

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

**Факультет автоматизації та енергетики**

**Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту**

**КАФКА МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 620.9:658.26

# **МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

Дослідження шляхів підвищення енергетичної ефективності  
заводу покрівельних матеріалів «Будсервіс»

**Енергетичний менеджмент**

(назва освітньої програми)

**141 Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка**

(шифр і назва спеціальності)

Кафка М.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Яворський Андрій Вікторович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

к.т.н., доцент Цих В.С.

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

**Рецензент**

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

**Івано-Франківськ - 2025**

# Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти – магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»

Освітньо-професійна програма – «Енергетичний менеджмент»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Зав. кафедри інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту**

**Цих В. С.**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

*Кафці Михайлу Володимировичу*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Дослідження шляхів підвищення енергетичної ефективності заводу покрівельних матеріалів «Будсервіс»

керівник роботи Яворський Андрій Вікторович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» листопада 2025 р. № 719/7

2. Строк подання студентом роботи – «22» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Аналіз споживання паливно-енергетичних ТОВ «Будсервіс».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1 Аналіз ключових напрямків забезпечення енергоефективності підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів; Розділ 2 Дослідження споживання енергоресурсів на ТОВ «Будсервіс»; Розділ 3 Розроблення комплексу заходів з підвищення енергетичної ефективності заводу покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс»; Висновки

5. Перелік графічного матеріалу: \_\_\_\_\_

6. Консультант розділів роботи:

Розділ, підрозділ	Консультант	Підпис, дата
Нормоконтроль	доцент Яворський А.В.	
Перевірка на плагіат	доцент Миндюк В.Д.	

7. Дата видачі завдання: 14 листопада 2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/П	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>15.11.25р.</i>	<i>Виконано</i>
2	<i>Розділ 1 Аналіз ключових напрямків забезпечення енергоефективності підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів</i>	<i>17.11.25р.</i>	<i>Виконано</i>
3	<i>Розділ 2 Дослідження споживання енергоресурсів на ТОВ «Будсервіс»</i>	<i>28.11.25р.</i>	<i>Виконано</i>
4	<i>Розділ 3 Розроблення комплексу заходів з підвищення енергетичної ефективності заводу покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс»</i>	<i>08.12.25р.</i>	<i>Виконано</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>15.12.25р.</i>	<i>Виконано</i>

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Кафка М.В.

(розшифровка підпису)

Яворський А.В.

(розшифровка підпису)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить 102 сторінок, 37 рисунків, 8 таблиць, 38 джерела.

Дослідження шляхів підвищення енергетичної ефективності заводу покрівельних матеріалів «Будсервіс».

Об'єктом дослідження є процеси споживання та використання енергетичних ресурсів у виробничих і допоміжних системах заводу покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс».

Мета роботи полягає у вирішенні науково-практичної задачі в галузі енергетичного менеджменту – у дослідженні структури енергоспоживання підприємства та розробленні техніко-економічно обґрунтованих заходів з підвищення його енергоефективності, включаючи оптимізацію споживання електроенергії, пального та інших ресурсів.

У ході виконання магістерської роботи було проведено аналіз енергетичного стану підприємства ТОВ «Будсервіс», досліджено споживання електроенергії, дизельного палива, бензину та скрапленого газу у 2024 році, визначено питомі показники і сезонні коливання навантажень. Проаналізовано стан енергетичної інфраструктури підприємства: компресорного обладнання, вентиляційних установок, системи освітлення, технологічних ліній та внутрішньозаводського транспорту. Виявлено проблемні аспекти енергоспоживання: відсутність системи енергомоніторингу, роботу частини електроприводів без частотного регулювання, значні витрати дизельного палива, недосконалість внутрішнього обліку.

Розроблено комплекс заходів з підвищення енергоефективності заводу, зокрема: встановлення фотоелектричної станції потужністю 150 кВт, впровадження частотно-регульованих електроприводів і плавних пускачів, створення системи технологічного енергомоніторингу, перегляд технологічного графіку роботи з урахуванням сезонності генерації ФЕС, а також заміна частини дизельних навантажувачів на електричні з можливістю

заряджання від власної генерації. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів та визначено економічний ефект від їх впровадження.

Реалізація комплексу запропонованих рішень характеризується помірним рівнем інвестиційних витрат і водночас дозволяє досягти відчутного зниження енергоємності виробництва, зменшення експлуатаційних витрат та раціоналізації використання енергетичних ресурсів.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ; ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ;  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ; ЕНЕРГОМОНІТОРИНГ;  
ЕЛЕКТРОПРИВОДИ; ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ.

## ABSTRACT

Master's work contains 102 pages, 37 drawings, 8 tables, 38 references.

Investigation of ways to improve the energy efficiency of the Budservis roofing materials plant.

The object of the research is the processes of consumption and utilization of energy resources in the production and auxiliary systems of the roofing materials plant LLC “Budservis.”

The aim of the thesis is to solve a scientific and practical problem in the field of energy management, namely to study the structure of the enterprise’s energy consumption and to develop technically and economically substantiated measures to improve its energy efficiency, including optimization of electricity, fuel, and other resource consumption.

In the course of the master’s thesis, an analysis of the energy condition of LLC “Budservis” was carried out. The consumption of electricity, diesel fuel, gasoline, and liquefied petroleum gas in 2024 was examined, and specific indicators as well as seasonal load variations were determined. The state of the enterprise’s energy infrastructure was analyzed, including compressor equipment, ventilation systems, lighting systems, technological lines, and internal transport. Problematic aspects of energy consumption were identified, such as the absence of an energy monitoring system, operation of some electric drives without frequency control, significant diesel fuel consumption, and deficiencies in internal energy accounting.

A set of measures aimed at improving the energy efficiency of the plant was developed. These measures include the installation of a 150 kW photovoltaic power plant, the implementation of variable-frequency drives and soft starters, the creation of a technological energy monitoring system, the revision of the technological operating schedule taking into account the seasonal nature of photovoltaic power generation, as well as the replacement of some diesel-powered forklifts with electric ones capable of being charged using the plant’s own electricity generation. A

technical and economic justification of the proposed measures was carried out, and the economic effect of their implementation was determined.

The implementation of the proposed set of solutions is characterized by a moderate level of investment costs while enabling a significant reduction in production energy intensity, a decrease in operating costs, and rationalization of energy resource utilization.

ENERGY EFFICIENCY; ENERGY CONSUMPTION; PHOTOVOLTAIC POWER PLANT; ENERGY MONITORING; ELECTRIC DRIVES; ECONOMIC FEASIBILITY.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ КЛЮЧОВИХ НАПРЯМКІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ З ВИГОТОВЛЕННЯ ПОКРІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	14
1.1 Базові принципи забезпечення енергетичної ефективності на підприємствах будівельної галузі.....	14
1.2 Аналіз міжнародного досвіду .....	17
1.3 Модернізація технологічних процесів виготовлення покрівельних матеріалів .....	20
1.4 Енергетична інфраструктура підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів.....	25
1.5 Будівлі і споруди підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів .....	29
1.6 Організаційні та управлінські заходи з енергетичної ефективності на підприємствах з виготовлення покрівельних матеріалів .....	32
1.7 Вибір і обґрунтування напрямків дослідження .....	34
Висновки до розділу 1.....	36
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТОВ «БУДСЕРВІС».....	38
2.1 Загальна характеристика підприємства ТОВ «Будсервіс» .....	39
2.2 Технологічний процес на підприємстві.....	41
2.3 Організаційна структура підприємства .....	46
2.4 Будівлі та споруди підприємства ТОВ «Будсервіс» .....	49
2.5 Аналіз споживання та структури використання паливно- енергетичних ресурсів на підприємстві ТОВ «Будсервіс» .....	52
2.6 Оцінка ефективності функціонування системи енергозабезпечення .....	61
Висновки до розділу 2.....	64

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАВОДУ ПОКРІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТОВ «БУДСЕРВІС » .....	66
3.1 Встановлення фотоелектричної станції .....	67
3.2 Оптимізація керування електроприводами технологічного обладнання.....	74
3.3 Встановлення системи технологічного моніторингу споживання енергетичних ресурсів.....	78
3.4 Зміна технологічного графіку роботи підприємства для максимального використання електроенергії від ФЕС .....	84
3.5 Перехід на технологічний електротранспорт для оптимізації внутрішньої логістики підприємства .....	85
3.6 Реконструкція системи освітлення .....	87
3.7 Економічний аналіз запропонованих заходів .....	90
Висновки до розділу 3.....	93
ВИСНОВКИ .....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	98

## ВСТУП

### **Актуальність роботи**

Підвищення енергетичної ефективності є одним із ключових завдань для промислових підприємств України в умовах зростання вартості енергоресурсів та необхідності забезпечення стабільної роботи виробництва. Підприємства покрівельної галузі, зокрема ТОВ «Будсервіс», характеризуються значним споживанням електроенергії технологічними лініями, компресорним обладнанням, вентиляцією та внутрішньозаводським транспортом, що робить їх енергоємними та вразливими до коливань цін на енергоносії.

