST8-НА5-330-865
7	Склад борошна	6	6,5	39	100	ДРЛ250(14)-4
8	Склад запасу сировини	4	3	12	100	ST8-НА5-330-865
9	Склад готової продукції	12	6	72	100	ST8-НА5-330-865

Значення коефіцієнту запасу для усіх приміщень $K_z = 1,5$.

Проведемо розрахунок освітлення для цеху випічки.

Індекс приміщення:

$$i_n = \frac{B \cdot l_1}{h(B + l_1)}; i_n = \frac{12 \cdot 20}{5 \cdot (12 + 20)} = 1,5.$$

Оцінимо коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення:

$\rho_c = 70\%$ - стелі;

$\rho_{CT} = 50\%$ - стін;

$\rho_{II} = 10\%$ - підлоги.

Даний світильник має КСС типу D. $\eta_1 = 0,69$.

В світильнику *РСП11ВEx* – 250 – 411 встановлено лампу *ДРЛ250(14) – 4* з характеристиками: $P_n = 250 \text{ Вт}$; $\cos \varphi = 0,91$; $\tan \varphi = 0,46$; $\Phi_1 = 13500 \text{ Лм}$; $K_u = 0,9$.

Для освітленості $E_1 = 300 \text{ лк}$ необхідна к-сть світильників:

$$n = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{\eta \cdot \Phi}, \quad n = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 240 \cdot 1,15}{0,69 \cdot 13500} \approx 14.$$

z – поправочний коефіцієнт на мінімальне освітлення; $z = 1,15$;

η – значення коефіцієнта світлового потоку.

Якщо кількість світильників $n = 8$ світловий потік буде дорівнювати:

$$\Phi_n = \frac{E \cdot K_3 \cdot S_n \cdot z}{\eta \cdot n}; \quad \Phi_n = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 240 \cdot 1,15}{0,69 \cdot 14} = 12860 \text{ лм}.$$

Відхилення світлового потоку складає:

$$\delta = \frac{13500 - 12860}{13500} \cdot 100\% = 4,74\%$$

Значення відносного відхилення має допустимі межі $\delta = (-10 \dots +20)\%$.

Значення номінальної потужності ламп:

$$P_n = n \cdot P = 14 \cdot 0,25 = 3,5 \text{ кВт}.$$

Значення активної потужності:

$$P_p = k \cdot P_n = 0,75 \cdot 3,5 = 2,625 \text{ кВт},$$

де $k = 0,75$.

Значення реактивної розрахункової потужності ($\cos \varphi_4 = 0,91$):

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi = 2,625 \cdot 0,46 = 1,207 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2,625^2 + 1,207^2} = 2,89 \text{ кВА}.$$

Значення розрахункового струму:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2,89 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 7,58 \text{ А}.$$

Значення номінального струму:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{3,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,75} = 12,25 A$$

Обчислимо освітлення для складу готової продукції

Знайдемо індекс приміщення:

$$i_n = \frac{B \cdot l_1}{h(B + l_1)}; \quad i_n = \frac{6 \cdot 12}{5 \cdot (6 + 12)} = 2,05 \approx 2.$$

Параметри коефіцієнтів відбивання поверхонь: $\rho_C = 70\%; \rho_{CT} = 50\%;$
 $\rho_{II} = 10\%. \eta_1 = 0,75.$

Вибиремо світлодіодний світильник *ДСП45У* з лампами *ST8-NA5-330-865* (2шт.) з даними: $P_n = 30 \text{ Вт}; \cos \varphi = 0,75; \tan \varphi = 0,88;$
 $\Phi_1 = 3300 \text{ Лм}; K_u = 0,9.$

Значення світлового потоку становить:

$$\Phi_C = 2 \cdot 3300 = 6600 \text{ Лм}.$$

При освітленні $E_1 = 100 \text{ лк}$, кількість світильників, яка потрібна:

$$n = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{\eta \cdot \Phi}, \quad n = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 72 \cdot 1,15}{0,75 \cdot 6600} \approx 3.$$

Значення світлового потоку лампи:

$$\Phi_l = \frac{E \cdot K_3 \cdot S_n \cdot z}{\eta \cdot n}; \quad \Phi_l = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 72 \cdot 1,15}{0,75 \cdot 3} = 5520 \text{ лм}.$$

Тоді відхилення світлового потоку буде становити:

$$\delta = \frac{6600 - 5520}{6600} \cdot 100\% = 16\%$$

$$\delta = (-10 \dots +20)\%.$$

Значення номінальної потужності всіх ламп приміщення:

$$P_n = n \cdot P = 3 \cdot 0,03 = 0,09 \text{ кВт}.$$

Значення активної розрахункової потужності:

$$P_p = k \cdot P_n = 0,75 \cdot 0,09 = 0,0675 \text{ кВт}.$$

Значення реактивної розрахункової потужності ($\cos \varphi_4 = 0,75$):

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi = 0,0675 \cdot 0,88 = 0,0594 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{0,0675^2 + 0,0594^2} = 0,09 \text{ кВА}.$$

Значення розрахункового струму:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{0,09 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 0,24 \text{ А}.$$

Значення номінального струму:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{0,15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,75} = 0,52 \text{ А}.$$

Схожим шляхом заплануємо інсоляцію для решти цехових залів, показники вписуємо в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку освітлення:

