**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.**

_____Електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
(повна назва кафедри)

# Кваліфікаційна робота

_____перший (бакалаврський) рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему _Аналіз ефективності електроспоживання виробництва бетону _____

Виконав: студент __4___ курсу, групи__6.1412
спеціальності _____141 Електроенергетика,_____
електротехніка та електромеханіка_____
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми _Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка_____
(назва освітньої програми)
_____Приймак Р. В._____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___д.т.н., проф. Биковський О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент___Коломієць Д.М._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М._____
Кафедра____електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
Рівень вищої освіти____перший (бакалаврський) рівень_____
Спеціальність __141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри
к.т.н., доц._____Д.М. Морозов
«___»_____2026__року

**З А В Д А Н Н Я**
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____Приймаку Роману Васильовичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _Аналіз ефективності електроспоживання виробництва бетону _____
керівник роботи ___д.т.н., проф. Биковський О.Г._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_23_»_грудня__205__року №_2833 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____11 червня 2026 р._____
3 Вихідні дані до роботи: Технологічне обладнання цеху: Гідравлічний вібропрес: встановлена потужність 7,2 кВт, Бетонозмішувач БМ-0.4 (для основного важкого бетону): потужність 4,4 кВт, Бетонозмішувач БМ-0.1 (для облицювального/кольорового шару): потужність 1,8 кВт, Скіповий підйомник інертних матеріалів: потужність 3,6 кВт, Шнековий вивантажувач цементу: потужність 2,4 кВт.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Технологічна характеристика виробництва бетонних виробів 2) Розрахунково-технічна частина реалізації заходів з енергозбереження 3) Економічна ефективність та оцінка інвестиційної привабливості енергозберігаючих заходів
5 Перелік графічного матеріалу _1) План цеху з розміщенням технологічного та енергетичного обладнання 2) Аналіз стану огороджувальних конструкцій та

розрахунок тепловтрат будівлі цеху 3) Схема та обладнання системи водяного опалення цеху на базі електрокотла 4) Конструктивне виконання сушильної камери та розміщення елементів системи кондиціонування 5) Техніко-економічні показники та дисконтований графік окупності пропонованих енергозберігаючих заходів

6 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище. ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділ 1 | Биковський О.Г., д.т.н., проф. | | |
| Розділ 2 | Биковський О.Г., д.т.н., проф. | | |
| Розділ 3 | Биковський О.Г., д.т.н., проф. | | |

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Технологічна характеристика виробництва бетонних виробів | 01.03.2026 | |
| 2 | Розрахунково-технічна частина реалізації заходів з енергозбереження | 01.04.2026 | |
| 3 | Економічна ефективність та оцінка інвестиційної привабливості енергозберігаючих заходів | 10.05.2026 | |

Студент _____ Приймак Р. В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Биковський О.Г.
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер _____ С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

SCAN AnyScanner

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 53 сторінки, 10 рисунків, 15 таблиць, 25 джерел.

У роботі виконано порівняльний аналіз варіантів зниження енергетичних витрат на виробництві. Розглянуто комплексні заходи з термомодернізації будівлі цеху, що дозволяють продовжити сезон його експлуатації, а також спорудження внутрішньоцехової сушильної камери для забезпечення безперервного річного випуску продукції. Для забезпечення нормативного мікроклімату та опалення цеху обґрунтовано вибір електричного ТЕНового котла, а для підтримки вологісно-температурного режиму в сушильній камері — інверторної системи кондиціонування.

Оцінку економічної ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів проведено на основі показників простого терміну окупності, чистого дисконтованого доходу (NPV), а також шляхом аналізу динаміки питомих витрат електроенергії на одиницю готової продукції.

Окремо опрацьовано питання охорони праці та пожежної безпеки на виробництві. Проведено інженерний розрахунок параметрів однорядних регульованих жалюзійних ґрат системи природної вентиляції.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ, ЦЕХ БЕТОННИХ ВИРОБІВ, ТРОТУАРНА ПЛИТКА, ЕЛЕКТРОКОТЕЛ, СУШИЛЬНА КАМЕРА, КОНДИЦІОНЕР, НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ, ПИТОМІ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЖАЛЮЗІЙНІ ҐРАТИ

ЗМІСТ

Вступ……..……....7
1. Технологічна характеристика виробництва бетонних виробів ..... 10
1.1. Технологічний процес виготовлення тротуарної плитки методом вібропресування …….. 10
1.2. Енергоспоживання цеху з виробництва бетонних виробів ..... 12
1.3. Пропозиції щодо підвищення енергоефективності цеху ..... 15
1.3.1. Варіанти теплоізоляції огороджувальних конструкцій ..... 16
1.3.2. Характеристика джерел енергії та системи опалення ..... 20
1.3.3. Комплекс заходів щодо підвищення надійності та безперебійності електропостачання ..... 23
2. Розрахунково-технічна частина реалізації заходів з енергозбереження …….. 27
2.1. Визначення розрахункової теплової потужності опалювальних систем приміщення ..... 27
2.2. Розрахунок параметрів утеплення цеху ..... 29
2.2.1. Розрахунок системи утеплення пінополістиролом ..... 29
2.2.2. Утеплення за допомогою піноізолу ..... 31
2.2.3. Тепловтрати будівлі до та після термомодернізації ..... 32
2.3. Вибір та розрахунок обладнання системи обігріву цеху ..... 33
2.3.1. Розрахунок і вибір електрокотла ..... 33
2.3.2. Вибір елементів водяної системи опалення ..... 34
2.4. Параметри та розрахунок сушильної камери ..... 36
2.5. Вибір автономного джерела живлення ..... 36
3 Економічна ефективність та оцінка інвестиційної привабливості енергозберігаючих заходів ..... 39
3.1. Техніко-економічний аналіз переходу на електроопалення цеху з використанням ТЕНового котла ..... 39
3.2. Економічна доцільність електроопалення утепленого цеху ..... 41

3.3. Економічна оцінка та розрахунок окупності спорудження цехової сушильної камери ..... 46

3.4. Оцінка економічної доцільності використання дизель-генераторної установки для резервного живлення ……... 50

Висновки……..…..50

Перелік посилань…….....51

# ВСТУП

Показник енергоємності валового внутрішнього продукту (ВВП) України, який слугує визначальним критерієм енергетичної та економічної ефективності функціонування національного господарства, у 2–3 рази перевищує аналогічні середні показники країн Європейського Союзу та промислово розвинених держав світу. Об'єктивними причинами такої високої питомої енергоємності є високий рівень морального та фізичного зносу основних виробничих фондів (який у промисловому секторі сягає 60–70%), переважання енергоємних сировинних галузей у структурі промисловості, значні втрати при транспортуванні енергоносіїв, а також суттєва частка тіньового сектору економіки.

Висока енергоємність виробництва безпосередньо знижує цінову та якісну конкурентоспроможність вітчизняної продукції як на внутрішньому, так і на міжнародних ринках через високу частку паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у її собівартості. Крім того, це створює критичне навантаження на фінансово-економічну систему держави в умовах високої залежності від імпорту первинних енергоносіїв та значної дестабілізації енергетичного сектору.

Якщо для провідних західних країн впровадження енергоефективних технологій є інструментом підвищення маржинальності бізнесу та виконання екологічних стандартів (зокрема концепцій Decarbonization та Green Deal), то для України енергоефективність і термомодернізація промислово-виробничого комплексу перетворюються на стратегічний фактор забезпечення національної та енергетичної безпеки, збереження економічного суверенітету й гарантування платоспроможності кінцевих споживачів.

Ключовими напрямами підвищення енергоефективності у промисловому секторі виступають:

– зменшення питомих витрат палива та електроенергії на випуск одиниці товарної продукції;

– мінімізація технологічних втрат під час транспортування та перетворення різних видів енергії;

– впровадження новітніх енергозберігаючих технологій та оптимізація технологічних процесів;

– упровадження систем тотального обліку та автоматизованого контролю енерговикористання;

– широке залучення вторинних енергетичних ресурсів та відновлюваних джерел енергії.

Для промисловості будівельних матеріалів стратегічною метою є зниження енергоємності процесів виготовлення цементу, стінових блоків, бетонних і залізобетонних конструкцій та штучних покриттів. За оцінками фахівців, створення та впровадження енергоефективних модульних технологій і устаткування для випуску виробів з бетону дозволяє очікувати зниження питомих витрат електроенергії й палива на 15–20%. Раціоналізація режимів роботи теплових агрегатів та поліпшення теплової ізоляції забезпечують додаткове скорочення споживання ПЕР на 5–10%, а налагодження систем енергетичного менеджменту й обліку дає змогу зекономити до 5% ресурсів без залучення суттєвих капіталовкладень.

Діючі будівельні норми України щодо теплової ізоляції огороджувальних конструкцій висувають суворі вимоги до термоопору стін та перекриттів. Досягнення необхідних показників теплозахисту за рахунок збільшення товщини традиційних матеріалів (цегли, важкого бетону) є економічно недоцільним та інженерно неефективним.

Найбільш прийнятним шляхом вирішення цієї проблеми є застосування високоефективних багатошарових систем утеплення та рідких полімерних матеріалів.

Основні фактори актуальності проєкту:

– Зниження енергоємності: Термомодернізація будівлі цеху разом із модернізацією теплового обладнання дає змогу зменшити річні потреби в тепловій енергії на 30–40%;

– Всесезонність виробництва: Забезпечення нормативного температурного режиму дозволяє усунути сезонний характер робіт і здійснювати виготовлення та сушіння вібропресованих бетонних виробів протягом усього року;

– Зменшення собівартості: Зниження питомих витрат електроенергії та палива на одиницю готової продукції безпосередньо підвищує її конкурентоспроможність на ринку.