На підприємстві спостерігаються типові для промислового сектору проблеми: відсутність системи енергомоніторингу, робота частини електроприводів без частотного регулювання, підвищене споживання дизельного палива та недостатньо ефективне використання енергетичних ресурсів. У таких умовах впровадження сучасних технічних та організаційних рішень – фотоелектричної станції, систем керування електроприводами, енергомоніторингу та оптимізації технологічних процесів – є актуальним та економічно доцільним.

Таким чином, дослідження шляхів підвищення енергоефективності ТОВ «Будсервіс» має важливе практичне значення та сприятиме зниженню витрат на енергоресурси й підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

### **Мета і задачі дослідження**

Метою магістерської роботи є вирішення науково-практичної задачі в галузі енергетичного менеджменту – у дослідженні енергетичної ефективності заводу покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс» шляхом аналізу структури енергоспоживання підприємства та розробленні комплексу техніко-економічно обґрунтованих заходів з її підвищення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– проаналізувати сучасні підходи до енергозбереження на промислових підприємствах та вимоги стандарту ISO 50001 до систем енергетичного менеджменту;

– надати характеристику виробничої та організаційної структури ТОВ «Будсервіс» з позицій споживання енергоресурсів;

– дослідити фактичне споживання електроенергії, бензину, дизельного палива та скрапленого газу підприємством, визначити питомі показники та сезонні особливості енергоспоживання;

– оцінити стан енергетичної інфраструктури (електроприводи технологічних ліній, компресорне обладнання, вентиляційні та освітлювальні системи, внутрішньозаводський транспорт) та виявити основні проблемні ділянки;

– обґрунтувати доцільність встановлення фотоелектричної станції для покриття власних потреб підприємства та виконати розрахунок її енергетичних і економічних показників;

– розробити заходи з оптимізації керування електроприводами, впровадження системи технологічного енергомоніторингу та зміни технологічного графіка роботи підприємства з урахуванням генерації ФЕС;

– запропонувати заміну частини навантажувачів, що працюють на дизпаливі/скрапленому газі, на електричні з можливістю заряджання від власної ФЕС та оцінити їх економічну доцільність.

**Об'єктом дослідження** є процеси споживання та використання енергетичних ресурсів у виробничих і допоміжних системах заводу покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс».

**Предметом дослідження** є визначення енергетичної ефективності виробничих систем ТОВ «Будсервіс» шляхом аналізу структури споживання енергоресурсів, оцінювання технічного стану енергоємного обладнання та порівняння фактичних витрат із потенційно можливими значеннями при впровадженні сучасних енергоефективних рішень.

**Методи дослідження**

При дослідженні використовуються сучасні методики, прийняті в практиці проведення енергетичних аудитів промислових підприємств, методи аналізу та оброблення даних з використанням програмного середовища Excel, методи оцінювання енергоспоживання технологічних систем, підходи до аналізу ефективності роботи електроприводів і компресорного обладнання, методики визначення потенціалу енергозбереження, а також загальні техніко-економічні показники для обґрунтування ефективності запропонованих заходів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що:

– набула подальшого розвитку методика аналізу енергоспоживання промислових підприємств шляхом поєднання облікових даних, технологічних характеристик обладнання та профілів навантажень, що дозволило більш точно визначити енергоємні ділянки виробництва;

– удосконалено підхід до обґрунтування застосування фотоелектричних станцій для компенсації власного споживання електроенергії промислового підприємства (на прикладі ТОВ «Будсервіс»), який передбачає врахування добових і сезонних коливань генерації фотоелектричної станції та їх узгодження з фактичним профілем електроспоживання підприємства;

– набули подальшого розвитку принципи енергетичного менеджменту в промисловому секторі (на прикладі ТОВ «Будсервіс») шляхом формування комплексу взаємопов'язаних енергоефективних заходів, що включає впровадження фотоелектричної станції, частотно-регульованих електроприводів, системи технологічного енергомоніторингу та оптимізацію графіка роботи підприємства, інтегрованих у єдину систему управління енергоспоживанням.

**Практичне значення одержаних результатів**

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблений у роботі комплекс енергоефективних заходів може бути безпосередньо впроваджений на ТОВ «Будсервіс» з метою зменшення витрат енергетичних ресурсів, підвищення енергоефективності виробничих процесів та надійності енергопостачання підприємства.

У межах виконаної роботи удосконалено підхід до оцінювання ефективності роботи електроприводів технологічних ліній за рахунок порівняння фактичних режимів їх роботи з оптимізованими режимами, сформованими на основі впровадження частотно-регульованих приводів та систем автоматичного керування. Запропонований підхід дозволяє виявляти нераціональні режими роботи обладнання, обґрунтовувати доцільність застосування частотного регулювання та оцінювати реальний енергетичний ефект від модернізації електроприводів у виробничих умовах.

Подальшого розвитку набули принципи побудови системи технологічного енергомоніторингу на промисловому підприємстві, зокрема шляхом визначення раціональної структури точок вимірювання електроспоживання та інтеграції даних із обладнанням фотоелектричної станції. Реалізація такої системи забезпечує постійний контроль енергоспоживання, аналіз роботи основних енергоспоживачів та формування інформаційної бази для прийняття управлінських рішень у сфері енергоменеджменту.

Встановлення фотоелектричної станції дозволяє частково або повністю компенсувати власне електроспоживання підприємства, зменшити залежність від зовнішніх джерел електроенергії та підвищити енергетичну стійкість підприємства в умовах нестабільного електропостачання.

Запропоновані у роботі рішення створюють передумови для формування на підприємстві ефективної системи енергетичного менеджменту, підвищення енергоефективності виробництва та подальшого впровадження вимог міжнародного стандарту ISO 50001.

### **Апробація результатів роботи**

Універсальна інформаційно-вимірювальна система моніторингу мережевої фотоелектричної станції / Яворський А. В., Гнип В. О., Кафка М. В. // XXIV Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13 – 14 травня 2025 р., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ. С. 350-352.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ КЛЮЧОВИХ НАПРЯМКІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ З ВИГОТОВЛЕННЯ ПОКРІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасні підприємства з виготовлення покрівельних матеріалів функціонують в умовах постійного зростання вартості енергоресурсів, посилення екологічних вимог та високої конкуренції на внутрішньому і зовнішньому ринках. За таких умов одним із ключових чинників стабільного розвитку виробництва стає рівень його енергетичної ефективності. Висока енергоємність технологічних процесів, значний обсяг використання електроенергії та палива, а також залежність від роботи складного технологічного обладнання зумовлюють необхідність глибокого вивчення напрямів зменшення енергоспоживання.

Підприємства покрівельної галузі використовують широкий спектр енергетичного обладнання: профілювальні та різальні лінії, компресорні системи, вентиляційні та опалювальні установки, печі, системи освітлення та внутрішній транспорт. Кожен із цих елементів формує власний внесок у загальний енергетичний баланс, що робить важливим комплексний підхід до оцінки енергоефективності.

У світовій практиці застосовуються різні інструменти раціонального використання енергоресурсів – від модернізації обладнання до системного управління енергією.

### **1.1 Базові принципи забезпечення енергетичної ефективності на підприємствах будівельної галузі**

Поняття енергетичної ефективності для підприємств будівельної галузі охоплює не лише зниження обсягів споживання паливно-енергетичних ресурсів, а й забезпечення стабільної, надійної роботи технологічного обладнання за

мінімально можливих витрат. Для виробників покрівельних матеріалів це особливо важливо, оскільки їхня діяльність пов'язана з переробкою металу, роботою термічних установок, компресорних та вентиляційних систем, що відносяться до енергомістких споживачів. Тому управління енергією має розглядатися як складова загальної стратегії розвитку підприємства, а не як разова технічна акція.

Першим базовим принципом є системність підходу до енергозбереження. Енергоефективність не може бути досягнута шляхом удосконалення лише одного виду обладнання або окремої дільниці виробництва. Необхідно розглядати підприємство як єдиний енергетичний комплекс, у якому взаємодіють виробничі лінії, інженерні мережі, будівлі та споруди, внутрішній транспорт, а також організаційна структура управління. Лише аналіз взаємозв'язків між цими елементами дозволяє виявити реальні резерви економії та уникнути ситуації, коли оптимізація однієї системи призводить до перенавантаження іншої.