№ п/п	Назва приміщення	Тип ламп	Е, лк	шт	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	I_p , А	I_n , А
1	Цех випічки	ДРЛ250(14)–4	300	14	2.625	1.207	2.89	7.58	12.25
2	Формувальний цех	ДРЛ250(14)–4	300	3	0.563	0.26	0.62	1.68	2.19
3	Кондитерський цех	ДРЛ250(14)–4	300	3	0.563	0.26	0.62	1.68	2.19
4	Кімната майстра	ST8–HA5–330–865	200	3	0.0675	0.051	0.085	0.22	0.31
5	Куток їжі	ST8–HA5–330–865	200	2	0.045	0.034	0.06	0.15	0.21
6	Приміщення для миття	ST8–HA5–330–865	150	1	0.0225	0.017	0.03	0.08	0.105
7	Склад борошна	ДРЛ250(14)–4	100	2	0.375	0.173	0.413	1.08	1.46
8	Склад запасу сировини	ST8–HA5–330–865	100	1	0.0225	0.017	0.03	0.08	0.105
9	Склад продукції	ST8–HA5–330–865	100	3	0.0675	0.0594	0.09	0.24	0.52
10	Зовнішнє освітлення	ДРЛ125(6)	-	8	0.75	0.66	1.0	2.62	2.98
11	Аварійне освітлення	ДПП06У	30	14	0.084	0.074	0.112	0.24	0.39
	ВСЬОГО				5.164	2.812	5.95	15.65	22.71

В якості аварійного освітлення використаємо світильник типу *ДПП06У* з технічними даними: $P_n = 8 \text{ Вт}$; $\cos\varphi = 0,75$; $\tan\varphi = 0,88$; $\Phi_1 = 830 \text{ Лм}$.

3.6 Визначення навантаження щитків освітлення

Розміщення щитків освітлення визначається живленням їх відповідних груп світильників.

Значення сумарної активної потужності освітлення ЩО1:

$$P_{\text{ЩО1}} = 0,045 + 0,0567 + 0,563 + 6,375 = 6,94 \text{ кВт},$$

де $P_{P\Sigma} = 6,375 \text{ кВт}$ – сумарна потужність розеточної групи, під'єднаної до ЩО1.

Значення сумарної активної потужності освітлення ЩО2:

$$P_{\text{ЩО2}} = 2,625 + 0,563 = 3,2 \text{ кВт}.$$

Значення сумарної активної потужності освітлення ЩО3:

$$P_{\text{ЩОЗ}} = 0,0225 + 0,0225 + 0,375 + 0,75 = 1,17 \text{ кВт}.$$

Значення сумарної активної потужності аварійного освітлення ЩАО:

$$P_{\text{ЩАО}} = 0,008 \cdot 14 \cdot 0,75 = 0,084 \text{ кВт}.$$

Сумарна потужність, що використовується для освітлення виробничих і допоміжних приміщень, зовнішнього освітлення території підприємства та електроживлення розеткової мережі, становить:

$$P_{\Sigma} = 7,05 + 3,2 + 1,17 + 0,084 = 11,504 \text{ кВт}.$$

Розподілимо цю потужність по трьох фазах:

- фаза «А» $P_A = 3,75 \text{ кВт}$,
- фаза «В» $P_B = 3,75 \text{ кВт}$,
- фаза «С» $P_C = 4,004 \text{ кВт}$.

Оскільки фаза «С» є авантаженішою, то знайдемо навантаження від освітлення для фази «С»:

$$P = P_C \cdot 3 = 4,004 \cdot 3 = 12,012 \text{ кВт}.$$

3.7 Визначення потужності ввідно-розподільчого пристрою

Розраховані потужності струмоприймачів шафи, також потужності освітлювального навантаження зводимо в таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 – Навантаження ВРП

№ поз.	Електроприймач	U, V	$P, \text{кВт}$	Розрахункові навантаження				
				$P_P, \text{кВт}$	$Q_P, \text{кВ} \cdot \text{Ар}$	$S_P, \text{кВ} \cdot \text{А}$	$I_P, \text{А}$	$I_H, \text{А}$
2	РП1	380	27.39	23.11	21.13	31.31	47.57	47.25
3	РП2	380	25.07	21.8	18.74	28.28	42.96	38.31
4	ЩО1	220	9.24	6.94	5.21	8.68	22.78	32.33
5	ЩО2	220	4.25	3.19	1.545	3.54	9.29	12.39
6	ЩО3	220	1.62	1.21	0.91	1.51	3.96	5.67
7	ЩАО	220	0.112	0.084	0.047	0.078	0.20	0.27
1	ВРП	380	67.682	56.334	47.582	73.398	126.76	136.22

3.8 Розрахунок навантаження трансформаторної підстанції

Значення активної розрахункової потужності підприємства:

$$P_p = P_c \cdot K_{\max} = K_{\epsilon} \cdot \sum_{i=1}^{19} p_{ni} \cdot K_{\max} = 0,71 \cdot 52,46 \cdot 1,11 = 41,34 \text{ кВт.}$$

Значення реактивної розрахункової потужності:

$$Q_p = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{19} p_{ni} \cdot k_{\epsilon i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i = 1,11 \cdot 34,26 = 38,03 \text{ кВар.}$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_{p1} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{41,34^2 + 38,03^2} = 56,17 \text{ кВА.}$$

Значення розрахункових величин потужностей освітлювального навантаження, а також розеток:

$$P_p = K_u \cdot P_n = 0,75 \cdot (9,24 + 4,25 + 1,62 + 0,112) = 11,416 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 11,416 \cdot 0,825 = 9,42 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$S_{p2} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{11,416^2 + 9,42^2} = 14,8 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Значення повної розрахункової потужності буде дорівнювати:

$$S_p = S_{p1} + S_{p2} = 56,17 + 14,8 = 70,97 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

На КТП №406 «Хлібзаводська» із трансформатором ТМ 250–10/0,4 кВ виділяємо комірку для електропостачання підприємства потужністю:

$$S_{TP,л} = 1,2 \cdot S_p = 1,2 \cdot 70,97 = 85,164 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Для резервного живлення підприємства передбачена друга лінія електропостачання від когенераційної установки.