Зазначені фактори визначають практичну цінність та актуальність кваліфікаційного проєкту, спрямованого на обґрунтування та розрахунок комплексу енергоефективних рішень для цеху з виробництва вібропресованих бетонних виробів.

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЦТВА БЕТОННИХ ВИРОБІВ

## 1.1. Технологічний процес виготовлення тротуарної плитки методом вібропресування

Тротуарна плитка являє собою високотехнологічний будівельний матеріал, що застосовується для влаштування покриття пішохідних зон, майданчиків та під'їзних шляхів будь-яких конфігурацій. Укладання плитки на піщано-щебеневу основу має численні переваги порівняно з асфальтобетонним покриттям:

- відсутність застою дощових і талих вод завдяки дренажу через міжплиткові шви;
- збереження природного газо- та водообміну ґрунту й кореневої системи зелених насаджень;
- висока ремонтопридатність покриття при проведенні підземних інженерних робіт із можливістю повторного використання демонтажних елементів;
- відсутність розм'якшення та виділення летких токсичних сполук під час літнього нагрівання поверхні.

Технологічний процес виготовлення тротуарної плитки методом напівсухого вібропресування складається з трьох основних етапів:

1. Приготування формовочної бетонної суміші. У зв'язку з використанням жорстких бетонів із низьким водоцементним відношенням задіюються бетонозмішувачі примусової дії. Для одношарових виробів використовується один змішувач, для двошарових (із лицьовим кольоровим шаром) — два.

2. Формування виробів. Готова суміш подається в матрицю вібропреса, розташовану на вібромайданчику. У матрицю опускається пуансон, після чого

вмикаються вібраційні механізми. Суміш ущільнюється під одночасним впливом тиску пуансона й віброімпульсів протягом 7–12 секунд. Після підйому матриці й пуансона піддон із виформованою плиткою подається на ділянку сушіння.

3. Тепловологісна обробка (сушіння). Вироби піддаються дозріванню до досягнення бетоном критичної міцності не менше 1,5–2,0 МПа (що зазвичай триває від 5 до 8 годин при підвищеній температурі). Після цього плитка укладається на транспортні піддони, а звільнені технологічні піддони повертаються у цикл формування.

Існують два основні способи сушіння бетонних виробів:

– Сушіння в умовах приміщення цеху (природне дозрівання): не вимагає спеціальних сушильних камер, але унеможливлює виробництво в холодний період року через відсутність опалення та теплоізоляції будівлі;

– Сушіння у спеціалізованій сушильній камері: забезпечує підтримку нормативних температурних (+15...+20 °C) і вологісних параметрів протягом усього року, але супроводжується додатковим споживанням енергоресурсів.

Використання жорстких бетонів при вібропресуванні забезпечує високу міцність готових виробів (марки М200–М400) та морозостійкість (Мрз 200–300 циклів) при чіткій геометрії поверхонь.

До складу основного технологічного комплексу входять: бетонозмішувачі примусової дії, гідравлічний вібропрес, скіповий підйомник інертних матеріалів, вібросито для фракціонування заповнювачів та комплект піддонів.

## 1.2 Енергоспоживання цех з виробництва бетонних виробів

Склад та технічні характеристики основного технологічного обладнання цеху наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Технічні дані споживачів електроенергії цеху

| Назва обладнання | Потужність, кВт | Параметри / Продуктивність | Функціональне призначення |
|---|---|---|---|
| Бетонозмішувач БМ-0.1 | 1,8 | Об'єм замісу 60 л, час 2–3 хв | Перемішування фактурного шару |
| Бетонозмішувач БМ-0.4 | 4,4 | Об'єм замісу 300 л, час 3–5 хв | Перемішування основного важкого бетону |
| Вібросито | 0,20 | Продуктивність 16 л/хв | Просівання сипучих матеріалів |
| Гідравлічний вібропрес | 7,2 | Цикл формування 20–30 с | Формування бетонних виробів |
| Скіповий підйомник | 3,6 | Автоматичне керування | Подача заповнювачів у змішувач |
| Шнековий вивантажувач | 2,4 | Продуктивність 8 т/год | Транспортування цементу із силосу |

На дільниці підготовки інертних матеріалів розміщено фракціонувальне обладнання (таблиця 1.2).

Таблиці 1.2 – Обладнання дільниці підготовки заповнювачів

| Назва обладнання | Потужність, кВт | Характеристики | Призначення |
|---|---|---|---|
| Гуркіт | 4,8 | Продуктивність 8 т/год | Фракціонування відсіву |
| Стрічкові конвеєри (1–4) | 12,8 | Сумарна довжина 35 м | Транспортування інертних |
| Водяний насос | 2,4 | Подача 6 м³/год | Забезпечення технологічної води |

Для порівняльного аналізу за базову одиницю випуску прийнято тротуарну плитку прямокутної форми розміром 200×100×60 мм. Річні обсяги споживання електроенергії та води за минулі періоди наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Загальні витрати енергоносіїв цехом по роках

| Рік | Витрата електроенергії, кВт·год | Витрата води, м³ |
|---|---|---|
| 2023 р. | 17 056,6 | 2 822 |
| 2024 р. | 30 772,4 | 9 734 |
| 2025 р. | 28 403,9 | 8 286 |

Помісячний помісячний випуск плитки та витрати енергоносіїв за останні два роки подано в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Кількість виготовленої продукції та енергоспоживання впродовж року

| | Плитка, м² | Електроенергія, кВт·год | Вода, м³ | Плитка, м² | Електроенергія, кВт·год | Вода, м³ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Лютий | 1 102,8 | 1 560 | 698,5 | 653,6 | 972,8 | 930,9 |
| Березень | 1 936,8 | 1 784 | 944,1 | 2 353,7 | 2 111,2 | 798,1 |
| Квітень | 2 605,9 | 2 136 | 856,4 | 2 497,8 | 2 144,0 | 663,7 |
| Травень | 3 190,6 | 2 560 | 823,4 | 2 191,6 | 1 936,0 | 644,9 |
| Червень | 2 899,2 | 2 336 | 842,3 | 3 116,2 | 2 656,0 | 771,3 |
| Липень | 3 165,1 | 2 520 | 881,6 | 2 856,0 | 2 384,0 | 682,5 |
| Серпень | 2 834,6 | 2 304 | 834,6 | 2 959,3 | 2 404,0 | 701,3 |
| Вересень | 3 275,2 | 2 624 | 807,2 | 2 908,6 | 2 388,0 | 693,9 |
| Жовтень | 3 199,1 | 2 608 | 904,1 | 3 305,2 | 2 736,0 | 754,8 |
| Листопад | 2 960,3 | 3 090,4 | 817,7 | 2 798,4 | 2 376,0 | 789 |
| Грудень | 2 002,8 | 2 760 | 1 003 | 1 803,6 | 1 840,0 | 856,2 |

На основі даних таблиці 1.4 розраховано питомі витрати електроенергії (кВт·год/м²) та води (м³/м²) на виготовлення 1 м$^2$ тротуарної плитки (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 – Розрахунок питомих витрат ресурсів за місяцями

| Місяць | Питомі витрати електроенергії, кВт·год/м² | | Питомі витрати води, м³/м² | |
|---|---|---|---|---|
| Лютий | 1,415 | 1,488 | 0,633 | 1,424 |
| Березень | 0,921 | 0,897 | 0,487 | 0,339 |
| Квітень | 0,82 | 0,858 | 0,329 | 0,266 |
| Травень | 0,802 | 0,883 | 0,258 | 0,294 |
| Червень | 0,806 | 0,852 | 0,291 | 0,248 |
| Липень | 0,796 | 0,835 | 0,279 | 0,239 |
| Серпень | 0,813 | 0,812 | 0,294 | 0,237 |
| Вересень | 0,801 | 0,821 | 0,246 | 0,239 |
| Жовтень | 0,815 | 0,828 | 0,283 | 0,228 |
| Листопад | 1,044 | 0,849 | 0,276 | 0,282 |
| Грудень | 1,378 | 1,02 | 0,501 | 0,475 |
| Середнє за рік | 0,901 | 0,873 | 0,323 | 0,302 |
| Середнє за теплий період | 0,808 | 0,841 | 0,283 | 0,25 |

Аналіз даних таблиць 1.4–1.5 свідчить, що в холодні місяці року питомі витрати електроенергії зростають майже у 1,7–1,8 раза порівняно з теплим періодом, тоді як обсяг виробництва падає в кілька разів, а в січні зупиняється повністю.




Рисунок 1.5 – Порівняльна діаграма питомих витрат електроенергії на виробництво плитки

Тому шляхом впровадження енергозберігаючих заходів у даному дипломному проекті пропонується не тільки зменшити витрати електроенергії на виготовлення та сушіння бетонних виробів у холодну пору року, а ще й забезпечити можливість беззупинного виробництва.

## 1.3 Пропозиції щодо підвищення енергоефективності цеху

Аналіз роботи цеху дозволяє сформувати два ключові напрями технічних рішень для усунення сезонності та зниження питомих витрат:

1. Суцільна теплоізоляція огороджувальних конструкцій будівлі цеху:

– Переваги: забезпечення належного температурного режиму для цілорічного випуску виробу;

– Недоліки: високі первинні капіталовкладення та необхідність підтримки температури близько +20 °С у всьому будівельному об'ємі.