Другим важливим принципом є пріоритет енергоефективності на етапі прийняття управлінських і технічних рішень. Це означає, що під час модернізації обладнання, реконструкції будівель, вибору схем енергопостачання чи зміни технологічних режимів необхідно обов'язково оцінювати їхній вплив на споживання енергії. Для підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів це стосується, зокрема, вибору типу профілювальних станів, параметрів термічних установок, характеристик компресорних агрегатів та систем вентиляції. Економічна доцільність таких рішень оцінюється не лише за початковою вартістю обладнання, а й за сумарними витратами протягом усього терміну його експлуатації.

Наступний принцип – достовірний та безперервний облік споживання енергоресурсів. Неможливо управляти тим, що не вимірюється, тому на сучасному підприємстві має бути налагоджена система збору та аналізу даних щодо витрат електроенергії, газу, тепла, води та палив. Для будівельної галузі особливо корисним є поділ обліку за видами технологічних процесів: окремо для

виробничих ліній, компресорного господарства, систем опалення і вентиляції, допоміжних служб.

Окремо слід відзначити принцип поетапності та пріоритету маловитратних заходів. Практика показує, що значну частину економії можна отримати за рахунок організаційних рішень і правильної експлуатації обладнання, не вдаючись одразу до масштабних інвестицій. До таких заходів належать усунення витоків у пневмосистемах, оптимізація режимів роботи компресорів і вентиляції, впорядкування графіків роботи обладнання, регламенти вимкнення непотрібних споживачів у періоди простою. Для підприємств, що виробляють покрівельні матеріали, це часто стосується нічних змін, вихідних днів та режимів роботи допоміжних систем.

Потрібна інтеграція енергетичного менеджменту в загальну систему управління підприємством. Енергоефективність повинна бути закріплена в політиці підприємства, відображена в посадових обов'язках, процедурах планування й бюджетування. Створення посади енергоменеджера або призначення відповідальних за енергоспоживання в окремих підрозділах сприяє підвищенню відповідальності та узгодженості дій. Для будівельних підприємств, де виробництво пов'язане із сезонними коливаннями завантаження, така інтеграція дозволяє краще планувати потребу в енергоресурсах та уникати пікових навантажень.

Ще одним ключовим принципом є залучення персоналу до процесу енергозбереження. Працівники безпосередньо взаємодіють з обладнанням, найбільше знають про особливості його роботи та можуть вчасно помічати нераціональні режими чи несправності. Тому важливо проводити інформаційно-роз'яснювальну роботу, навчання, інструктажі з енергоефективної експлуатації обладнання, а також запроваджувати системи мотивації за пропозиції щодо зниження енергоспоживання. У виробництві покрівельних матеріалів це може стосуватися раціональної організації налаштувань ліній, уникнення холостих запусків, уважного ставлення до стану ущільнень, шлангів та пневмомереж.

Не менш важливим є врахування екологічної складової. Енергоспоживання безпосередньо пов'язане з обсягами викидів парникових газів, особливо якщо використовується викопне паливо, тому заходи з енергозбереження слід оцінювати не лише через економію коштів, а й через можливість зменшення екологічного навантаження. Для підприємств будівельної галузі, що працюють у густонаселених регіонах, це питання набуває додаткової актуальності, оскільки впливає на репутацію підприємства, його взаємодію з місцевими громадами та органами влади.

Забезпечення енергетичної ефективності на підприємствах, які виготовляються покрівельні матеріали, ґрунтуються на системному підході, пріоритеті енергоощадних рішень у процесі управління, достовірному обліку та постійному вдосконаленні, інтеграції енергоменеджменту в загальну систему управління та активній участі персоналу. У сукупності ці принципи створюють методологічну основу, на яку спираються конкретні технічні, інфраструктурні та організаційні заходи, розглянуті в наступних підпунктах розділу.

## **1.2 Аналіз міжнародного досвіду**

Для аналізу напрямків підвищення енергоефективності на вітчизняних підприємствах доцільно орієнтуватися на досвід світових іноземних компаній, які вже тривалий час впроваджують комплексні програми енергозбереження у поєднанні з модернізацією виробництва. До таких належать, зокрема, Ruukki Construction та Kingspan – виробники покрівельних та огорожувальних систем, продукція яких широко застосовується в промисловому та цивільному будівництві.

Ruukki Construction є підрозділом міжнародної групи SSAB і спеціалізується на виробництві сталевих покрівельних і стінових систем, сендвіч-панелей, несучих профільованих листів та інших елементів будівельних оболонок [1].

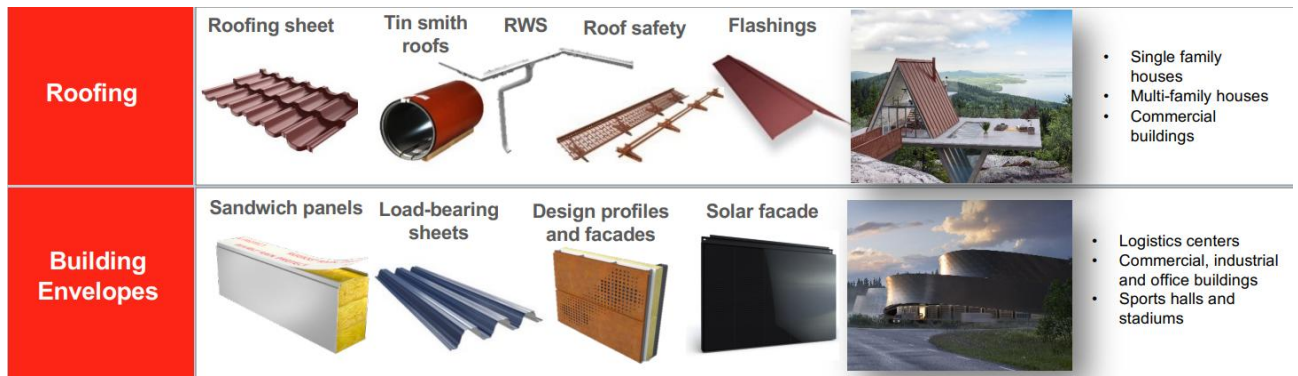


Рисунок 1.1 – Продукція компанії Ruukki Construction

Підприємство працює на ринках Північної та Східної Європи, має кілька виробничих майданчиків і орієнтується на створення рішень, які поєднують довговічність, конструктивну надійність та поліпшені теплоізоляційні властивості [1].

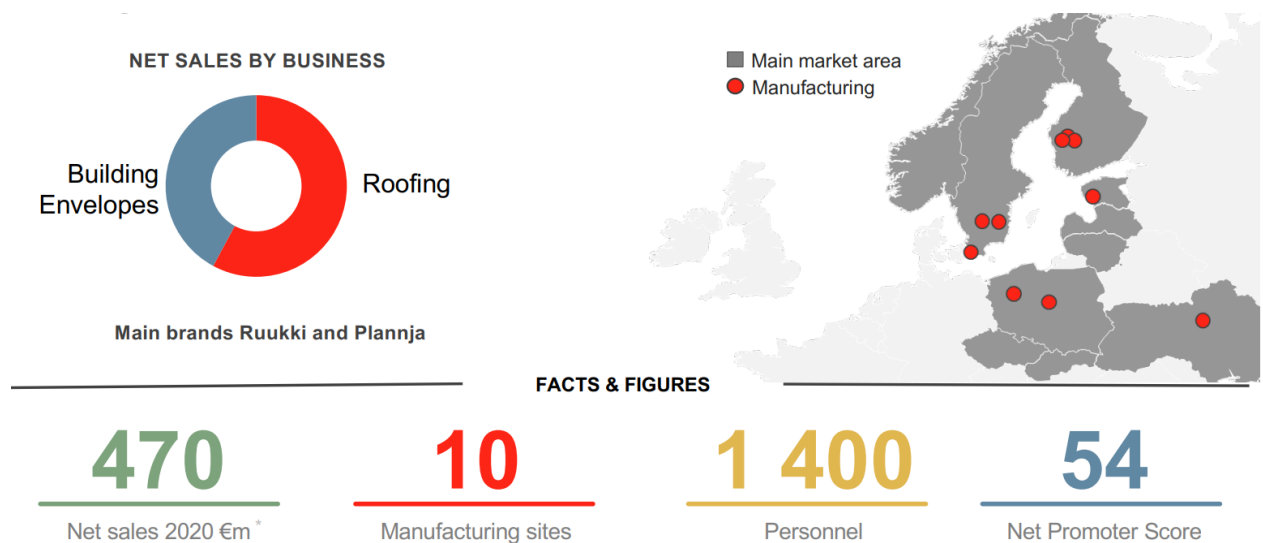


Рисунок 1.2 – Мережа заводів Ruukki Construction у Європі

В асортименті компанії особливе місце посідають енергоефективні покрівельні та фасадні системи, що дозволяють знижувати витрати теплової енергії при експлуатації будівель. Паралельно Ruukki розвиває напрям низьковуглецевих сталевих продуктів, впроваджуючи сталі з меншим вуглецевим слідом та реалізуючи кліматичну «дорожню карту», спрямовану на скорочення викидів CO<sub>2</sub> у виробництві.