3.9 Компенсація реактивної потужності на підприємстві

Розрахуємо необхідну потужність компенсувальних пристроїв:

$$Q_{KBH} = P_p \cdot (\operatorname{tg} \varphi_{\Phi} - \operatorname{tg} \varphi_H), \text{ кВ} \cdot \text{Ар},$$

де $\operatorname{tg} \varphi_H = 0,329$ – значення, яке задається енергосистемою відповідно до значення $\cos \varphi = 0,95$;

$\operatorname{tg} \varphi_{\Phi} = \operatorname{tg} \varphi_C = 1,33$ – розрахунковий коефіцієнт реактивної потужності;

$P_p = 52,46 \text{ кВт}$ – значення розрахункової активної потужності електроприймачів.

$$Q_{KB_H} = 52,46 \cdot (1,33 - 0,329) = 52,51 \text{кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Визначимо оптимальне значення реактивної потужності низьковольтної конденсаторної установки:

$$Q_{KH_{\text{опт}}} = \frac{Q_p}{2} - \frac{M}{r_{E_T} \cdot (1 + \lambda)}, \text{кВ} \cdot \text{Ар},$$

де $r_{E_T} = 0,0022 \text{Ом}$ – опір трансформатора, приведений до сторони НН (0,4 кВ);

$\lambda = 0,6$ – коефіцієнт, який враховує опір низьковольтної мережі;

$$M = U_H^2 \cdot \left(\frac{112,5 \cdot K_{DK_H}}{C_{O_E} \cdot T_B} + 0,5 \right), \text{кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{Ом},$$

де $K_{DK_H} = 6,0 \frac{\text{грн}}{\text{кВ} \cdot \text{Ар}}$ – питома різниці генерації 1кВ·А реактивної потужності конденсаторами;

$T_B = 8760 \text{год}$. – час роботи конденсаторних установок;

$C_{O_E} = \frac{A}{T_{\text{макс}}} + B \cdot 10^{-3}$ – вартість 1кВт·год. електроенергії, яка втрачається в конденсаторних установках;

$$\left. \begin{aligned} A &= 437 \frac{\text{грн}}{\text{кВт}}, \\ B &= 77 \frac{\text{коп}}{10 \text{ кВт} \cdot \text{год}} \end{aligned} \right\} - \text{частка двоставкового тарифу};$$

$T_{\text{макс}} = 4239 \text{год}$. – тривалість максимального навантаження на рік;

$$C_{O_E} = \frac{431}{4239} + 77 \cdot 10^{-3} = 0,18 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

$$M = 0,38^2 \cdot \left(\frac{112,5 \cdot 6,0}{0,18 \cdot 8760} + 0,5 \right) = 0,134 [\text{кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{Ом}].$$

Звідси:

$$Q_{KH_{\text{опт}}} = \frac{52,51}{2} - \frac{0,0134}{0,0022 \cdot (1 + 0,6)} = 22,44 [\text{кВ} \cdot \text{Ар}].$$

Вибиремо конденсаторну установку типу УК – 0,4 – 25 – 21У3 в кількості 1 шт. потужністю 25кВ·Ар.

Залишок реактивної потужності скомпенсуємо високовольтними конденсаторними установкою, потужністю:

$$Q_{KB_B} = Q_{KB_H} - Q_{K_{KV}} = 52,51 - 25 = 27,51 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Запас для компенсації реактивної потужності $27,51 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}$ реалізуємо на стороні 10 кВ при розрахунку компенсації іншого виробництва, яке приєднане до даної трансформаторної підстанції.

3.10 Вибір перерізу жил кабелів та проводів

Вибір площі перерізу визначаємо, враховуючи значення допустимого нагріву за допомогою коефіцієнту зменшення номінального струму $k_H = 0,8$.

Відповідно, переріз провідників, марка кабелю чи проводу, а також довжина будуть мати такі значення:

– ЕП1.1; 1.2: $I_H = 3,42 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ А}$; переріз провідників – $1,5 \text{ мм}^2$; довжина лінії – $10 \text{ і } 12 \text{ м}$; марка дроту – $\text{ВВГнг } 5 \times 1,5$;

– ЕП2.1; 2.2: $I_H = 9,76 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ А}$; – $1,5 \text{ мм}^2$; – $6 \text{ і } 8 \text{ м}$; – $\text{ВВГнг } 5 \times 2,5$;

– ЕП14: $I_H = 2,06 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ А}$; – $1,5 \text{ мм}^2$; – 3 м ; – $\text{ВВГнг } 5 \times 1,5$;

– ЕП13: $I_H = 5,7 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ А}$; – $1,5 \text{ мм}^2$; – 2 м ; – $\text{ВВГнг } 5 \times 1,5$;

ЕП 7.1; 7.2: $I_H = 6,51 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ А}$; – $1,5 \text{ мм}^2$; – $7 \text{ і } 5 \text{ м}$; – $\text{ВВГнг } 5 \times 1,5$;

– ЕП 8: $I_H = 5,47 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ А}$; – $1,5 \text{ мм}^2$; – 9 м ; $\text{ВВГнг } 5 \times 1,5$;

– ЕП 12: $I_H = 0,043 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ А}$; – $1,0 \text{ мм}^2$; – 16 м ; – $\text{ВВГнг } 5 \times 1,5$;

– ВРП – РП2: $I_H = 52,653 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 75 \cdot 0,8 = 60 \text{ А}$; переріз провідників – 16 мм^2 ; довжина відрізка лінії – 34 м ; марка кабелю – $\text{ВВГнг } 4 \times 16 + 1 \times 6$;