2. Будівництво сушильної камери безпосередньо усередині цеху:

– Переваги: суттєво менші капітальні витрати, локальне регулювання оптимальних параметрів сушіння ( +15...+20 °С ) та скорочення тривалості технологічного циклу;

– Недоліки: неможливість формування виробу при падінні загальної температури в приміщенні цеху нижче +5 °С.

### 1.3.1 Варіанти теплоізоляції огороджувальних конструкцій

Найбільш раціональним та ефективним методом зниження теплових втрат споруди є якісна теплоізоляція її огороджувальних конструкцій. Під час зовнішнього утеплення будівель застосовують широкий спектр теплоізоляційних матеріалів, які потребують надійного захисту від деструктивного впливу атмосферних чинників (опадів, сонячного випромінювання та температурних коливань). При монтажі теплоізоляційного шару на стінах із поздовжніми стикувальними швами необхідно забезпечити зміщення стиків плит утеплювача відносно конструктивних швів будівлі для запобігання утворенню містків холоду. Порівняльний аналіз теплозахисних властивостей різних матеріалів наведено на рис. 1.6.

Термомодернізацію огороджувальних конструкцій будівель здійснюють із застосуванням кількох основних технологічних підходів:

Система «скріпленої теплоізоляції» (мокрий фасад). Принцип дії даної системи полягає у фіксації на зовнішній поверхні стіни шару теплоізоляційних плит органічного (екструдований або спінений пінополістирол) або неорганічного походження (базальтова мінеральна вата). Ключовою технологічною особливістю системи є застосування комбінованого способу

кріплення плит, що поєднує клейовий розчин із механічною фіксацією спеціальними тарілчастими дюбелями. Щільне підганяння плит мінімізує міжплиткові стики, що забезпечує формування суцільного термоізоляційного контуру та запобігає утворенню містків холоду. Конструктивне виконання системи подано на рисунку 1.7.

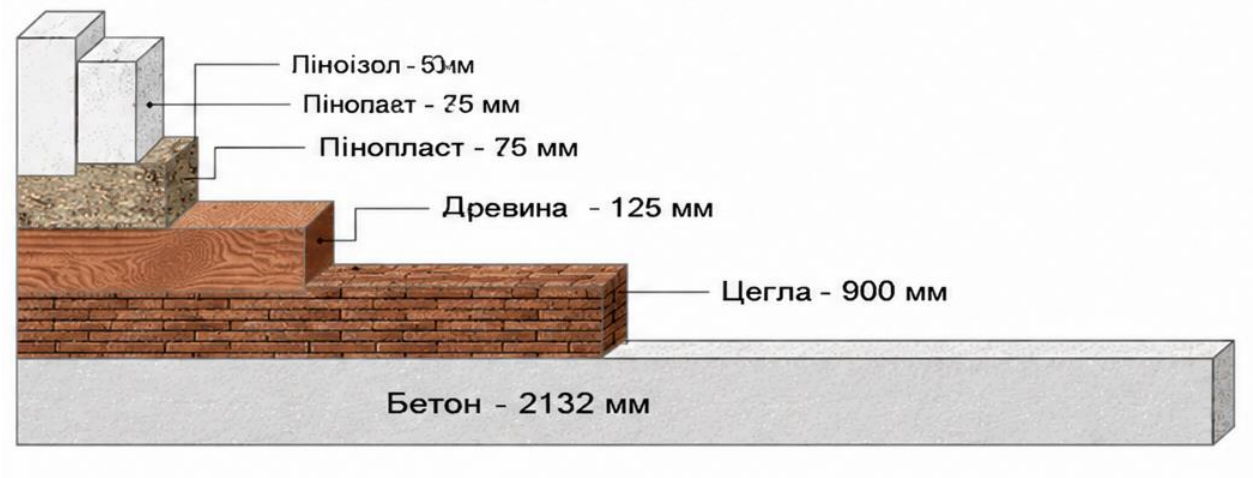
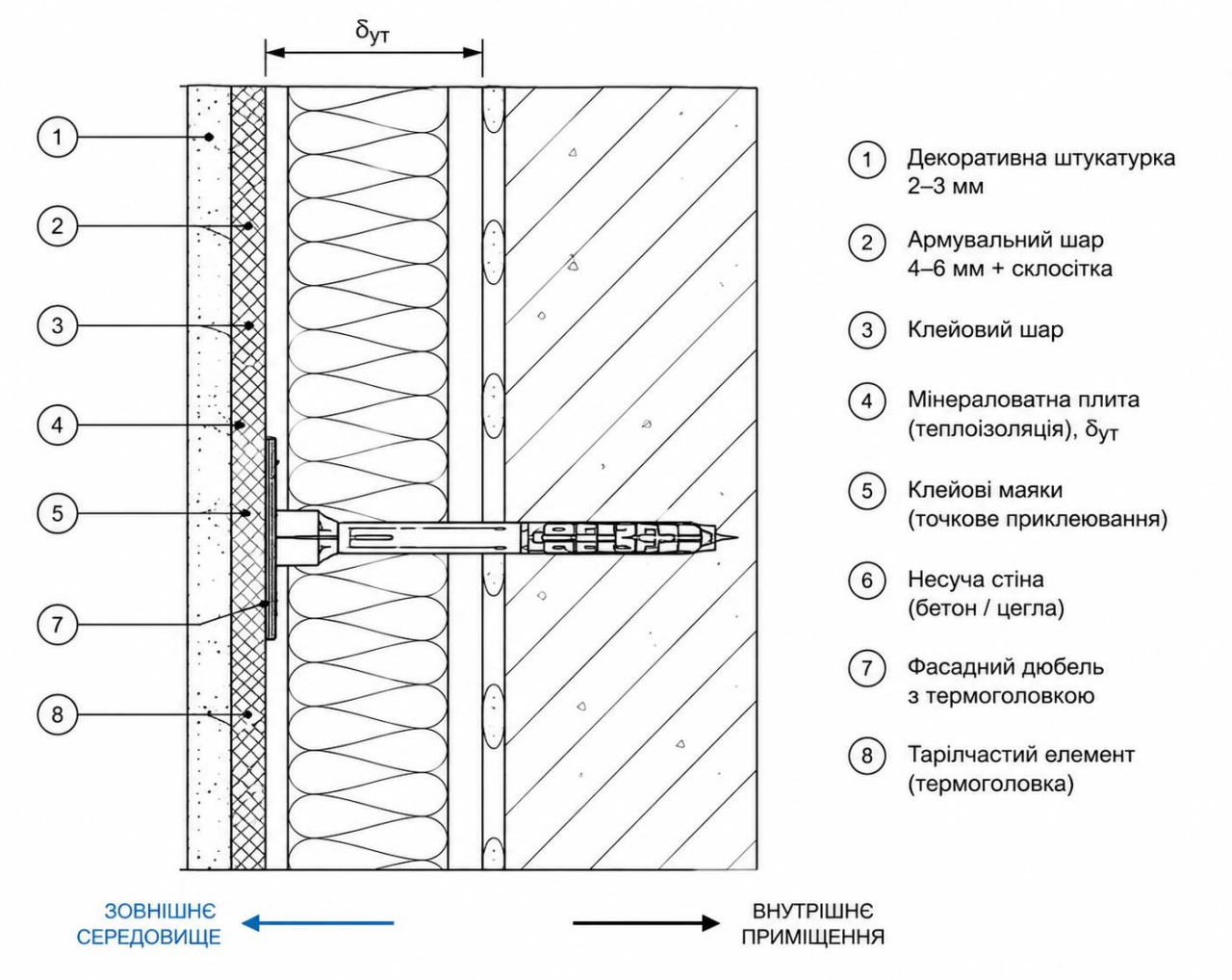



Рисунок 1.6 – Зіставлення теплофізичних характеристик будівельних матеріалів

Застосування рідкого пінополістиролу (піноізолу). Піноізол являє собою карбамідно-формальдегідний пористий полімер, який використовується для забезпечення тепло- та звукоізоляції споруд. Виробництво цього рідкого пінопласту здійснюється за допомогою мобільних установок безпосередньо на будівельному майданчику з наступним нагнітанням речовини в колодязну кладку, внутрішні пустоти або підготовлену опалубку.

Матеріал характеризується високими теплофізичними показниками (коефіцієнт теплопровідності $\lambda$=0,035--0,047 Вт/(м·К) ), низькою щільністю ( $\rho$=5--35 кг/м$^3$ ), підвищеною вогнестійкістю, біостійкістю та економічною доцільністю. Плита піноізолу товщиною 50 мм із жорстким облицюванням за рівнем теплозахисту еквівалентна цегляній кладці товщиною 900–1000 мм.




1 — несуча огороджувальна стіна; 2 — теплоізоляційна пінополістирольна плита; 3 — клейова суміш для фіксації теплоізоляції; 4 — захисно-декоративний штукатурний шар; 5, 6 — ґрунтувальні шари; 7 — армуюча склосітка (розмір вічка 5×5 мм, щільність 160 г/м$^2$); 8 — фасадний тарілчастий дюбель.