Kingspan Insulated Panels є одним із ключових бізнес-напрямів міжнародної корпорації Kingspan Group та одним із провідних світових виробників сендвіч-панелей, покрівельних і фасадних систем з високими теплоізоляційними характеристиками (рисунок 1.3). Продукція цього підрозділу застосовується в промисловому, логістичному, торговельному та громадському будівництві, орієнтуючись на створення енергоефективних будівельних оболонок [12, 14].

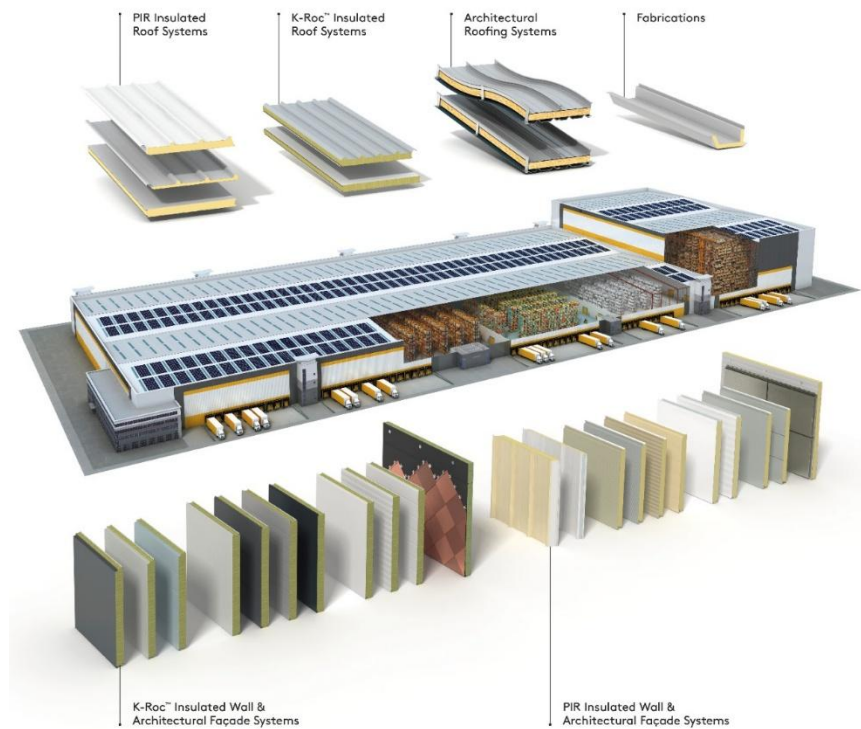


Рисунок 1.3 – Продукція компанії Kingspan Insulated Panels

Компанія реалізує довгострокову програму сталого розвитку, у межах якої ставить кількісні цілі щодо зменшення операційних викидів парникових газів, підвищення частки відновлюваної енергії, збільшення обсягів переробки матеріалів та зниження водоспоживання. Для своїх виробничих майданчиків Kingspan впровадила стратегію «Net Zero Energy», яка передбачає поєднання енергоефективних заходів, власної генерації з відновлюваних джерел та закупівлі «зеленої» електроенергії [8].

Спільною рисою для Ruukki Construction і Kingspan Insulated Panels є те, що обидві компанії розглядають енергоефективність не лише як характеристику готових покрівельних систем, а й як важливий напрямок розвитку власних виробничих процесів. Вони модернізують технологічне обладнання, оптимізують роботу систем освітлення, опалення та вентиляції, впроваджують енергетичний моніторинг і управлінські практики, спрямовані на системне зниження споживання енергоресурсів. Завдяки цьому досвід таких підприємств може слугувати орієнтиром при формуванні заходів з енергозбереження на вітчизняних виробництвах покрівельних матеріалів, зокрема на підприємстві ТОВ «Будсервіс».

### **1.3 Модернізація технологічних процесів виготовлення покрівельних матеріалів**

Один із ключових напрямків підвищення енергоефективності на підприємствах з виготовлення покрівельних матеріалів пов'язаний із модернізацією технологічних процесів. Виробництво металевої покрівлі включає декілька енергомістких етапів: підготовку металопрокату, профілювання, різання, можливе нанесення покриття, сушіння, пакування та внутрішньозаводське транспортування. Кожен з цих етапів формує суттєве навантаження на енергосистему підприємства, тому оновлення обладнання і впровадження сучасних технологій дозволяє знизити питомі витрати енергії на одиницю продукції [3].

Першим важливим напрямом модернізації є заміна застарілого, енергоємного обладнання на нові, більш ефективні агрегати. На багатьох підприємствах досі експлуатуються профілювальні стани, електродвигуни, компресори та допоміжні механізми, що були встановлені десятки років тому й не відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності. Використання сучасних електродвигунів високого класу енергоефективності, зниження механічних втрат у приводах, оптимізація конструкції профілювальних клітей

дає змогу скоротити споживання електроенергії без зміни самої технології виготовлення покрівельних матеріалів [2].

Другий напрям пов'язаний із впровадженням автоматизованих систем управління технологічними процесами. На практиці це означає оснащення обладнання системами частотного регулювання швидкості обертання електродвигунів, програмно-логічними контролерами, датчиками навантаження та стану, які дозволяють підтримувати оптимальні режими роботи. Автоматизовані системи забезпечують плавні пуски, запобігають роботі обладнання вхолосту, узгоджують продуктивність окремих ділянок між собою. Для ліній прокатки та профілювання це дає можливість адаптувати швидкість протягування металу до реальної потреби, зменшуючи перевитрати енергії при частковому завантаженні.

Особливу увагу приділяють оптимізації роботи термічних процесів – сушильних камер, печей полімеризації покриттів, теплових вузлів. Ці установки споживають значну кількість теплової й електричної енергії, тому модернізація часто включає поліпшення теплоізоляції, використання рекуперації тепла від вихідних газів, більш точне регулювання температурних режимів та тривалості циклів. Впровадження сучасних палинкових пристроїв, автоматичних регуляторів температури та систем контролю дозволяє зменшити витрати енергії без погіршення якості покриття готових виробів.

Важливим аспектом модернізації є скорочення втрат стисненого повітря та електроенергії у допоміжних системах. На підприємствах покрівельної галузі широко використовується пневматичний інструмент, пневмоциліндри приводу ножиць, притискачів, транспортерів. При цьому витрати повітря через зношені шланги, фітинги та ущільнення можуть становити значну частку від загальних витрат електроенергії на роботу компресорів. Модернізація у цьому напрямку включає ревізію пневмомереж, заміну зношених елементів, зниження робочого тиску до обґрунтованого рівня, а також впровадження частотно-регульованих приводів на компресорах [17].

Суттєвий потенціал економії закладений також у раціоналізації внутрішньозаводської логістики та механізації. Використання енергоефективних електронавантажувачів, оптимізація схем переміщення рулонної сталі та готової продукції, зменшення кількості холостих рейсів дає можливість скоротити витрати як електроенергії, так і палива. У низці досліджень зазначається, що оптимізація логістичних потоків у виробництві будівельних матеріалів дозволяє зменшити енергоспоживання на 5–10 % без значних капітальних вкладень [5].

Окремо варто виділити напрям застосування сучасних технологій обробки металу та покриттів, спрямованих на зменшення енергоспоживання на одиницю продукції. Йдеться про використання високоефективних мастильно-охолоджувальних рідин, що знижують опір деформації, застосування тонкоплівкових покриттів, які потребують нижчих температур полімеризації, а також впровадження більш досконаlih схем формування профілю, що дозволяють зменшити кількість проходів і, відповідно, споживання енергії.

Не менш важливою складовою модернізації технологічних процесів є уніфікація та стандартизація обладнання. Вона спрощує обслуговування та ремонт, дозволяє зменшити складські запаси запасних частин і забезпечити стабільні режими роботи. З енергетичної точки зору це означає можливість точнішого налаштування параметрів процесу, зниження кількості аварійних зупинок та простоїв, які часто супроводжуються додатковими витратами на повторні розігриви, пуски та регулювання.