– ЕП10: $I_H = 4,56 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ А}$; – $1,5 \text{ мм}^2$; – 4 м ; – $\text{ВВГнг } 5 \times 1,5$;

– ЕП5.2; 5.3: $I_H = 13,3 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 25 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ А}$; – $1,5 \text{ мм}^2$; – $4 \text{ і } 5 \text{ м}$ – $\text{ВВГнг } 5 \times 1,5$;

$$5 \times 2,5;$$

$$-EP5.1; 3; 4: I_H = 2,37 + 5,0 + 2,16 = 9,53 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 =$$

$$= 11,2 A; - 1,5 \text{ мм}^2; - 9 \text{ м}; - BVГнз 5 \times 1,5;$$

$$- EP6: I_H = 2,09 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 A; - 1,5 \text{ мм}^2; - 6 \text{ м}; - BVГнз 5 \times 1,5$$

$$- EP9: I_H = 10,13 A; I_{доп} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 A; - 1,5 \text{ мм}^2; - 14 \text{ м}; -$$

$$BVГнз 5 \times 1,5;$$

$$- EP11: I_H = 2,6 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 A; - 1,5 \text{ мм}^2; - 4 \text{ м}; - BVГнз 3 \times 1,5;$$

$$- ВРП - РП1: I_H = 56,51 A; I_{доп} = 75 \cdot 0,8 = 60 A;$$

$$\text{переріз провідників} - 16 \text{ мм}^2; \text{довжина відрізка лінії} -$$

$$21 \text{ м}; \text{марка кабелю} - BVГнз 4 \times 16 + 1 \times 6;$$

$$- ВРП - ЩО1: I_H = 30,9 A; I_{доп} = 40 \cdot 0,8 = 32 A; - 6 \text{ мм}^2; - 6 \text{ м}; - BVГ$$

$$5 \times 6,0;$$

$$- ВРП - ЩО2: I_H = 14,43 A; I_{доп} = 25 \cdot 0,8 = 20 A; - 2,5 \text{ мм}^2; - 36 \text{ м}; -$$

$$BVГнз 5 \times 2,5;$$

$$- ВРП - ЩО3: I_H = 4,79 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 A; - 1,5 \text{ мм}^2; - 36 \text{ м}; -$$

$$BVГнз 5 \times 1,5;$$

$$- ВРП - ЩАО: I_H = 0,27 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 A; - 1,0 \text{ мм}^2; - 10 \text{ м}; -$$

$$ПВ 3-1,0-0,66;$$

$$- ЩО1-EP (\text{розетки}): I_H = 27,88 A; I_{доп} = 40 \cdot 0,8 = 32 A; - 4,0 \text{ мм}^2; -$$

$$30 \text{ м}; - BVГнз 3 \times 4,0;$$

$$- ЩО1-EP \text{ освітлення (склад продукції): } I_H = 0,52 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 =$$

$$11,2 A; - 1,0 \text{ мм}^2; - 11 \text{ м}; - ПВ 3-1,0-0,66;$$

$$- ЩО1-EP \text{ освітлення (кімната майстра): } I_H = 0,52 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 =$$

$$11,2 A; - 1,0 \text{ мм}^2; - 29 \text{ м}; - ПВ 3-1,0-0,66;$$

$$- ЩО1-EP \text{ освітлення (кондитерський цех): } I_H = 2,19 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 =$$

$$11,2 A; - 1,0 \text{ мм}^2; - 16 \text{ м}; - ПВ 3-1,0-0,66;$$

$$- ЩО2-EP \text{ освітлення (цех випічки): } I_H = 5,6 \times 2 A; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 =$$

- 11,2 А; – 1,0 мм²; – 18 + 22 м; – ПВЗ – 1,0 – 0,66;
- ЩО2–ЕП освітлення (формувальний цех): $I_H = 3,5 \text{ А}; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 =$
 11,2 А; – 1,0 мм²; – 27 м; – ПВЗ – 1,0 – 0,66;
- ЩО3–ЕП освітлення (мийка): $I_H = 0,21 \text{ А}; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ А};$ –
 1,0 мм²; – 21 м; – ПВЗ – 1,0 – 0,66;
- ЩО3–ЕП освітлення (склад борошна): $I_H = 1,2 \text{ А}; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 =$
 11,2 А; – 1,0 мм²; – 10 м; – ПВЗ – 1,0 – 0,66;
- ЩО3–ЕП освітлення (зовнішнє): $I_H = 2,98 \text{ А}; I_{доп} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ А};$ –
 1,0 мм²; – 107 м; – ВВГнг 3×1,5;
- КТП–ВРП: $I_H = 135,95 \text{ А}; I_{доп} = 185 \cdot 0,8 = 148 \text{ А};$ переріз провідників –
 50 мм²; довжина відрізка лінії – 12 м; марка кабелю –
 АВБбШв 3×50 + 1×25 – проводка відкрита.

3.11 Висновки до розділу

1. Виконано визначення електричних навантажень електроприймачів основного виробничого процесу та обґрунтовано вибір центрів електроживлення — розподільних пристроїв.
2. Здійснено розрахунок установленної потужності розподільчих пристроїв і силового трансформатора, а також визначено розрахункові навантаження виробничого обладнання.
3. Спроектовано освітлювальну мережу виробничих приміщень і території підприємства. З урахуванням підвищеної запиленості повітря, зумовленої технологічним процесом переробки борошна, для внутрішнього освітлення обрано світильники зі ступенем захисту IP54.
4. Проведено розрахунок СЕП з використанням комплектних розподільчих пристроїв на стороні вищої та нижчої напруг розподільної мережі.
5. Здійснено розрахунок і обґрунтовано вибір площ поперечних перерізів проводів і кабельних жил.
6. Розрахована і вибрана апаратура захисту споживачів, розподільних

пристроїв, силових шаф і щитів освітлення, а також конденсаторної установки.