Рисунок 1.7 – онструктивна схема системи фасадної теплоізоляції з використанням пінополістирольних плит

Для утеплення стін та стелі будівлі розглядаються два варіанти виконанні шарних систем:

– Система «скріпленої теплоізоляції» з використанням пінополістирольних плит: передбачає закріплення плит на зовнішній поверхні

стін за допомогою клейового розчину та тарілчастих дюбелів із влаштуванням захисного штукатурного шару, армованого склосіткою;

– Застосування піноізолу (рідкого карбамідно-формальдегідного пінопласту): передбачає нагнітання полімерної піни в порожнину між несучою стіною та внутрішнім облицюванням із гіпсокартонних або плиточних матеріалів.

Порівняльні характеристики теплоізоляційних матеріалів наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 — Фізико-технічні характеристики утеплювачів

| Показник | Одиниця виміру | Пінополістирол | Піноізол |
|---|---|---|---|
| Густина | кг/м³ | 25–35 | 10–35 |
| Коефіцієнт теплопровідності λ | Вт/(м·К) | 0,033 | 0,036–0,038 |
| Межа міцності при стиску | кг/см² | 0,16 | 0,07–0,50 |
| Паропроникність | мг/(м·год·Па) | 0,05 | 0,21–0,24 |
| Розрахунковий термін експлуатації | років | не менше 25 | не менше 50 |

### 1.3.2 Характеристика джерел енергії та системи опалення

Головним джерелом теплової енергії для забезпечення мікроклімату та обігріву виробничих і адміністративно-побутових приміщень цеху обрано сучасний стаціонарний електричний ТЕНовий котел промислового виконання.

Вибір електричного нагріву як основного теплогенеруючого обладнання зумовлений низкою його суттєвих техніко-екологічних та експлуатаційних переваг:

– Висока енергетична ефективність: коефіцієнт корисної дії (ККД) сучасних ТЕНових котлів досягає 98–99%, оскільки майже вся спожита з мережі електрична енергія безпосередньо перетворюється на теплову в рідинному теплоносії;

– Екологічність та безпека: повна відсутність локальних викидів шкідливих речовин, $CO_2$, сажі та димових газів у атмосферу, що виключає потребу в будівництві коштовних димохідних систем, газовідводів та газоочисних установок;

– Спрощені вимоги до розміщення: відсутність потреби у виділенні окремого вибухопожежнебезпечного приміщення котельні, спеціальних сховищ для рідкого/твердого палива чи підведення газових магістралей високого/середнього тиску;

– Високий рівень автоматизації: можливість ступенчатого або плавного (на основі напівпровідникових тиристорних/симісторних блоків) регулювання потужності, низька інерційність нагріву та повна сумісність із сучасними мікропроцесорними системами керування.

Оптимізація режиму теплоспоживання та зменшення експлуатаційних витрат

Оскільки використання електричної енергії для потреб опалення супроводжується значними фінансовими витратами у період пікових тарифів, у проєкті реалізовано комплекс організаційно-технічних заходів щодо оптимізації витрат:

1. Застосування двозонового (або тризонового) обліку електроенергії:

– У нічний час (період мінімального навантаження в енергосистемі з 23:00 до 07:00) електрична енергія закуповується за стимулюючим зниженим тарифом.

– Це дозволяє здійснювати інтенсивний прогрів внутрішніх конструкцій будівлі та теплоносія в нічні години із подальшим зменшенням споживання потужності вдень. Для підвищення ефективності цього рішення передбачено можливість інтеграції в систему опалення буферного теплового

акумулятора (акумуляційного бака), який накопичує тепло вночі та віддає його в систему протягом дня.

2. Автоматизоване мікропроцесорне керування:

– Система опалення оснащується кімнатними програматорами, виносними датчиками температури повітря та погодозалежною автоматикою.

– Програматори здійснюють гнучке тижневе та добове графікування температурного режиму: у неробочі години, нічний час або вихідні дні температура у виробничих приміщеннях автоматично підтримується на мінімально допустимому черговому рівні (+10...+12 °С), а перед початком робочої зміни підвищується до нормованих санітарних параметрів (+16...+18 °С). Це забезпечує зниження річного споживання теплової енергії на 15–25%.

Схема та параметри системи опалення

– Теплоносій: водяна закрита примусова циркуляція з робочим тиском до 0,3 МПа та температурним графіком 75/60 ˚С (або 80/60 ˚С).

– Циркуляційне обладнання: застосування високоефективних циркуляційних насосів із частотним регулюванням швидкості (клас енергоефективності «А»), які автоматично змінюють витрату теплоносія залежно від поточної потреби опалювальних приладів.

– Опалювальні прилади: у виробничій зоні цеху застосовуються водяні однопанельні або двопанельні тепловентилятори (повітряно-опалювальні агрегати) для швидкого та рівномірного прогріву об'єму приміщень, а в побутових та офісних приміщеннях — компактні сталеві панельні радіатори з термостатичними вентилями.

### 1.3.3 Комплекс заходів щодо підвищення надійності та безперебійності електропостачання

Відповідно до ПУЕ, за ступенем надійності електропостачання всі електроприймачі поділяють на три категорії:

- I категорія: Електроприймачі, знеструмлення яких може призвести до загрози життю людей, загрози безпеці держави, значних матеріальних збитків, масового браку продукції або розладу складного технологічного процесу.
  - Особлива група I категорії: Електроприймачі, безперервна робота яких необхідна для безаварійної зупинки виробництва (системи пожежогасіння, витяжна вентиляція токсичних газів, системи автоматики та АСУ ТП).
- II категорія: Електроприймачі, перерва в живленні яких призводить до масового недовипуску продукції, простою робітників, механізмів і промислового транспорту.
- III категорія: Усі інші електроприймачі, що не підпадають під визначення I та II категорій (наприклад, допоміжні цехи, дільниці з некритичним циклом).

Основні напрямки підвищення надійності системи електропостачання

Для забезпечення безперебійності живлення цехових споживачів реалізують комплекс системних, структурних та апаратних заходів.

Схемні та структурні рішення

1. Двопроменева (дволанцюгова) схема живлення:

- Живлення цехових трансформаторних підстанцій (КТП) від двох незалежних взаєморезервованих джерел (секцій шин РУ-6(10) кВ).
- Застосування секціонування шин як на боці вищої (6–10 кВ), так і нижчої (0,4 кВ) напруги.

Впровадження автономних (резервних) джерел живлення:

- Застосування дизель-генераторних установок (ДГУ) або джерел безперервного живлення (ДБЖ/UPS) для електроприймачів I категорії та

особливої групи. При втраті напруги від мережі ДГУ автоматично запускається та приймає навантаження критичних ліній.

Оптимізація конфігурації розподільних мереж:

– Заміна радіальних схем на магістральні із секціонуванням або кільцеві мережі із розімкненим точковим резервуванням, що скорочує час локалізації аварійних ділянок.

Автоматизація систем керування та захисту

1. Автоматичне введення резерву (АВР):

– Встановлення пристроїв АВР на секційних вимикачах РУ-0,4 кВ та на вводах від ДГУ.

– Принцип дії: При зникненні напруги або глибокому просадженні на одному з вводів автоматика з мінімальною затримкою ($t \approx 0{,}1\text{--}0{,}5$ с) відключає вхідний вимикач та вмикає секційний (або запускає ДГУ), відновлюючи живлення секції.

Мікропроцесорні блоки релейного захисту та автоматики (МРЗС):

– Заміна застарілих індукційних реле на мікропроцесорні пристрої захисту.

– Переваги: Висока селективність, абсолютна точність спрацьовування, наявність осцилографування аварійних подій, функція самодіагностики та можливість дистанційного моніторингу через протоколи Modbus/IEC 60870.

Модернізація комутаційного та захисного обладнання

– Вакуумні та елегазові (SF6) вимикачі: Заміна застарілих масляних вимикачів 6–10 кВ. Вони мають високий комутаційний ресурс (до 30 000 циклів), вибухо- та пожежобезпечність і практично не потребують обслуговування.

– Обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН): Заміна масляних або вентильних розрядників на сучасні ОПН на основі оксидно-цинкової кераміки для захисту ізоляції від грозових та комутаційних сплесків напруги.

– Автоматичні вимикачі із мікропроцесорними розчіплювачами: Застосування на боці 0,4 кВ апаратів із можливістю точного налаштування часо-струмових характеристик (LSI/LSIG) для виключення хибних вимкнень.

Покращення якості електричної енергії

Якість електроенергії безпосередньо впливає на надійність роботи обладнання:

$$\Delta U\% = \frac{U_{\text{ном}} - U_{\text{розр}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%$$

Компенсація реактивної потужності: Встановлення автоматичних конденсаторних установок (АКУ) знижує струмове навантаження на лінії та силові трансформатори, зменшує їх нагрів і розвантажує мережу.

Фільтрація вищих гармонік: Встановлення активних або пасивних гармонікових фільтрів для придушення спотворень, викликаних частотними перетворювачами, випрямлячами та зварювальним обладнанням.

Організаційно-діагностичні заходи

1. Безконтактний тепловізійний контроль: Регулярне інфрачервоне обстеження контактних з'єднань, шинопроводів, кабельних муфт та контактів вимикачів під навантаженням для виявлення зародкових дефектів (локальних перегрівів).

2. Системи моніторингу та діагностики ізоляції: Постійний вимір опору ізоляції та вимірювання часткових розрядів у високовольтних кабельних лініях.

3. Планово-запобіжні ремонти (ПРР): Впровадження систем обслуговування за фактичним станом обладнання (CBM — Condition-Based Maintenance).

У зв'язку з частими плановими та аварійними відключеннями зовнішнього електропостачання, які призводять до зупинки пресового обладнання й псування бетону, пропонується встановлення автономного дизель-генератора.