Практика закордонних підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів підтверджує доцільність комплексної модернізації технологічних процесів. Зокрема, на заводах Ruukki Construction здійснено поетапну заміну застарілих профілювальних ліній та електроприводів на енергоефективні аналоги, впроваджено частотно-регульовані приводи на ключових механізмах і оптимізовано режими роботи компресорних станцій та сушильних установок (рисунок 1.4) [9].

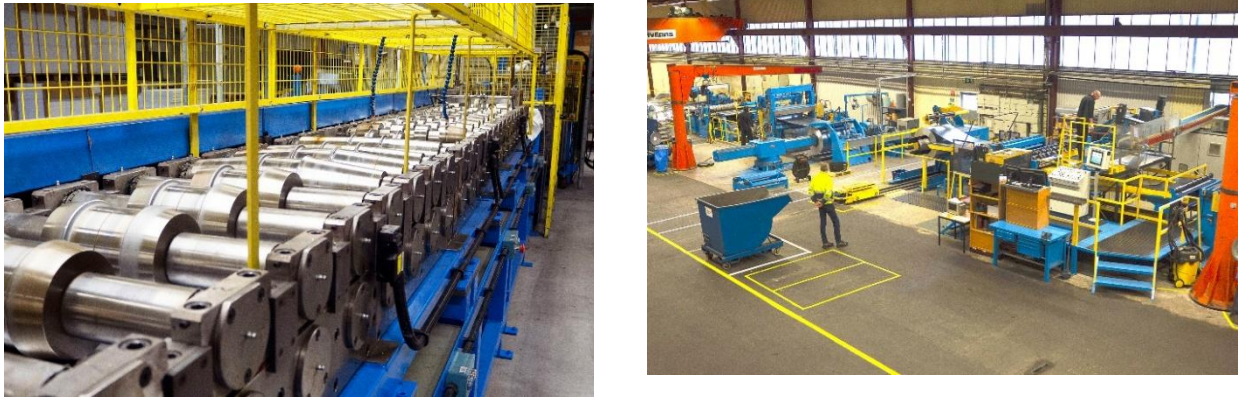


Рисунок 1.4 – Основні технологічні вузли виробництва Ruukki Construction

Компанія Kingspan Insulated Panels у межах реалізації програми «Net Zero Energy» приділяє значну увагу модернізації виробничих ліній, скороченню простоїв і запровадженню автоматизованих систем управління, які забезпечують узгодженість роботи окремих етапів технологічного процесу та зменшують кількість холостих запусків обладнання [15].



Рисунок 1.5 – Виробничий процес на підприємстві Kingspan

Одним із ключових заходів є встановлення масштабних фотоелектричних станцій на дахах виробничих будівель (рисунок 1.6), що дозволяє генерувати

значну частину електроенергії безпосередньо на місці споживання. На окремих заводах площа сонячних модулів перевищує 10 000 м<sup>2</sup>, що забезпечує покриття від 20 до 60 % річного споживання електроенергії [22].



Рисунок 1.6 – Фотоелектрична система Kingspan потужністю 1,1 МВт на заводі у місті Деленд, штат Флорида

Ще одним прикладом екологічних технологій є системи збору дощової води. Спеціальні резервуари, розташовані по периметру виробничих корпусів, накопичують та очищують дощову воду, яка надалі використовується у виробничих та технічних процесах (рисунок 1.7). Це дозволяє суттєво зменшити навантаження на інженерну інфраструктуру та скоротити споживання води на 30–50 % [22].



Рисунок 1.7 – Резервуари для збору дощової води на об'єкті Kingspan у місті Деленд, штат Флорида

На підприємствах Kingspan також впроваджено сучасні системи енергомоніторингу, які у реальному часі аналізують споживання енергоресурсів, визначають пікові навантаження та виявляють ділянки з підвищеними втратами. Це дозволяє оптимізувати роботу компресорів, систем вентиляції та технологічного обладнання, забезпечуючи стабільне зниження енергетичних витрат.

Такий досвід демонструє, що модернізація технологічних процесів на основі принципів енергоефективності є одним із ключових чинників скорочення енерговитрат і підвищення конкурентоспроможності підприємств покрівельної галузі.

Узагальнюючи, модернізація технологічних процесів виготовлення покрівельних матеріалів охоплює комплекс заходів: від заміни морально застарілого обладнання на енергоефективні аналоги до запровадження автоматизованих систем керування, оптимізації термічних і пневматичних систем, впорядкування логістики та використання сучасних технологій обробки металу. Реалізація цих напрямків дає змогу не лише знизити питомі енерговитрати, а й підвищити продуктивність, якість продукції та конкурентоспроможність підприємств будівельної галузі в цілому.

#### **1.4 Енергетична інфраструктура підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів**

Енергетична інфраструктура підприємств, що виготовляють покрівельні матеріали, охоплює системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, мережі електропостачання, установки освітлення, а також джерела теплової та електричної енергії. Саме від організації та технічного стану цих систем значною мірою залежить рівень загального енергоспоживання підприємства. У багатьох випадках енерговитрати інженерної інфраструктури є співставними або навіть перевищують витрати безпосередньо технологічного обладнання, що

підтверджується результатами енергетичних аудитів промислових підприємств будівельної галузі.

Одним із ключових напрямів підвищення енергоефективності є модернізація систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Для виробництва покрівельних матеріалів характерна наявність великих виробничих приміщень із значною висотою стель, що потребує раціональної організації подачі та розподілу тепла й повітряних потоків. Застарілі котельні установки, неізольовані трубопроводи, відсутність регулювання подачі теплоносія за погодними умовами призводять до перевитрат палива та теплової енергії. Модернізація у цьому напрямі передбачає заміну котлів на вискоелективні конденсаційні або водогрійні, впровадження погодозалежної автоматики, гідравлічне балансування систем, застосування рекуператорів тепла у вентиляційних установках, а також зональне регулювання подачі повітря залежно від реальної потреби окремих ділянок [6].

Системи вентиляції та кондиціонування на таких підприємствах виконують не лише санітарно-гігієнічну функцію, а й впливають на стабільність технологічних процесів, наприклад, під час нанесення та сушіння покриттів. Використання сучасних припливно-витяжних установок із рекуперацією тепла, частотним регулюванням електродвигунів вентиляторів і можливістю автоматичного керування за датчиками температури, вологості та забруднення повітря дозволяє суттєво скоротити витрати як теплової, так і електричної енергії. Досвід впровадження таких рішень на підприємствах будівельної індустрії показує зниження енергоспоживання вентиляційних систем на 20–30 % за рахунок використання рекуперації та адаптивного регулювання повітрообміну [3].

Другим важливим напрямом є використання вискоелективних джерел енергопостачання та відновлюваних джерел енергії. Підприємства покрівельної галузі традиційно споживають значні обсяги електроенергії та палива, що збільшує собівартість продукції та впливає на рівень викидів парникових газів. У сучасній практиці все більшого поширення набуває використання газових

когенераційних установок, які забезпечують одночасне виробництво електричної та теплової енергії, а також впровадження локальних сонячних електростанцій та систем підігріву на основі відновлюваних джерел. Для підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів це може бути доцільним як у форматі власних генеруючих установок, так і через укладення довгострокових договорів на постачання «зеленої» електроенергії, що дозволяє знизити вуглецевий слід готової продукції [4].

Перспективним напрямом є використання систем рекуперації тепла від димових газів печей, сушильних камер та іншого термічного обладнання для підігріву повітря припливної вентиляції або систем гарячого водопостачання. У низці досліджень, присвячених енергоефективності металургійних і будівельних виробництв, показано, що впровадження теплообмінників-рекуператорів дозволяє повернути у корисне використання до 15–25 % теплової енергії, яка раніше безповоротно втрачалася з відпрацьованими газами [7]. Для підприємств, що мають значний обсяг термічних процесів, це може стати одним із ключових джерел економії енергоресурсів.

Третім складовим блоком енергетичної інфраструктури є системи освітлення виробничих і адміністративно-побутових приміщень. На багатьох підприємствах досі експлуатуються застарілі люмінесцентні або навіть лампи розжарювання, що спричиняє високі витрати електроенергії та потребує значних ресурсів на обслуговування. Перехід на світлодіодні світильники промислового виконання, впровадження датчиків руху та освітленості, зональне керування освітленням дають змогу знизити споживання електроенергії на освітлення в 2–3 рази при одночасному покращенні умов праці.