7. Проведений розрахунок струмів к.з. у трьох точках кіл навантаження силового трансформатора.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Мікроклімат виробничого середовища та його вплив на продуктивність праці

Мікроклімат виробничих приміщень, в основному, впливає на тепловий стан організму людини та її теплообмін з навколишнім середовищем. Під мікрокліматом розуміють клімат внутрішнього середовища виробничих приміщень, що визначається діючою на організм людини сукупністю температури, вологості, руху повітря та теплового випромінювання нагрітих поверхонь.

Параметри мікроклімату справляють безпосередній вплив на самопочуття людини та продуктивність праці. Зниження температури за всіх інших однакових умов призводить до зростання тепловіддачі шляхом конвекції й випромінювання і може зумовити переохолодження організму.

Підвищення швидкості руху повітря (власне вентиляційним потокам) погіршує самопочуття, оскільки сприяє підсиленню конвективного теплообміну та процесу тепловіддачі при випаровуванні поту.

При підвищенні температури повітря мають місце зворотні явища. Встановлено, що при температурі повітря понад 30°C працездатність людини починає падати.

Недостатня вологість призводить до інтенсивного випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та розтріскування, забруднення хвороботворними мікробами.

Вода та солі, котрі виносяться з організму з потом, повинні замінюватися, оскільки їх втрата призводить до згущення крові та порушення діяльності серцево-судинної системи. Зневоднення організму на 6% викликає порушення розумової діяльності, зниження гостроти зору. Зневоднення на (15 ... 20)% призводить до смертельного наслідку [26].

Втрата солі позбавляє кров здатності утримувати воду та зумовлює

порушення діяльності серцево-судинної системи. За високої температури повітря і при дефіциті води в організмі посилено витрачаються вуглеводні, жири, руйнуються білки.

Тривалий вплив високої температури у поєднанні зі значною вологістю може призвести до накопичення теплоти в організмі і до гіпертермії - стану, при якому температура тіла піднімається до (38 ... 40)°C. При гіпертермії, як наслідок, тепловому ударі, спостерігається головний біль, запаморочення, загальна слабкість, спотворення кольорового сприйняття, сухість у роті, нудота, блювання, потовиділення. Пульс та частота дихання прискорюється, в крові зростає вміст залишкового азоту та молочної кислоти. Спостерігається блідість, посиніння шкіри, зіниці розширені, часом виникають судоми, втрата свідомості.

За зниженої температури, значної рухомості та вологості повітря виникає переохолодження організму (гіпотермія). На початковому етапі впливу помірного холоду спостерігається зниження частоти дихання, збільшення об'єму вдиху. За тривалого впливу холоду дихання стає неритмічним, частота та об'єм вдиху зростають, змінюється вуглеводневий обмін. Це дозволяє протягом деякого часу затримувати зниження температури внутрішніх органів. Наслідком дії низьких температур є холодові травми.

Для відновлення водного балансу рекомендовано вживати підсолону (0,5% NaCl) воду ((4 ... 5) л на людину за зміну), білково-вітамінний напій. У жарких кліматичних умовах рекомендовано пити охолоджену питну воду або чай.

Типовий технологічний процес на хлібопекарському підприємстві організовують таким чином, щоб уникати операцій і робіт, які супроводжуються виділенням в повітря робочої зони вологи, шкідливих газів і т. ін. При неможливості такого уникнення передбачають заходи щодо зниження цих виділень до нормального рівня, забезпечуючи вимоги ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення» (НПАОП 45.2-7.02-12).

При цьому машини й устаткування для механізації технологічних процесів і систем інженерного забезпечення на такому підприємстві повинні відповідати вимогам безпеки згідно ДБН А.3.2-2-2009. З метою скорочення ручної праці віддають перевагу використанню засобів малої механізації.

При неможливості повного усунення шкідливих викидів в повітря робочої зони слід шляхом використання раціональних засобів захисту працюючих згідно ДСТУ 7239: 2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація» максимально обмежити їх поширення в робочих зонах даних і суміжних приміщень до величин, що не перевищують гранично допустимі.

Волого–температурний режим в приміщеннях з регульованим мікрокліматом слід підтримувати на рівні вимог ДБН В.2.2-27: 2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення», а допустимі параметри шуму в приміщеннях та їх рівні - у відповідності з вимогами ДСТУ 2867-94 «Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги».

Номенклатура і площі санітарно-побутових приміщень на підприємстві повинні передбачатися з урахуванням облікової чисельності працюючих, групи виробничих процесів. При цьому слід враховувати співвідношення чоловіків і жінок у штаті працівників.

Всі працівники виробничого комплексу зобов'язані проходити попередні і періодичні медичні огляди. Адміністрація комплексу зобов'язана ознайомити всіх працюючих з правилами охорони здоров'я.

Усі працюючі на виробництві забезпечуються спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту згідно з «Типовими галузевими нормами безоплатної видачі спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту для працівників агропромислового комплексу».

Умови мікроклімату в приміщеннях виробництва хлібопродуктів в ТОВ «Чернівецький хлібокомбінат» відповідають нормам ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

4.2 Вимоги щодо вибухо- і пожежобезпеки при роботі на електроустановках

На хлібопекарському підприємстві використовується електрообладнання,

вибір якого і встановлення виконані у відповідності до вимог ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила улаштування електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок». Під час роботи в пожежонебезпечних зонах виконуються вимоги відповідних розділів цих правил в частині організаційних та технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт.