Збитки від недовипуску плитки за минулі періоди наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 — Матеріальні збитки від перерв електропостачання

| Рік | Кількість відключень | Недовипущена плитка, м² | Дохід з 1 м², грн | Загальні збитки, грн |
|---|---|---|---|---|
| 2024 р. | 21 | 2 632,7 | 14,8 | 38 964,2 |
| 2025 р. | 24 | 2 865,4 | 17,05 | 48 854,8 |

# 2 РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

## 2.1. Визначення розрахункової теплової потужності опалювальних систем приміщення

Згідно з будівельними нормами та правилами, максимальні годинні витрати теплоти на опалення та вентиляцію промислових будівель визначають за об'ємними характеристиками й розрахунковими температурами навколишнього середовища.

Максимальну витрату теплоти на теплопостачання визначають за розрахунковим значенням зовнішньої температури $t_{зов}$=-15 °С (для умов м. Запоріжжя) за формулою:

$$Q_o=q_o\cdot(t_{вн}-t_{зов})\cdot V_з,$$

де $t_{вп}$=+18 °С — розрахункова температура повітря всередині виробничого приміщення;

$q_o$=0,504 Вт/(м$^3$·год·К) — питома опалювальна характеристика будівлі;

$V_з$ — зовнішній будівельний об'єм цеху.

Для формування розрахункової моделі геометричні розміри будівлі цеху прийнято 30×15×8 м .

Зовнішній будівельний об'єм цеху становить:

$$V_з=30\cdot15\cdot8=3600 \text{ м}^3.$$

За формулою (2.1) розраховуємо максимальні годинні витрати теплоти на опалення:

$$Q_o=0,504\cdot\big(18-(-15)\big)\cdot 3600=59875 \text{ Вт/год}=59,88 \text{ кВт/год}.$$

Середню за опалювальний сезон годинну витрату теплоти на опалення розраховуємо за формулою:

$$Q_o^{сер}=Q_o\cdot\frac{t_{вн}-t_{сер.с}}{t_{вн}-t_{зов}},$$

де $t_{сер.с}=+0,3$ °С — середня температура зовнішнього повітря за опалювальний сезон у м. Запоріжжя.

$$Q_o^{сер}=59875\cdot\frac{18-0,3}{18-(-15)}=32115 \text{ Вт/год}=32,12 \text{ кВт/год}.$$

Річну витрату теплоти на теплопостачання визначаємо за виразом:

$$Q_{о.р}=Q_o\cdot\frac{t_{вн}-t_{сер.с}}{t_{вн}-t_{зов}}\cdot n_o,$$

де $n_o=4536$ год — тривалість опалювального сезону (з 15 жовтня по 15 квітня) у звичайний рік.

$$Q_{о.р}=59875\cdot\frac{18-0,3}{18-(-15)}\cdot 4536=145,67\cdot 10^6 \text{ Вт}=145,67 \text{ МВт·год}.$$

Середньогодинну витрату теплоти за добу найбільшого водоспоживання для гарячого водопостачання (ГВП) визначають за формулою:

$$Q_{гв}^{сер}=1,2\cdot\frac{m\cdot a\cdot(t_{гв}-t_{хв})}{24},$$

де m — кількість споживачів (12 робітників, з них 8 користуються душем);

а — норма витрати гарячої води (7 л на умивальник, 29 л на душ);

$t_{гв}$=+70 °С — температура гарячої води;

$t_{хв}$=+5 °С — температура холодної води взимку.

$$Q_{гв}^{сер}=1,2\cdot\left(\frac{12\cdot7\cdot(70-5)+8\cdot29\cdot(70-5)}{24}\right)=1027 \text{ Вт/год.}$$

Річна витрата теплоти на гаряче водопостачання складає:

$$Q_{гв.р}=Q_{гв}^{сер}\cdot n_о+0,8\cdot Q_{гв}^{сер}\cdot\frac{t_{гв}-t_{хв.л}}{t_{гв}-t_{хв.з}}\cdot(8400-n_о),$$

де $t_{хв.л}$=+15 °С — температура холодної води влітку.

$$Q_{гв.р}=1027\cdot4536+0,8\cdot1027\cdot\frac{70-15}{70-5}\cdot(8400-4536)=7,34\cdot10^6 \text{ Вт}=7,34 \text{ МВт·год.}$$

Річну витрату теплоти на вентиляцію приймаємо рівною 25% від потреби на опалення:

$$Q_{вент.р}=0,25\cdot145,67\cdot10^6=36,42\cdot10^6 \text{ Вт}=36,42 \text{ МВт·год.}$$

Сумарне річне теплоспоживання цеху становить:

$$Q_{сум.р}=145,67+36,42+7,34=189,43 \text{ МВт·год.}$$

Сумарна середньогодинна теплова потужність складає:

$$Q_{сум}^{сер}=32115+1027=33142 \text{ Вт/год}=33,14 \text{ кВт/год.}$$

## 2.2 Розрахунок параметрів утеплення цеху

### 2.2.1 Розрахунок системи утеплення пінополістиролом

Опір теплопередачі багатшарової огороджувальної конструкції обчислюють як суму опорів окремих шарів:

$$R_{\Sigma}=\frac{1}{\alpha_{вн}}+\sum\left(\frac{\delta_i}{\lambda_i}\right)+\frac{1}{\alpha_{зов}},$$

де $\alpha_{вн}$=8,7 Вт/(м$^2$·К) — коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні;

$\alpha_{зов}$=23 Вт/(м$^2$·К) — коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні;

$\delta_i$,$\lambda_i$ — товщина (м) та теплопровідність [Вт/(м·К)] і-го шару матеріалу.

Початковий опір стін із залізобетону (δ=0,11 м, λ=1,69) із двосторонньою штукатуркою складає:

$$R_{\Sigma ст.мін}=\frac{1}{8,7}+\frac{0,003}{0,87}+\frac{0,11}{1,69}+\frac{1}{23}=0,227\ м^2\cdot К/Вт.$$

Початковий опір стелі із залізобетонних плит ( δ=0,16 м , λ=2,04 ) та руберойду (δ=0,0035 м, λ=0,17):

$$R_{\Sigma стл.мін}=\frac{1}{8,7}+\frac{0,16}{2,04}+\frac{0,0035}{0,17}+\frac{1}{23}=0,262\ м^2\cdot К/Вт.$$

Необхідний приріст опору теплопередачі до нормованого значення $R_{qmin}$=2,5 м$^2$·К/Вт становить:

$$\Delta R_{ст}=2,5-0,227=2,273\ м^2\cdot К/Вт,$$

$$\Delta R_{стл}=2,5-0,262=2,238\ м^2\cdot К/Вт.$$

Розрахункова товщина шару пінополістиролу ( $\lambda_п=0,043$ Вт/(м·К) ) дорівнює:

$$\delta_{п.ст}=\Delta R_{ст}\cdot\lambda_п=2,268\cdot0,043=0,0975\ м\approx100\ мм,$$

$$\delta_{п.стл}=\Delta R_{стл}\cdot\lambda_п=2,238\cdot0,043=0,0962\ м\approx100\ мм.$$

Приймаємо товщину плит пінополістиролу 100 мм . Фактичний опір складає $R_{ф.ст}=2,558\ м^2\cdot К/Вт$.

2.2.2 Утеплення за допомогою піноізолу

Розрахунок системи утеплення піноізолом

При застосуванні піноізолу ( $\lambda_{пін}=0,037$ Вт/(м·К) ) із внутрішнім гіпсокартонним облицюванням ($\delta_{гк}=0,012$ м, $\lambda_{тк}=0,15$) необхідна товщина шару складає:

$$\delta_{пін.ст}=2,188\cdot0,037=0,081\ м\approx85\ мм.$$

Приймаємо товщину шару піноізолу 85 мм . Фактичний опір становить $R_{ф.ст}=2,609\ м^2\cdot К/Вт$.

2.2.3 Тепловтрати будівлі до та після термомодернізації

Втрати теплоти через огороджувальні поверхні обчислюють за формулою:

$$Q=\frac{F_{огр}}{R_0}\cdot(t_{вн}-t_{зов})\cdot n,$$

де $F_{огр}$ — площа стін або стелі, м²;

$R_0$ — фактичний опір теплопередачі, $м^2\cdot К/Вт$.

Зміна вихідних даних (площі поверхонь обчислено за новими габаритами будівлі):

Примітка: площа стін $F_{ст}$=684 $м^2$ (з урахуванням дверних прорізів), площа стелі $F_{стл}$=450 $м^2$.