Додатковий ефект забезпечує використання природного освітлення за рахунок прозорих вставок у покрівлі, світлових ліхтарів, раціонального планування робочих місць і кольорових рішень в інтер'єрі. При цьому вимагається компроміс між енергоефективністю огорожувальних конструкцій та достатнім рівнем природної освітленості, що враховується під час реконструкції будівельних оболонок та покрівельних систем.

Так, на заводах Ruukki Construction усі основні енергоспоживаючі підсистеми – електроприводи формувальних ліній, компресорна станція, термічні та сушильні установки, системи вентиляції, кондиціонування та освітлення – об'єднані в єдину хмарну систему енергоменеджменту EMS. Це дозволяє у режимі реального часу відстежувати показники електро- і теплових лічильників, аналізувати тенденції навантаження, виявляти джерела втрат та оперативно коригувати режими роботи обладнання.

У поєднанні з модернізацією освітлення (перехід на LED-системи з датчиками руху та денного світла), впровадженням рекуперації тепла від компресорів і термічних установок, а також переходом на 100 % «зелену» електроенергію за довгостроковими РРА-контрактами така енергетична інфраструктура забезпечила зниження споживання електроенергії приблизно на 30 %, тепла – на 25 % та скорочення викидів CO<sub>2</sub> більш ніж на 70 % у межах власних операцій.

Таблиця 1.1. – Структура енерговитрат та потенціал їхнього скорочення

Система, процес	Частка у загальному енергоспоживанні, %	Потенціал економії, % після модернізації
Електроприводи та лінії прокатки	40	20–25
Компресорна станція	15	15–20
Термічні установки, сушіння	25	15–22
Вентиляція та кондиціонування	8	10–15
Освітлення	5	60–70
Інше (транспорт, насоси, офіс)	7	10
Разом		25–30 % загального зниження енерговитрат

Подібну логіку побудови енергетичної інфраструктури реалізує і компанія Kingspan Insulated Panels, де високоефективні системи опалення, вентиляції й освітлення поєднуються з сонячними електростанціями на покрівлях, закупівлею

«зеленої» електроенергії та впровадженням енергоменеджменту за вимогами ISO 50001. Це підтверджує, що для підприємств покрівельної галузі ключовим фактором підвищення енергоефективності стає саме інтегрований підхід до управління всією енергетичною інфраструктурою, а не окремими її елементами.

Інфраструктура підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів є багатокомпонентною системою, в якій поєднуються теплові, вентиляційні, електричні та освітлювальні комплекси. Її модернізація потребує поетапного підходу: спочатку – аналіз фактичного енергоспоживання та визначення найбільш енергоємних елементів, далі – реалізація технічних рішень з оновлення обладнання, впровадження систем автоматичного керування, використання відновлюваних джерел енергії та сучасних систем освітлення.

### **1.5 Будівлі і споруди підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів**

Будівлі та споруди підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів відіграють важливу роль у формуванні загального енергетичного балансу виробництва. Вони забезпечують необхідні умови для розміщення технологічного обладнання, сортування сировини та готової продукції, організації роботи персоналу, але водночас формують значні тепловтрати через огорожувальні конструкції, нераціональну організацію систем опалення та вентиляції, а також через недостатню увагу до енергоефективних рішень при будівництві або реконструкції виробничих приміщень

Одним із базових напрямів підвищення енергоефективності будівель є поліпшення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій. Для виробничих корпусів підприємств покрівельної галузі характерні значні площі стін і покрівель, часто виконаних із легких металевих конструкцій, які без належного утеплення створюють підвищені тепловтрати в холодний період року та перегрівання приміщень у теплий період. Утеплення стін, покрівель та підлог із використанням мінераловатних плит, жорстких пінополімерних матеріалів, сендвіч-панелей з поліпшеними теплоізоляційними характеристиками дозволяє

суттєво знизити потребу в тепловій енергії на опалення та забезпечити більш стабільний мікроклімат у виробничих приміщеннях[7].

Особливе значення має енергоефективна покрівля, оскільки саме через горизонтальні огорожувальні конструкції часто відбуваються найбільші тепловтрати. У виробництві покрівельних матеріалів існує можливість практичної демонстрації переваг власної продукції: використання сучасних покрівельних систем із високими теплоізоляційними властивостями, продуманими вузлами примикань та додатковими шарами утеплення може бути впроваджено безпосередньо на будівлях підприємства.

У багатьох виробничих і адміністративних приміщеннях досі використовуються старі дерев'яні віконні блоки або металопластикові конструкції попередніх поколінь, що мають низькі теплоізоляційні показники та недостатню герметичність. Застосування сучасних вікон із енергозберігаючим склопакетом, зменшеним коефіцієнтом теплопередачі, багатокамерним профілем і якісною фурнітурою дозволяє знизити інфільтраційні втрати тепла та поліпшити комфорт у побутових і адміністративних приміщеннях. Аналогічні принципи стосуються зовнішніх дверей, воріт складів і рамп, для яких доцільно використовувати утеплені конструкції із системами ущільнення та швидкодіючими механізмами відкривання [6].

Важливим аспектом енергоефективності будівель є правильна організація повітрообміну та взаємодії огорожувальних конструкцій із системами вентиляції та опалення. Навіть добре утеплена будівля може мати надмірні втрати енергії через нераціональне розміщення повітропритоків, відсутність повітряних тамбурів при в'їзних воротах, часті відкривання великих проїздів тощо. Встановлення тамбур-шлюзів, використання секційних промислових воріт із швидким підйомом, впровадження повітряно-теплових завіс у зонах інтенсивного руху транспорту дозволяє значно скоротити неконтрольований витік теплого повітря з приміщень [1].

Окремий напрямок пов'язаний із впровадженням енергоефективних рішень на етапі нового будівництва або реконструкції приміщень. Сучасні

вимоги до промислових об'єктів включають не лише міцність і довговічність, а й високий рівень теплозахисту, раціональне використання природного освітлення, можливість інтеграції відновлюваних джерел енергії.

На стадії проектування можна передбачити оптимальну орієнтацію будівель за сторонами світу, застосування світлопрозорих конструкцій із сонцезахисними покриттями, використання «зелених» покрівель або поверхонь, підготовлених до монтажу сонячних панелей. Такі рішення дозволяють у подальшому знизити експлуатаційні витрати та підвищити гнучкість енергетичної стратегії підприємства [4].

Важливою складовою є також організація функціонального зонування будівель і споруд. Розміщення найбільш енергоємних процесів у компактних зонах, що легко піддаються локальному опаленню й вентиляції, дозволяє уникнути ситуації, коли великі об'єми повітря обігриваються лише заради роботи відносно невеликої ділянки технологічного обладнання. Перенесення частини допоміжних операцій у менш енергоємні приміщення, виділення окремих термічних камер із поліпшеною теплоізоляцією, раціональне використання багаторівневих складів – усе це сприяє зменшенню загального навантаження на енергосистему підприємства [5].

На заводах Ruukki під час реконструкції виробничих корпусів застосовуються власні покрівельні та фасадні системи з підвищеними теплоізоляційними характеристиками, відпрацьовуються вузли примикань і герметизації, проводиться заміна старих воріт і заповнень прорізів на енергоефективні секційні конструкції з якісними ущільненнями. Це дозволяє зменшити тепловтрати через огорожувальні конструкції, скоротити інфільтрацію холодного повітря та стабілізувати температурний режим у виробничих приміщеннях.

Компанія Kingspan Insulated Panels, маючи у своєму розпорядженні широкий спектр сендвіч-панелей і дахових систем з низьким коефіцієнтом теплопередачі, активно використовує їх для утеплення власних цехів та складів, поєднуючи модернізацію оболонки будівель із підготовкою покрівель до

встановлення сонячних фотомодулів і раціональним використанням природного освітлення через світлопрозорі елементи.

Додаткові можливості відкривають інструменти енергетичного аудиту будівель, які дозволяють кількісно оцінити тепловтрати, виявити «мости холоду», зони надмірної інфільтрації повітря, неефективні схеми вентиляції. Використання тепловізійного обстеження, вимірювання параметрів мікроклімату, аналіз витрат енергії на опалення та охолодження дає змогу обґрунтувати техніко-економічну доцільність конкретних проєктних рішень і сформулювати пріоритети їх реалізації.

### **1.6 Організаційні та управлінські заходи з енергетичної ефективності на підприємствах з виготовлення покрівельних матеріалів**

Окрім технічних рішень, важливе значення для підвищення енергоефективності має організаційна та управлінська складова. Сучасне енергоефективне обладнання не забезпечить очікуваного результату, якщо відсутня чітка система планування, контролю та відповідальності за споживання енергоресурсів. Тому для підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів організаційні заходи виступають необхідним доповненням до технічної модернізації.