На дільниці перекачування борошна в ізоляції кабелів для забезпечення ступеня захисту оболонок електрообладнання від проникнення пилу застосовуються кришки, а місце вводу кабелів ущільнюється за допомогою гумових прокладок. Переносний електричний інструмент має відповідний ступінь захисту.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах мають апарати, які відключають повністю або частково технологічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Для цього передбачені автоматичні вимикачі. Обсяг вимикання визначається технологією у відповідності з проектом на підприємство.

На підприємстві використовуються силові і освітлювальні розподільчі пристрої, що мають необхідний ступінь захисту оболонок. Трансформаторна підстанція підприємства розміщена в пожежобезпечній зоні. Електрообладнання в цеху безтарного зберігання борошна має ступінь захисту оболонок згідно ДНАОП 0.00- 1.32-01.

Складські приміщення мають апарати для відключення ззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині ввідного пристрою світильника. В складах не застосовуються електронагрівальні прилади. В освітлювальній мережі складів провідники захищаються від перевантажень. Крім того, від перевантажень захищаються силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складів.

Кабелі і проводи мають оболонку і покриття з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

Ступінь вогнестійкості та мінімальні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій визначаються нормами НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». У відповідності з ними припинення пожежі досягається такими методами:

- припиненням доступу в зону горіння кисню або горючої речовини, при яких горіння неможливе;
- охолодження зони горіння нижче температури самого загоряння або пониження температури горючої речовини нижче температури горіння;
- розбавлення горючих речовин негорючими.

Для ліквідації пожежі на території підприємства використовуються первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, відра, сокири, лопати, пожежні щити). Передбачена така комплектація пожежного щита: вогнегасники (3шт.), кошма (1шт.), відра (2шт.), сокири (2шт.), лопати (2шт.), лом (2шт.), гак (1шт.), багор (1шт.). Гасіння пожеж передбачається за допомогою спеціально навчених робітників та чергового персоналу [27].

Засоби пожежогасіння обмежують розмір пожежі та забезпечують її гасіння. При цьому потрібно визначати види засобів пожежогасіння, кількість, розміщення і склад первинних засобів пожежогасіння у відповідності з НТД. Кожна будівля повинна мати план евакуації персоналу під час пожежі.

Система протипожежного захисту забезпечує незадимлення шляхів евакуації. Також повинні бути встановлені системи пожежооповіщення.

Пожежобезпечність представляє собою такий стан об'єкту або виробничого процесу, при якому виключається можливість пожежі, а у випадку її виникнення запобігається дія на людей і забезпечується захист матеріалів та обладнання. Система пожежобезпечності є складовою частиною заходів безпечних умов праці.

4.3 Організація цивільного захисту на підприємствах агропрому

Для об'єктів харчової промисловості (далі - ОХП) незалежно від форм власності і підпорядкування особливостями завдань цивільної оборони (далі - ЦО) є захист продовольства, харчової сировини, води та систем (джерел) водопостачання від радіоактивного, хімічного і бактеріологічного зараження. Захист досягається такими заходами [7]:

- розосередження джерел одержання харчопродуктів та перевірка наявності у них запасів сировини й готової продукції;

- повна ізоляція сировини та готової продукції від навколишнього середовища;
- проведення комплексу санітарно-профілактичних заходів на ОХП;
- організація радіологічного, хімічного та санітарного контролю;
- проведення знезаражування.

Захист харчової сировини, напівфабрикатів, готової продукції, води на об'єктах харчової промисловості є одним з основних завдань ЦО для переробних підприємств. Незважаючи на існуючі розбіжності між уражувальною дією радіоактивних, хімічних речовин, бактеріальних засобів способи захисту продуктів харчування мають багато спільного. Вибір способу захисту визначається видом продукції, її кількістю і умовами зберігання. Для підготування підприємства до захисту від радіоактивних речовин (далі - РР), отруйних речовин (далі - ОР) та бактеріологічного зараження (далі - БЗ) на кожному із них розробляється план захисту (план ЦО), в якому передбачається проведення організаційних та інженерно-технічних заходів.

Значна частина заходів має бути виконана під час будівництва підприємства, його реконструкції та у процесі капітального і поточного ремонтів. Заходи щодо захисту продуктів харчування можна об'єднати в такі групи [25].

Організаційні заходи є загальними для харчових підприємств всіх галузей. Основними із них є:

- розосередження виробничих і складських споруд на території підприємства під час його будівництва;
- заміна обладнання більш досконалим, герметичним;
- підготування до роботи лабораторій для аналізу продуктів харчування на забрудненість радіоактивними і хімічними отруйними речовинами;
- навчання формувань, виробничого персоналу заходам та засобам захисту харчових продуктів й сировини;
- контроль за всім комплексом заходів із захисту і підготовки до знезараження.

Під час загрози виникнення надзвичайної ситуації здійснюються такі заходи:

- приведення формувань ЦО в готовність;

- встановлення суворого пропускового режиму на підприємстві, охорона важливих об'єктів, в тому числі систем водопостачання;
- приведення до готовності пунктів санітарного оброблення (ПуСО), санітарних пропускників, знезаражувальних засобів та матеріалів.

Інженерно-технічні заходи включають в себе [25]:

- герметизацію виробничих і складських приміщень;
- встановлення фільтропоглиначів на вентиляційних системах;
- встановлення протипилових фільтрів, кондиціонерів у виробничих приміщеннях;
- герметизація технологічного обладнання.

Заходи для захисту продуктів харчування за допомогою тари, пакувальних та покрівельних матеріалів. Щодо захисних властивостей тару поділяють на три категорії: вищу, першу й другу [26].