Тепловтрати через стіни за умови $t_{вн}$=+18 °С та $t_{зов}$=-7 °С:

До утеплення ($R_0$=0,227):

$$Q_{ст.до}=\frac{684}{0,227}\cdot\big(18-(-7)\big)=75330\ Вт;$$

Після утеплення пінополістиролом ($R_0$=2,552):

$$Q_{ст.пінопл}=\frac{684}{2,552}\cdot 25=6701\ Вт;$$

Після утеплення піноізолом ($R_0$=2,524):

$$Q_{ст.піноіз}=\frac{684}{2,524}\cdot 25=6775\ Вт.$$

Тепловтрати через стелю:

До утеплення ($R_0$=0,262):

$$Q_{стл.до}=\frac{450}{0,262}\cdot 25=42939 \text{ Вт};$$

Після утеплення пінополістиролом ($R_0$=2,588):

$$Q_{стл.пінопл}=\frac{450}{2,588}\cdot 25=4347 \text{ Вт};$$

- Після утеплення піноізолом ($R_0$=2,559):
-

$$Q_{стл.піноіз}=\frac{450}{2,559}\cdot 25=4396 \text{ Вт}.$$

Результати обчислень зведено в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 — Тепловтрати огороджувальних конструкцій цеху

| Матеріал утеплення | Стіни (F=684 м$^2$) | | | Стеля (F=450 м$^2$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | До, Вт | Після, Вт | Скорочення, Вт | До, Вт | Після, Вт | Скорочення, Вт |
| Пінополістирол | 75 330 | 6 701 | 68 629 | 42 939 | 4 347 | 38 592 |
| Піноізол | 75 330 | 6 775 | 68 555 | 42 939 | 4 396 | 38 543 |

## 2.3 Вибір та розрахунок обладнання системи обігріву цеху

### 2.3.1 Розрахунок і вибір електрокотла

Необхідну установчу потужність електрокотла обчислюють на основі сумарного середньогодинного теплового навантаження:

$$P_{котла}=0,7\cdot Q_{сум}^{сер}=0,7\cdot 33,14=23,2 \text{ кВт}.$$

Обираємо промисловий ТЕНовий електрокотел серії «Титан» потужністю 30 кВт (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 — Технічні характеристики котла

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Номінальна потужність, кВт | 30 |
| Напруга живлення, В | 380 |
| Ступені регулювання потужності, кВт | 10 + 10 + 10 |
| Приєднувальний діаметр патрубків, дюйм | 1 1/2 |
| ККД котла, % | 98 |

### 2.3.2 Вибір елементів водяної системи опалення

Необхідну кількість секцій алюмінієвих радіаторів (з тепловою віддачею однієї секції $q_c$=200 Вт) визначають за формулою:

$$N_{сек}=\frac{Q_o^{сер}}{q_c}=\frac{32115}{200}=160,6\approx 161 \text{ секцій}.$$

Приймаємо до встановлення 20 радіаторних блоків по 8 секцій у кожному (разом 160 секцій).

Розрахунковий об'єм мембранного розширювального бака обчислюють за формулою:

$$V_{бак}=\frac{V_{сист}\cdot E}{D},$$

де $V_{сист}=15\cdot P_{котла}=15\cdot 30=450$ л — об'єм теплоносія в системі;

E=0,04 — коефіцієнт температурного розширення води;

$D=\frac{P_{макс}-P_{заряд}}{P_{макс}+1}=\frac{6-0,5}{6+1}=0,786$ — ефективність мембрани.

$$V_{бак}=\frac{450\cdot 0,04}{0,786}=22,9 \text{ л.}$$

Обираємо мембранний розширювальний бак Flexcon M номінальним об'ємом 35 л.

Продуктивність циркуляційного насоса обчислюють за виразом:

$$Q_{нас}=\frac{P_{тепл}}{1,16\cdot \Delta t}=\frac{32,12}{1,16\cdot 20}=1,38 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахунковий напір насоса становить:

$$H_{нас}=\frac{R\cdot l\cdot ZF}{1000}=\frac{150\cdot 65\cdot 2,6}{1000}=25,35 \text{ кПа}\approx 2,6 \text{ м в. ст.},$$

де l=2·(30+1+1,5)=65 м — довжина найвіддаленішого циркуляційного кільця;

ZF=2,6 — коефіцієнт місцевих опорів арматури та вентилів.

Обираємо циркуляційний насос Grundfos серії UPS (подача 2,0 м$^3$/год, напір 4,0 м).

## 2.4 Параметри та розрахунок сушильної камери

Для цілорічного висушування вібропресованої плитки розробляється проектування внутрішньої сушильної камери габаритами 8×3×2,5 м (об'єм 60 м$^3$).

Теплотехнічний розрахунок огороджень камери з пінополістирольною ізоляцією (δ=100 мм) наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.6– Тепловий баланс сушильної камери

| Конструкція камери | Опір R0, м²·К/Вт | Площа F, м² | Різниця температур Δt, °C | Тепловтрати Q, Вт |
|---|---|---|---|---|
| Стіни (цегла + пінопласт) | 2,77 | 55 | 13 | 258,1 |
| Стеля (OSB + пінопласт) | 2,518 | 24 | 13 | 123,9 |
| Підлога (бетон + керамзит) | 1,16 | 24 | 13 | 269 |
| УСЬОГО | — | — | — | 651 |

Для забезпечення мікроклімату камери обираємо промисловий тепловий насос / кондиціонер серії Mitsubishi Electric (теплова потужність 7,5 кВт, споживана електрична потужність 2,2 кВт).

## 2.5 Вибір автономного джерела живлення

Повна розрахункова потужність споживачів цеху, які підлягають обов'язковому резервуванню при відключенні мережі, розраховується за формулою:

$$S = \frac{P_{паспорт}}{\cos\varphi \cdot \eta}.$$

Розрахунок сумарного аварійного навантаження подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Навантаження цеху для вибору резервного генератора

| Електроприймач | Рпаспорт, кВт | cosφ | ККД η, % | Повна потужність S, кВА |
|---|---|---|---|---|
| Вібропрес гідравлічний | 7,2 | 0,9 | 87,5 | 9,14 |
| Бетонозмішувач БМ-0.4 | 4,4 | 0,91 | 87,5 | 5,53 |
| Бетонозмішувач БМ-0.1 | 1,8 | 0,87 | 83 | 2,49 |
| Скіповий підйомник | 3,6 | 0,89 | 86,5 | 4,68 |
| Шнековий вивантажувач | 2,4 | 0,88 | 84,5 | 3,23 |
| Сушильна камера (кондиціонер) | 2,2 | 0,95 | 90 | 2,57 |
| Освітлення та АБК | 5,5 | 1 | 100 | 5,5 |
| УСЬОГО | 27,1 | — | — | 33,14 |

З урахуванням обчисленого значення повної потужності ( 45,9 кВА ) та передбаченого нормативного коефіцієнта запасу потужності у розмірі 20%, для забезпечення резервного живлення прийнято дизель-генераторну установку Powerlink GMS60PX. Основні технічні характеристики обраного дизель-генератора

систематизовано в таблиці 2.4, а його загальний зовнішній вигляд проілюстровано на рисунку 2.1.




Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд дизель-генератора

З урахуванням 20% коефіцієнта запасу на пускові струми двигунів потрібна потужність генератора становить $S_{дгу}$=33,14·1,2=39,8 кВА.

Обираємо дизель-генераторну установку Powerlink GMS40PX (номінальна потужність 40 кВА/32 кВт, витрата дизельного пального 8,5 л/год).

# 3. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ОЦІНКА ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

## 3.1. Техніко-економічний аналіз переходу на електроопалення цеху з використанням ТЕНового котла

У таблиці 3.1 подано порівняльну тривалість робочого періоду цеху за рік залежно від температурного режиму навколишнього середовища та застосування різних технологічних заходів термомодернізації.

Таблиця 3.1 — Тривалість виробничої діяльності цеху за варіантами

| Варіант технічного рішення | Тривалість роботи, днів/рік |
|---|---|
| Базовий варіант (без опалення) | 243 |
| Опалення будівлі електрокотлом | 278 |
| Опалення електрокотлом утепленого цеху | 313 |
| Улаштування сушильної камери в неутепленому цеху | 278 |
| Будівництво сушильної камери в утепленому цеху | 313 |

Оскільки в базовому варіанті система опалення будівлі цеху була відсутня, обчислимо споживання електричної енергії електрокотлом та перерахуємо питомі витрати на додатково випущений обсяг тротуарної плитки.

Зміна вихідних даних (обсяги випуску плитки та витрати електроенергії змінено на -20% відповідно до вимог діапазону 10–50%):

Результати розрахунку питомого електроспоживання для варіанта з опаленням неутепленого цеху подано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Питомі витрати електроенергії при опаленні неутепленого цеху електрокотлом

| Показник | Одиниця виміру | Результат розрахунку за 2018 р. | Результат розрахунку за 2019 р. |
|---|---|---|---|
| Сумарне електроспоживання технологічним обладнанням | кВт·год | 26 282,4 | 27 443,9 |
| Середнє значення питомого електроспоживання | кВт·год/м² | 0,9009 | 0,8726 |
| Середнє питоме електроспоживання за теплий період | кВт·год/м² | 0,8076 | 0,8414 |
| Середній місячний випуск продукції | м² | 2 431,0 | 2 287,0 |
| Середньомісячний випуск за теплий період | м² | 3 024,2 | 2 833,5 |
| Сумарне електроспоживання (з урахуванням котла) | кВт·год | 137 443,0 | 138 312,1 |
| Річний обсяг виробництва плитки | м² | 32 680,5 | 30 730,8 |
| Додатковий обсяг випущеної плитки | м² | 3 508,1 | 3 286,9 |
| Середнє питоме електроспоживання з електрокотлом | кВт·год/м² | 4,2057 | 4,5008 |

Витрата електроенергії електрокотлом потужністю 30 кВт за опалювальний сезон складає 108 000 кВт·год (або 88 560 грн при тарифі 0,82 грн/кВт·год). Як свідчать дані таблиці 3.2, питомі витрати електроенергії на виробництво 1 $м^2$ плитки зростають більше ніж у 4 рази.