Одним із базових інструментів є регулярне проведення енергетичного аудиту. Енергоаудит дозволяє комплексно оцінити стан енергоспоживання підприємства, виявити основні «зони ризику», визначити втрати в технологічних, інженерних та допоміжних системах, а також сформулювати перелік першочергових заходів з енергозбереження. Для підприємств покрівельної галузі це особливо актуально, оскільки їхній енергетичний баланс формують численні споживачі: профілювальні лінії, компресори, вентиляція, освітлення, системи опалення, транспорт [1].

Наступним напрямом є впровадження системи енергетичного менеджменту. На відміну від разових ініціатив, енергоменеджмент передбачає побудову сталого циклу «планування – реалізація – контроль – удосконалення»

у сфері використання енергоресурсів. На практиці це означає розробку енергетичної політики підприємства, встановлення цілей і цільових показників, визначення відповідальних осіб, створення процедур обліку, моніторингу та звітності, а також періодичний перегляд результатів [6].

У міжнародній практиці системний підхід до управління енергетичними ресурсами закріплений у стандарті ISO 50001 “Системи енергетичного менеджменту”. Він базується на циклі PDCA (*Plan – Do – Check – Act*) і передбачає безперервне підвищення енергоефективності підприємства. На етапі *Plan* здійснюється енергетичний аналіз та аудит, формується енергетична політика, визначаються цілі й завдання у сфері енергозбереження. Етап *Do* пов’язаний з упровадженням технічних та організаційних заходів, *Check* – з моніторингом ключових показників, а *Act* – з коригуванням рішень і оновленням програми енергоефективності.

Важливими елементами ISO 50001 є визначення значущих енергоспоживачів (SEU), на які припадає найбільша частка енергетичних витрат, формування енергетичної бази (Energy Baseline) та показників енергетичної ефективності (EnPI). Енергетична база відображає вихідний рівень споживання енергії та використовується як точка відліку для оцінки результатів упроваджених заходів, а EnPI дозволяють кількісно відстежувати динаміку змін. Такий підхід забезпечує прозорість енергетичного балансу підприємства й дає змогу приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо подальшої модернізації.

Важливу роль відіграє організація внутрішньої структури управління. Доцільно призначати енергоменеджера або створювати невелику робочу групу, до складу якої входять представники виробничих дільниць, енергетичної служби, відділу головного механіка та господарського підрозділу. Це дозволяє уникнути ситуації, коли питання енергозбереження «розмивається» між багатьма службами і не має конкретного відповідального.

Окремим блоком організаційних заходів є навчання та залучення персоналу. Працівники, які безпосередньо працюють з обладнанням, часто

першими помічають нерегламентовані витрати стисненого повітря, нераціональну роботу вентиляторів, непотрібно ввімкнене освітлення або неузгодженість режимів роботи різних ділянок. Проведення інструктажів щодо енергоефективної експлуатації, інформаційних кампаній, внутрішніх семінарів та тренінгів сприяє формуванню культури ощадливого ставлення до енергії. У практиці промислових підприємств застосовуються і більш мотивуючі форми – конкурси на кращу пропозицію з енергозбереження, преміювання за досягнення цільових показників, публічне визнання ініціатив, які дали реальний ефект [2].

Не менш суттєвим є включення енергоефективності до системи планування та бюджетування. Під час формування річних бюджетів розглядаються не лише витрати на оплату енергоресурсів, а й інвестиції в заходи з їхнього скорочення. Економічне обґрунтування таких заходів базується на розрахунку строку окупності, чистого дисконтованого доходу, внутрішньої норми рентабельності тощо. Такий підхід дозволяє керівництву підприємства зробити енергоефективність повноцінним елементом інвестиційної політики, а не другорядним завданням, яке реалізується «за залишковим принципом».

Організаційні та управлінські заходи створюють необхідні умови для успішної реалізації технічних рішень у сфері енергозбереження. Для виробників покрівельних матеріалів це особливо важливо, оскільки поєднання технічної модернізації і правильно організованих управлінських процесів дає змогу досягти стійкого зниження витрат енергоресурсів і підвищити конкурентоспроможність продукції на ринку.

### **1.7 Вибір і обґрунтування напрямків дослідження**

Проведений у розділі 1 аналіз сучасного стану галузі виробництва покрівельних матеріалів, міжнародного досвіду впровадження енергоефективних технологій, особливостей функціонування підприємства ТОВ «Будсервіс» та організаційних підходів до енергетичного менеджменту показав, що підприємство має значний потенціал до зниження енергоємності

продукції. Основними проблемами є висока частка електроенергії у структурі витрат, недостатнє використання відновлюваних джерел енергії, відсутність розвиненої системи енергомоніторингу, а також обмежений рівень автоматизації та керування енергоємними технологічними процесами.

Порівняння з практикою провідних міжнародних компаній (Ruukki, Kingspan тощо) засвідчило, що ключовими напрямками підвищення енергоефективності на подібних підприємствах є впровадження фотоелектричних станцій для покриття власних потреб, застосування систем енергетичного менеджменту відповідно до вимог ISO 50001, використання частотного керування електроприводами, комплексна автоматизація технологічних ліній та запровадження інформаційно-вимірювальних систем моніторингу споживання енергоресурсів. Зіставлення цих підходів із поточним станом ТОВ «Будсервіс» дозволяє виділити найбільш перспективні для дослідження та практичної реалізації напрямки.

З урахуванням наведеного, подальші дослідження в роботі спрямовані на розв'язання двох взаємопов'язаних завдань. По-перше, у розділі 2 буде виконано детальний аналіз енергоспоживання підприємства, сформовано енергетичний баланс, визначено значущі енергоспоживачі (SEU) та оцінено вплив основних технологічних процесів на загальну енергоємність виробництва. По-друге, у розділі 3 на основі результатів аналізу буде розроблено та техніко-економічно обґрунтовано комплекс заходів з підвищення енергоефективності ТОВ «Будсервіс», зокрема впровадження фотоелектричної станції для покриття власних потреб у електроенергії, систем керування електроприводами, автоматизації технологічних процесів та системи енергомоніторингу.

## Висновки до розділу 1

У розділі було узагальнено теоретичні засади забезпечення енергоефективності на підприємствах з виготовлення покрівельних матеріалів та показано, що висока енергоємність технологічних процесів, значна частка витрат на електроенергію і паливо, а також залежність від складної інженерної інфраструктури роблять енергозбереження одним із ключових чинників їх конкурентоспроможності. Визначено, що ефективне управління енергоспоживанням потребує комплексного підходу, який охоплює як технологічне обладнання, так і системи опалення, вентиляції, освітлення, будівлі та організаційну структуру управління підприємством.

Розглянуто базові принципи формування енергетичної ефективності в будівельній галузі: системність і поетапність впровадження заходів, пріоритет енергоощадних рішень при прийнятті технічних та управлінських рішень, достовірний і безперервний облік споживання енергоресурсів, орієнтація на маловитратні організаційні заходи, інтеграція енергоменеджменту в загальну систему управління та активне залучення персоналу. Підкреслено також важливість урахування екологічної складової, зокрема впливу споживання енергії на обсяги викидів парникових газів та екологічну репутацію підприємства.

На основі аналізу діяльності закордонних компаній Ruukki Construction та Kingspan показано, що сучасні виробники покрівельних та огорожувальних систем реалізують комплексні програми енергоефективності, які поєднують модернізацію технологічних процесів, удосконалення енергетичної інфраструктури, підвищення теплозахисту будівельної оболонки та впровадження систем енергетичного менеджменту.

Також узагальнено сучасні організаційно-управлінські підходи до підвищення енергоефективності, включаючи проведення енергетичного аудиту, формування системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог стандарту ISO 50001, визначення значущих енергоспоживачів та встановлення показників

енергетичної результативності. Зазначені механізми створюють основу для впровадження стратегічних програм енергомодернізації на промислових підприємствах.

Систематизовано основні напрями підвищення енергоефективності для підприємств з виготовлення покрівельних матеріалів: модернізація технологічного обладнання та термічних процесів, оптимізація роботи компресорних та вентиляційних систем, удосконалення енергетичної інфраструктури (опалення, вентиляція, освітлення, джерела енергії), підвищення теплоізоляційних характеристик будівель і споруд. Сукупність цих напрямків формує методологічну основу для подальших досліджень.

Таким чином, результати, отримані в першому розділі, створюють теоретичне підґрунтя для аналізу фактичного стану енергоспоживання на підприємстві ТОВ «Будсервіс» та вибору пріоритетних напрямків його енергомодернізації. У наступному розділі ці підходи будуть використані для оцінки структури та рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів, виявлення «вузьких місць» у системі енергозабезпечення підприємства та обґрунтування подальших практичних заходів з підвищення енергоефективності.