До вищої категорії відноситься тара, яка захищає від радіоактивних, отруйних речовин і бактеріальних засобів. Це - герметично закрита металева, скляна тара і деякі види дерев'яної і полімерної тари; фляги з гумовою кільцевою прокладкою, сталі і дерев'яні заливні бочки, банки для консервів, туби алюмінієві, банки скляні, закатані бляшаними кришками, пляшки вузького горла, герметично закриті металевими капсулами чи закупорені щільними корками або поліетиленовими пробками, пакети із комбінованого матеріалу, паперу, фольги, поліетилену.

Тара першої категорії захищає продовольство від радіоактивних речовин і бактеріальних засобів. До неї, перш за все, відносяться: бочки дерев'яні сухої тари, ящики дощаті з поліетиленовими вкладками, банки і пакети із комбінованого матеріалу (для упаковки концентратів, круп, молока), пляшки із поліхлорвінілу для рослинної олії.

До другої категорії відноситься тара, яка захищає продовольство тільки від радіоактивних речовин і дещо зменшує дію отруйних хімічних речовин та бактеріальних засобів. Це - ящики, багатошарові паперові мішки тощо.

Продукція та сировина у негерметизованих приміщеннях у період загрози радіоактивного забруднення місцевості має бути захищена покриттям із брезенту або прогумованої тканини. Крім штабелів готової продукції, захисним покриттям

вкривають штабелі тари.

Санітарно-профілактичні заходи [26]:

- 1) суворе дотримання правил особистої гігієни;
- 2) регулярний санітарно–гігієнічний контроль за якістю продукції, води та вододжерел;
- 3) утримання в чистоті будівель, допоміжних приміщень, обладнання відповідно до санітарних правил харчових підприємств;
- 4) утримання території заводу у чистоті; під'їзні шляхи, майданчики перед виробничими та складськими приміщеннями мають бути заасфальтовані з певним ухилом для збігання промивної та атмосферної вод у бік від будівель;
- 5) збереження відходів у бетонних або в щільно збитих просмолених (оббитих всередині жерстю) ящиках з кришками, що щільно прилягають. Сміття та відходи слід вивозити кожний день, після чого ящики ретельно вичищати та дезінфікувати 20%-м розчином вапняного молока або розчином хлорного вапна.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі досліджені деякі з методів забезпечення ефективності системи електропостачання хлібопекарського підприємства, для підвищення фінансової стійкості якого використане відновлювальне джерело енергії - дахова сонячна електростанція невеликої потужності, що зумовлене графіками (профілями) підприємства у денно-вечірню пору доби.

Отримані такі результати:

1. Аналіз ефективності роботи енергетичного обладнання хлібобулочного виробництва показав, що хлібопекарська промисловість є однією з найбільш енергомістких у харчовому секторі, де найбільшими споживачами електроенергії є процеси замішування тіста.

2. Унормування технологічних процесів та зменшення простоїв електрообладнання на етапах приготування тістових заготовок значно знижує питомі витрати електроенергії, а впровадження систем ключових показників ефективності (КПЕ) та стандартів *ISO 50001* дозволяє проводити оцінку залежності енергоспоживання від обсягів виробництва та площі приміщень.

3. Встановлення конденсаторних установок на стороні низької напруги дозволяє знизити як струми в кабелях, так і, відповідно, втрати напруги й підвищити пропускну здатність електромережі.

4. В умовах зростаючих тарифів на електроенергію економічно привабливими є проекти встановлення на підприємствах дахових сонячних електростанцій для покриття власних потреб, розміри та максимальна продуктивність яких залежать від існуючих графіків (профілів) навантаження.

5. Профілі навантаження даного підприємства в денно-вечірній період доби з потужністю на рівні (20 ... 30) кВт та з врахуванням пікових навантажень від роботи потужних споживачів електроенергії на рівні (30 ... 50) кВт роблять економічно привабливою роботу дахової сонячної електростанції потужністю 120 кВт, що при фіксованій річній вартості електроенергії на рівні 8,6 грн за 1 кВт·год становить строк окупності 2 роки.

6. Технологія оптимізації перерізу кабелю є найнадійнішою та найпростішою технологією енергозбереження, що забезпечує прийнятний рівень рентабельності інвестицій.

7. Гранична економічна щільність струму, що склалася при існуючих співвідношеннях вартості електроенергії та вартості кабелю різного перерізу становить $\sim 2 \text{ А/мм}^2$. При перевищенні цього порогу економічно вигідно перейти до застосування кабелю більшого перерізу.

8. Проведений розрахунок основних компонентів електромережі підприємства: електроприймачів, центрів живлення, розподільних пристроїв.

9. Освітлювальна мережа виробництва спроектована з врахуванням технологічної запиленості повітря борошном та вибрана із захистом IP54.

10. Кабельно-провідникова продукція для з'єднання елементів електромережі розрахована на основі потужності споживачів.

11. Розрахована і вибрана апаратура захисту споживачів, розподільних пристроїв, силових шаф і щитів освітлення, а також конденсаторної установки.

12. Проведений розрахунок струмів к.з. у трьох точках кіл навантаження силового трансформатора.