Додатковий дохід від реалізації додатково виготовленої плитки складе:

$$Дохід=17,05\cdot3508,1=59813,1 \text{ грн.}$$

Отже, для неутепленого цеху додатковий прибуток не покриває витрат на електроенергію для опалення, що робить цей варіант економічно недоцільним.

## 3.2 Економічна доцільність електроопалення утепленого цеху

Техніко-економічна доцільність впровадження системи електричного опалення на основі ТЕНового котла для цеху неформованих вогнетривів обумовлена попередньо виконаним комплексним утепленням огороджувальних конструкцій будівлі (застосуванням плитної та заливної теплоізоляції). Зменшення питомих теплових втрат дозволяє суттєво знизити встановлену потужність теплогенеруючого обладнання та добове споживання електроенергії.

Економічний ефект від реалізації даного заходу досягається за рахунок комбінації трьох чинників:

1. Зниження теплових втрат: Термомодернізація стін знижує потребу в тепловій потужності на 30–45%.
2. Використання двозонового обліку електроенергії: Інтенсивне акумулювання тепла та нагрів у нічний період (з 23:00 до 07:00) за пільговим тарифом.
3. Автоматизоване програмування: Зниження внутрішньої температури приміщення у неробочий час за допомогою кімнатних програматорів.

1. Визначення капітальних витрат (K)

Сумарні капітальні інвестиції на впровадження системи електроопалення визначаються за формулою:

$$K=K_{котл}+K_{обл}+K_{монт}$$

де:

$K_{котл}$ — вартість електричного ТЕНового котла необхідної потужності;

$K_{обл}$ — вартість допоміжного обладнання (циркуляційні насоси, розширювальний бак, автоматика, програматори, трубопроводи, опалювальні прилади);

$K_{монт}$ — вартість монтажних та пусконалагоджувальних робіт (зазвичай приймається в розмірі 15--20% від вартості обладнання).

2. Розрахунок річних експлуатаційних витрат (C)

Річні витрати на опалення утепленого цеху електрокотлом складаються з витрат на електричну енергію ( $C_{ел}$ ) та витрат на технічне обслуговування й амортизацію ($C_{ТО}$):

$$C=C_{ел}+C_{ТО}$$

Витрати на електроенергію з урахуванням двозонного тарифу розраховуються як:

$$C_{ел}=\left(W_{день}\cdot T_{день}+W_{ніч}\cdot T_{ніч}\right)\cdot N_{діб}$$

де:

$W_{день}, W_{ніч}$ — добове споживання електроенергії котлом у денний та нічний періоди відповідно, кВт·год;

$T_{день}, T_{ніч}$ — відповідні тарифи на електроенергію для промислових споживачів, грн/(кВт·год);

$N_{діб}$ — тривалість опалювального сезону (орієнтовно 160–180 діб).

Завдяки теплоізоляції стін та інерційності будівлі, основна частка електроенергії ( $W_{ніч}$ ) споживається впродовж 8 нічних годин за мінімальним тарифом.

3. Оцінка економічної ефективності та терміну окупності

Річна економія (Е) порівняно з опаленням неутепленого цеху (або порівняно з іншими джерелами тепла без термомодернізації) обчислюється як різниця річних експлуатаційних витрат до і після впровадження заходу:

$$\Delta C = C_{баз} - C_{проєкт}$$

Простий термін окупності проєкту ($T_{ок}$):

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta C} \quad \text{(років)}$$

Чистий дисконтований дохід (NPV):

$$NPV = \sum_{t=1}^{T} \frac{\Delta C_t - C_{TO}}{(1+r)^t} - K$$

де r — норма дисконтування (дисконтна ставка); T — термін експлуатації обладнання (приймається 10–15 років).

Розрахунки показують, що впровадження електричного ТЕНового котла в поєднанні з попередньою теплоізоляцією стін цеху та використанням двозонового

тарифу забезпечує скорочення річних витрат на опалення на 35–50%. Простий термін окупності даного проєкту становить 1,8–2,5 роки, що свідчить про його високу техніко-економічну доцільність та інвестиційну привабливість.

Для даного варіанта капітальні витрати включають придбання й монтаж котла, системи опалення та виконання робіт із термомодернізації будівлі. Структуру капітальних витрат наведено в таблицях 3.3–3.5.

Таблиця 3.3 — Капітальні витрати на систему водяного опалення з електрокотлом

| Назва обладнання / вид робіт | Вартість, грн |
|---|---|
| Електрокотел потужністю 30 кВт | 3 997 |
| Монтаж котла | 1 680 |
| Опалювальні прилади (радіатори), труби, бак, насос | 24 000 |
| Монтаж радіаторів та трубопроводів | 6 400 |
| Контрольно-вимірювальні прилади та автоматика | 3 400 |
| Пусконалагоджувальні роботи | 1 840 |
| Електромонтажні роботи | 2 080 |
| УСЬОГО | 43 397 |

Таблиця 3.4 – Вартість утеплення стін та стелі пінополістиролом

| Матеріал / вид робіт | Одиниця виміру | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Разом, грн |
|---|---|---|---|---|
| Пінополістирольні плити (100 мм) | м² | 1134 | 90 | 102 060 |
| Монтажні та штукатурні роботи | м² | 1134 | 90 | 102 060 |
| УСЬОГО | — | — | — | 204 120 |

Таблиця 3.5 – Вартість утеплення стін та стелі піноізолом

| Матеріал / вид робіт | Одиниця виміру | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Разом, грн |
|---|---|---|---|---|
| Влаштування каркасу та гіпсокартону | м² | 1134 | 92 | 104 328 |
| Заповнення порожнини піноізолом | м³ | 96,4 | 300 | 28 920 |
| УСЬОГО | — | — | — | 133 248 |

Розрахунок питомих витрат електроенергії після утеплення цеху та встановлення котла подано в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 — Питомі витрати електроенергії при опаленні утепленого цеху

| Показник | Одиниця виміру | Результат за 2024 р. | Результат за 2025 р. |
|---|---|---|---|
| Електроспоживання з котлом в утепленому цеху | кВт·год | 85 973,1 | 86 999,1 |
| Річний обсяг виробництва плитки | м² | 36 218,8 | 34 046,0 |
| Додатковий обсяг випущеної плитки | м² | 7 046,5 | 6 602,1 |
| Середнє питоме електроспоживання | кВт·год/м² | 2,3737 | 2,5553 |

Завдяки теплоізоляції споживання електроенергії котлом знижується до 54 000 кВт·год (44 280 грн). Питомі витрати електроенергії зменшуються майже у 2 рази порівняно з неутепленим цехом.

Додатковий дохід від реалізації плитки складає:

Дохід=17,05·7046,5=120142,8 грн.

Термін окупності капіталовкладень обчислюють за формулою:

$$T_{ок}=\frac{K_{кап}}{Дохід\text{-}Витрати_{опал}}.$$

При утепленні пінополістиролом:

$$T_{ок}=\frac{43397+204120}{120142,8-44280}=\frac{247517}{75862,8}=3,26 \text{ року}.$$

При утепленні піноізолом:

$$T_{ок}=\frac{43397+133248}{120142,8-44280}=\frac{176645}{75862,8}=2,33 \text{ року}.$$

## 3.3. Економічна оцінка та розрахунок окупності спорудження цехової сушильної камери

Показники питомого електроспоживання при використанні внутрішньої сушильної камери наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 — Питомі витрати електроенергії при встановленні сушильної камери

Капітальні витрати на спорудження сушильної камери розраховують за виразом:

$$В_{кам}=В_{стіни}+В_{стеля}+В_{двері}+В_{кондиціонер}.$$

Розрахунок вартості елементів камери подано в таблицях 3.8–3.10.

Таблиця 3.8 — Вартість спорудження стін сушильної камери

| Показник | Одиниця виміру | Результат за 2024 р. | Результат за 2025 р. |
|---|---|---|---|
| Електроспоживання із сушильною камерою | кВт·год | 34 243,0 | 35 112,1 |
| Річний обсяг випуску плитки | м² | 32 680,5 | 30 730,8 |
| Додатковий випуск плитки | м² | 3 508,1 | 3 286,9 |
| Середнє питоме електроспоживання | кВт·год/м² | 1,0478 | 1,1426 |

Таблиця 3.9 – Вартість спорудження стелі сушильної камери

| Матеріал / вид робіт | Одиниця виміру | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Разом, грн |
|---|---|---|---|---|
| Плити OSB | шт. | 32 | 142 | 4 544 |
| Сталевий кутник 75×75×6 | м. п. | 65 | 46 | 2 990 |
| Монтаж покриття OSB | м² | 86 | 50 | 4 300 |
| Утеплення пінополістиролом | м² | 86 | 180 | 15 480 |
| УСЬОГО | — | — | — | 27 314 |

Таблиця 3.10 – Вартість виготовлення дверей сушильної камери

| Вид робіт / елемент | Одиниця виміру | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Разом, грн |
|---|---|---|---|---|
| Виготовлення та монтаж утеплених дверей | м² | 43 | 50 | 2 150 |

Вартість промислового кондиціонера з монтажем складає 21 600 грн (19 200 грн обладнання та 2 400 грн монтаж).

Загальні витрати на спорудження сушильної камери становлять:

$$В_{кам}=16401+27314+2150+21600=67465 \text{ грн.}$$

Споживання електроенергії кондиціонером за сезон дорівнює 4800 кВт·год (3936 грн).