Розроблений комплекс заходів з підвищення енергоефективності системи електропостачання виробництва хлібо-булочних виробів сприятиме економічній стабільності підприємства та безпечній роботі персоналу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Батлук В. А. Охорона праці. Підручник / В. А. Батлук, М. П. Кулик, Р. А. Яцюк. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2009, 360 с.
2. Белік В. Стан і проблеми хлібопекарської промисловості України // Техніка АПК. – 2012. – №4-5. – С. 11–13.
3. Бойко О. А. Єдина державна система цивільного захисту в умовах реалізації завдань децентралізації влади // Матеріали 20-ї ВНПК «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (9–10 жовтня 2018 р., м. Київ) : Зб. тез доп. – К., 2018. – С. 49–51.
4. Гривківська О. В. Державна підтримка інноваційної діяльності підприємств харчової промисловості в умовах військового стану // Київський економічний науковий журнал, 2024. - № 4. - С. 49-53..
5. Грищенко А, В. Дослідження тенденцій розвитку хлібопекарської галузі України // Агросвіт. - 2025. - Вип. 1. - С. 77–89.
6. Євдін О. М. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека : посібник / За заг. ред. В. В. Могильниченка. – К. : КІМ, 2007. – 636 с.
7. Жигулін О. А. Цивільний захист, безпека праці та життєдіяльності : навч. посібник. - Ніжин, 2020. - 277 с.
8. Жигулін О. А. Безпека праці в енергоустановках : навч. посібн. - Ніжин : Ніжин. агротехн. ін-т, 2020. - 189 с.
9. Карнаушенко Л. І. Шляхи розвитку хлібопекарської промисловості України // Зернові продукти і комбікорми. – 2011. – №1. – С. 17–19.
10. Коваленко Л. О. Проблеми та перспективи розвитку хлібопекарської промисловості / Л. О. Коваленко, Т. В. Міхеєнко // Науковий вісник ЧДІЕУ. - 2020. - №2 (22). - С. 19–24.
11. Кодекс цивільного захисту України (від 02.10.2012 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
12. Корнійчук А. А. Аналіз стану та перспектив розвитку підприємств хлібопекарської галузі Житомирської області // Соціально-економічні проблеми

і держава. - 2013. - Вип. 2 (9). - С. 67–74.

13. Куземко Н. А. Підвищення ефективності системи електропостачання виробництва хлібобулочних виробів / Н. А. Куземко, О. О. Вакуленко, Р. М. Цимбалістий // Матеріали МНТК «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 180-річчя з дня народження Івана Пулюя та 65-річчя з дня заснування ТНТУ, 28–29 травня 2025 - Т. : ФОП Паляниця В. А., 2025. - С. 39–40.
14. Майстренко Н. Ю. Резерви використання вторинних теплових енергетичних ресурсів у харчовій промисловості України // Проблеми загальної енергетики. - 2013. - Вип. 2 (33). - С. 43–48.
15. Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу «Проектування промислового освітлення» / Укл. Костик Л. М. - Тернопіль : ТНТУ, 2015 - 28 с.
16. Мілих В. І. Електропостачання промислових підприємств : підручн. для студ. електромех. спец. / В. І. Мілих, Т. П. Павленко. - К. : Каравела, 2018 - 272 с.
17. Ниник Л. Р. Стійкість роботи промислових об'єктів у надзвичайних ситуаціях. – Рівне : Вид-во УДАВГ, 1998. – 162 с.
18. Нідельчу В. В. Перспективи розвитку хлібопекарської галузі України в умовах глобалізації та цифрової трансформації // Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління. - 2025. - Вип. 18. - С. 21–29.
19. Основи безпечної експлуатації електроустановок : підручн. / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.
20. Охорона праці в галузі : методичні вказівки / Укл. к.т.н., доц. каф. ТМ І. Г. Ткаченко. – Тернопіль, ТДТУ, 2001. – 32 с.
21. Повержук У.-Ю. М. Оцінка розвитку хлібопекарської галузі в контексті формування валової доданої вартості регіонів України // Науковий вісник Ужгородського нац. ун-ту. Серія: міжнародні економічні відносини та світове господарство. - 2016. - Вип. 9. - С. 129–132.
22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-1998. – К. : Індустрія, 2020 – 176 с.
23. Правила улаштування електроустановок / 3-є вид., перероб. і доп. - Х. :

Форт, 2010. - 732 с.

24. Салтиков В. О. Проектування, монтаж і експлуатація освітлювальних установок : консп. лекцій для студ. електромех. спец. - Х. : Харків нац. ун-т міськ. госп., 2020. - 95 с.
25. Сисак І. М. Вибір трансформаторів підстанцій за навантажувальною здатністю / І. М. Сисак, Н. В. Бабанін, А. В. Гапонюк // Матеріали VI МНТК молодих учених та студентів ТНТУ «Актуальні задачі сучасних технологій» (16–17 листопада 2017 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. Т. 2. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – С. 89–90.
26. Сичевський М. П. Стан та пріоритетні напрямки розвитку харчової промисловості в Україні // Економіка АПК. - 2012. - №1. - С. 38–42.
27. Цивільна оборона на підприємствах харчової промисловості : курс лекцій для студ. вузів / Укл. О. П. Слободян, В. А. Заєць, Т. М. Чорна. - К. : НУХТ, 2011. – 125 с.
28. Шестеренко В. Є. Електропостачання промислових підприємств : посібн. для курс. та дипл. проект. / В. Є. Шестеренко, О. В. Шестеренко. - К. : Нова книга, 2013. - 424 с.
29. Яковлев В. Ф. Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Системи електричного освітлення : навч. посібн. / В. Ф. Яковлев, Р. В. Кушлик, С. О. Квітка; за заг. ред. Яковлева В. Ф. - Мелітополь, 2010. - 106 с.
30. Cappelli Alessio (2021) Baking technology: A systematic review of machines and plants and their effect on final products, including improvement strategies // Trends in Food Science & Technology, 2021. - Vol. 115. - P. 275-284.
31. Drozd B. (2011) Analysis of energy consumption in the small bakery // Agricultural and Forest Engineering, 2011. - Vol. 58. - P. 57-66
32. Islam F. El-Adly (2009) Bread baking process energy requirements as affected by oven belt speed and type of breads // Journal of Food Engineering, 2009. - Vol. 91. - P. 428–433.
33. Papasidero D. (2016) Energy optimization of bread baking process undergoing quality constraints // Energy, 2016. - Vol. 116, Part 2. - P. 1417-1422.
34. Parker A. et al. (2021) A Case Study to Quantify Variability in Building