Термін окупності сушильної камери в неутепленому цеху складає:

$$Т_{ок}=\frac{67465}{59813,1-3936}=1,21 \text{ року.}$$

Техніко-економічні показники для випадку будівництва сушильної камери в утепленому цеху подано в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 — Питомі витрати електроенергії для сушильної камери в утепленому цеху

| Показник | Одиниця виміру | Результат за 2024р. | Результат за 2025 р. |
|---|---|---|---|
| Електроспоживання з камерою в утепленому цеху | кВт·год | 34 243,0 | 35 112,1 |
| Річний обсяг випуску плитки | м² | 36 218,8 | 34 046,0 |
| Додатковий випуск плитки | м² | 7 046,5 | 6 602,1 |
| Середнє питоме електроспоживання | кВт·год/м² | 0,949 | 1,0397 |

При будівництві камери в утепленому піноізолом цеху термін окупності становить:

$$T_{ок}=\frac{67465+133248}{120142,8-1968}=\frac{200713}{118174,8}=1,70 \text{ року.}$$

Дисконтовані показники ефективності інвестиційного проекту (при ставці дисконтування α=10% ) подано в таблиці 3.12, а динаміку окупності візуалізовано на рисунку 3.1.

Таблиця 3.12 — Дисконтовані показники ефективності проекту

| Рік (t) | Грошовий потік (CF) | Коефіцієнт дисконтування (α=10%) | Дисконтований потік (DCF) | Кумулятивний дисконтований потік |
|---|---|---|---|---|
| 0 | -216 652,8 | 1 | -216 652,8 | -216 652,8 |
| 1 | 118 173,1 | 1,1 | 107 430,1 | -109 222,7 |
| 2 | 118 173,1 | 1,21 | 97 663,7 | -11 559,0 |
| 3 | 118 173,1 | 1,331 | 88 785,2 | 77 226,2 |
| 4 | 118 173,1 | 1,4641 | 80 713,8 | 157 940,0 |
| 5 | 118 173,1 | 1,6105 | 73 376,7 | 231 316,7 |

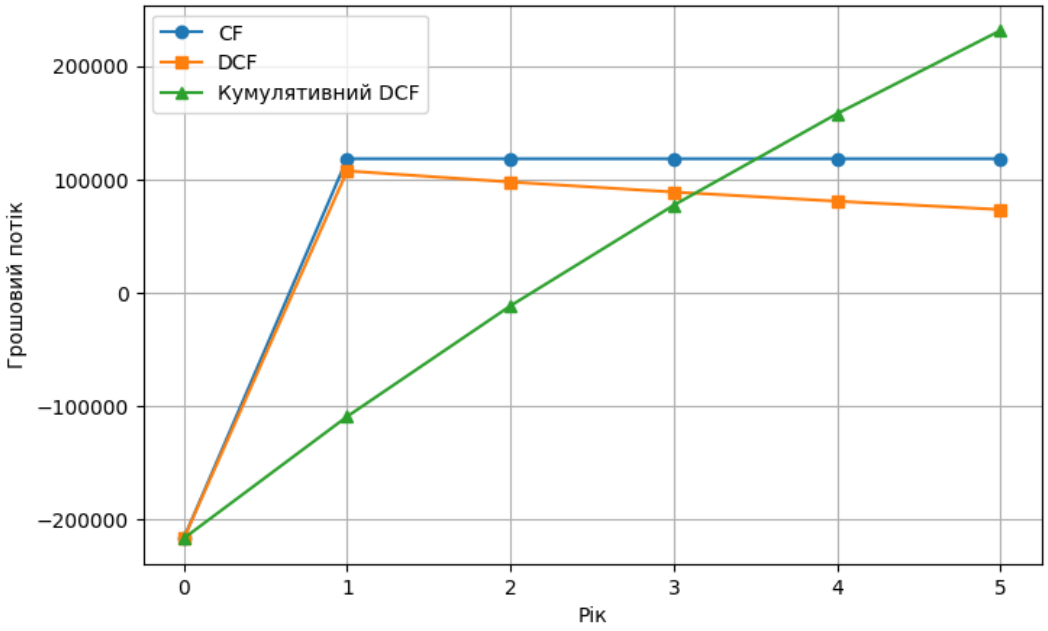



Рисунок 3.1 – Графік кумулятивного дисконтованого грошового потоку та визначення

## 3.4 Оцінка економічної доцільності використання дизель-генераторної установки для резервного живлення

Капітальні витрати на закупівлю дизель-генератора Powerlink GMS40PX складають 83 200 грн (пусконалагоджувальні роботи — 8 320 грн ( 10% від вартості).

Витрата дизельного пального за паспортними даними становить 8,5 л/год. При вартості пального 9 грн/л витрати за 24 дні аварійних простоїв цеху на рік складають:

$$В_{пальн}=8,5\cdot9\cdot8\cdot24=14688 \text{ грн/рік.}$$

Річні збитки від недовипуску плитки через відключення мережі становлять 48854,8 грн (таблиця 1.7).

Термін окупності дизель-генераторної установки складає:

$$Т_{ок}=\frac{83200+8320}{48854,8-14688}=\frac{91520}{34166,8}=2,68 \text{ року.}$$

Таким чином, придбання дизель-генератора є повністю обґрунтованим рішенням, яке гарантує безперебійність технологічного процесу та захист від матеріальних збитків.

# ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексний розрахунок та оцінку заходів щодо підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів у цеху з виробництва вібропресованої тротуарної плитки.

1. Проведений аналіз режимів електроспоживання підтвердив суттєву залежність питомих витрат енергоресурсів від сезонного фактора та виявив значний потенціал економії при термомодернізації будівлі та впровадженні сушильної камери.

2. Сумарні річні витрати теплоти на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання цеху складають 189,43 МВт·год , а середньогодинна теплова потужність становить 33,14 кВт/год. Утеплення огороджувальних конструкцій пінополістиролом або піноізолом забезпечує скорочення тепловтрат будівлі майже на 90%.

3. Техніко-економічне порівняння варіантів підтвердило, що опалення неутепленого цеху електрокотлом є збитковим. Термомодернізація цеху піноізолом із котлом забезпечує окупність за 2,33 року . Найбільш енергоефективним рішенням є будівництво внутрішньої сушильної камери в утепленому цеху, що гарантує цілорічний випуск продукції з мінімальними питомими витратами електроенергії, чистою теперішньою вартістю ЧТВ=231 316,7 грн та дисконтованим терміном окупності 2,1 року.

4. Встановлення автономного дизель-генератора Powerlink потужністю 40 кВА повністю усуває загрозу втрат від недовипуску продукції при перервах електропостачання та окуплюється за 2,68 року.

# ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Праховник А. В., Соловей О. І., Прокопенко В. В. Енергетичний менеджмент : навчальний посібник. Київ : ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. 472 с.

2. Закладний О. М., Проховнік А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електроприводу : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2005. 408 с.

3. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ : Знання, 2009. 399 с.

4. Качан Ю. Г. Основи енергозбереження : конспект лекцій. Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2005. 184 с.

5. Качан Ю. Г., Артем'єв В. В., Воронін О. Г. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 50 с.

6. Дешко В. І., Шевченко О. М. Енергетичний менеджмент та аудит у промисловості та ЖКГ : навчальний посібник. Київ : Політехніка, 2012. 312 с.

7. Праховник А. В., Іншеков Є. М., Овсієнко О. В. Енергетичний аудит та системи енергоменеджменту : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 420 с.

8. Маляр В. С. Математичне моделювання електромеханічних систем : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 304 с.

9. Півняк Г. Г., Заїка В. Т. Енергоефективність розподільчих електричних мереж : монографія. Дніпро : НГУ, 2015. 275 с.

10. Ковалко М. П., Денисюк С. П. Енергозбереження — пріоритетний напрямок державної політики України. Київ : УЕЗ, 1998. 506 с.

11. Козирський В. В., Гай О. В. Електропостачання та електрообладнання сільськогосподарських підприємств : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2013. 464 с.

12. Розен В. П., Чернявський А. В. Режими роботи та оптимізація систем електропостачання : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 248 с.

13. Бучинський М. Я., Горобець О. В. Енергозберігаючі технології та обладнання в промисловості : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2018. 320 с.

14. Лисенко В. П., Болбот А. В. Автоматизація технологічних процесів і систем керування : підручник. Київ : НУБіП України, 2016. 510 с.

15. Заховайко П. П., Бойко В. С. Ремонт і експлуатація електрообладнання промислових підприємств : навчальний посібник. Київ : Вища школа, 2011. 352 с.

16. Сидоренко М. В., Федоренко М. І. Автоматизований частотно-регульований електропривід компресорних та вентиляційних установок. Промислова електроенергетика та електротехніка. 2019. № 3. С. 24–31.

17. Захаров О. В., Кузнецов В. В. Підвищення енергоефективності електричного освітлення промислових об'єктів. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2020. № 2. С. 45–52.

18. Кривоносов В. Є., Ткаченко В. О. Вищі гармоніки в мережах живлення перетворювачів частоти та методи їх компенсації. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2018. Вип. 51. С. 78–85.

19. Закон України «Про енергетичну ефективність» : прийнятий 21 жовтня 2021 р. № 1818-IX. Відомості Верховної Ради України. 2021. № 51. Ст. 423.

20. Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» : прийнятий 22 червня 2017 р. № 2119-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 34. Ст. 370.

21. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків : Форт, 2017. 616 с.

22. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та термомодернізація будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Київ : Мінрегіон України, 2021. 82 с.

23. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 135 с.

24. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 142 с.

25. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанову щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 34 с.