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТОВ «БУДСЕРВІС»

Підвищення енергетичної ефективності є одним із ключових напрямів розвитку сучасних промислових підприємств, оскільки раціональне використання енергоресурсів безпосередньо впливає на собівартість продукції, конкурентоспроможність виробництва та екологічну сталість його функціонування. Зменшення енергозатрат дає змогу підвищити фінансову стабільність підприємства, знизити залежність від коливань цін на енергоносії та сприяє досягненню цілей сталого розвитку.

Комплексний аналіз енергетичного стану підприємства дозволяє оцінити, наскільки ефективно використовуються доступні ресурси, визначити енергоємні ділянки виробництва та виявити резерви зниження витрат. Окрім того, дослідження структури споживання ресурсів дає можливість оцінити вплив організаційних, технічних та технологічних чинників на загальний рівень енергоефективності. Отримані результати формують основу для вибору напрямів модернізації виробничих ліній, оптимізації режимів роботи обладнання та удосконалення системи енергозабезпечення.

Підприємство ТОВ «Будсервіс» характеризується типовим для галузі набором паливно-енергетичних ресурсів, до яких належать електроенергія, дизельне паливо, бензин та скраплений газ. Проте співвідношення їхнього використання залежить від багатьох факторів: виробничого навантаження, стану обладнання, режимів роботи, організації внутрішньої логістики тощо. Саме тому детальний аналіз фактичних даних є необхідним кроком для об'єктивної оцінки поточного рівня енергоефективності.

Аналіз енергоспоживання дозволяє глибше зрозуміти, які саме виробничі процеси формують найбільші витрати ресурсів і як змінюється їхня структура протягом року. Це є необхідною умовою для визначення реального рівня енергоефективності підприємства та виявлення чинників, що впливають на

загальне споживання енергії. Отримані дані створюють основу для подальшої діагностики сильних і слабких сторін системи енергозабезпечення підприємства та дають змогу сформулювати об'єктивне уявлення про потенційні резерви її оптимізації.

## 2.1 Загальна характеристика підприємства ТОВ «Будсервіс»

Промислове підприємство ТОВ «Будсервіс» розташоване в місті Івано-Франківськ і спеціалізується на виробництві металевих покрівельних, фасадних та добірних елементів. Компанія понад п'ятнадцять років працює на українському ринку будівельних матеріалів і є одним із лідерів у сегменті металочерепиці та профнастилу.

Підприємство розташоване в місті Івано-Франківську, за адресою: вул. Івана Макуха, 41 Б (рисунок 2.1). Виробничі приміщення та адміністративно-побутовий корпус розміщені на промисловій території з підведеними інженерними комунікаціями – електропостачанням, газопостачанням, водопостачанням та каналізацією [23].



Рисунок 2.1 – Завод покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс»

Компанія заснована на початку 2000-х років. Почавши з однієї лінії прокатки, ТОВ «Будсервіс» перетворився на сучасний виробничий комплекс, що об'єднує більше п'ятнадцяти автоматизованих ліній формування профілів, дільницю порізки та фарбування рулонної сталі, логістичний центр і складські приміщення. У процесі розвитку компанія неодноразово модернізувала обладнання, впроваджувала нові технології, розширювала асортимент продукції та мережу збуту. Нині її представництва діють у більшості обласних центрів України, а продукція експортується до країн ЄС і Молдови.

Основний напрям діяльності – це виробництво металочерепиці, профнастилу, металевого сайдингу, водостічних систем, металевого штахетника та комплектуючих до дахів і фасадів. Для виготовлення продукції використовується високоякісна сировина з Європи (Німеччина, Італія, Польща), що має сертифікати якості ISO 9001 та EN 14782.

Асортимент продукції підприємства охоплює (рисунок 2.2):

- металочерепицю різних профілів (Monterrey, Retro, Madera, Mod);
- профнастил для покрівель, фасадів і огорож (С-8, С-21, НС-35, НС-44, Н-57);
- фасадні касети, металосайдинг;
- водостічні системи, штахетник та добірні елементи.



Рисунок 2.2 – Вид форм металочерепиці ТОВ «Будсервіс»

Основна сировина – це оцинкована сталь із полімерним покриттям товщиною 0,45–0,60 мм від провідних європейських постачальників (*thyssenkrupp, Arvedi, SSAB Sweden*). Загальний добовий випуск становить до 30 тис. м<sup>2</sup> продукції, що дозволяє задовольняти попит не лише внутрішнього, а й зовнішнього ринку.

## 2.2 Технологічний процес на підприємстві

Виробничий процес складається з кількох послідовних етапів:

1. Підготовка рулонної сталі – розмотування, вирівнювання, обрізання крайок.
2. Холодне формування профілю – проходження листа через систему валків, які надають потрібну форму хвилі чи трапеції.
3. Обрізання листів, нанесення захисно-декоративного шару, термічна полімеризація.
4. Охолодження, контроль якості й пакування – остаточна обробка, перевірка параметрів і маркування.

Першим етапом є приймання та підготовка рулонної сталі (рисунок 2.3, рисунок 2.4).



Рисунок 2.3 – Стелажі з рулонами металу



Рисунок 2.4 – Процес розмотування рулону металу

На ділянці розвантаження рулони подаються з транспортних засобів кран-балками або навантажувачами та розміщуються на спеціальних стелажах. Перед подачею на лінію кожен рулон проходить візуальний контроль стану цинкового та полімерного покриття, перевіряються товщина металу, колір, маркування постачальника. Далі рулон встановлюється на розмотувач, де здійснюється його центрування та підготовка торця до заправки в лінію.

Наступна стадія – розмотування та вирівнювання стрічки (рисунок 2.5). Листова сталь з розмотувача через напрямні пристрої подається на агрегат початкового випрямлення, де за допомогою системи валків усуваються хвилястість та залишкові деформації після намотування. Одночасно може виконуватися обрізання крайок для отримання необхідної робочої ширини стрічки. На цьому етапі важливим енергоспоживачем є електроприводи розмотувача, вирівнювальних валків та приводних роликів подачі.

Ключовою операцією є холодне формування профілю (рисунок 2.5). Підготовлена стрічка послідовно проходить через групу профілювальних клітей, у кожній з яких валковий інструмент поступово надає металу потрібної геометрії – хвилі металочерепиці або трапецієподібного профілю для профнастилу. Формування відбувається без нагріву, за рахунок пластичної деформації при кімнатній температурі. Швидкість руху стрічки та навантаження на

електродвигуни регулюються залежно від типу профілю й товщини металу. Саме ця ділянка забезпечує найбільшу частку споживання електроенергії серед технологічних операцій.



Рисунок 2.5 – Профілювання листів металу

Для виготовлення металочерепиці модульного типу після основного формування профілю здійснюється штампування кроку хвилі. Лист послідовно подається у штамп, де за один чи кілька ходів формується характерний рельєф «черепички». Одночасно можуть пробиватися монтажні отвори та вирізи під замкові елементи. Робота пресового обладнання також потребує значних енергетичних витрат, зокрема при інтенсивному режимі штампування.

Після формування профілю виконується поздовжнє та поперечне різання (рисунок 2.6). На задану довжину листи відрізаються гільйотинними ножицями або дисковими пилками, керованими автоматичною системою за сигналами датчиків положення. Для профнастилу часто використовують безперервне різання на виході лінії з мінімальними втратами металу. На цьому етапі контролюються фактичні розміри, паралельність різів, цілісність полімерного покриття по лінії відрізу.



Рисунок 2.6 – Різання листів металочерепиці за довжиною

Окрему групу операцій становить виготовлення добірних елементів та водостічних систем (рисунок 2.7). Плоска листова сталь із рулонів подається на лінії поздовжнього різання, де заготовки розкроюються на стрічки необхідної ширини. Далі на листозгинальних верстатах формуються планки примикання, карнизні та фронтонні елементи, снігозатримувачі, елементи водостічних систем. Ці операції менш енергоємні, проте потребують точного дотримання геометрії для забезпечення якісного монтажу покрівлі [24].



Рисунок 2.7 – Верстат для згинання листового металу MB-2150

Після виконання основних формувальних та різальних операцій продукція проходить контроль якості. Проводиться перевірка геометричних параметрів профілю, відповідності товщини металу, кольору та типу покриття замовленню,

а також відсутності механічних пошкоджень, подряпин чи відшарувань полімерного шару (рисунок 2.8). За необхідності дефектні листи відбираються й спрямовуються на переробку або використовуються як службові елементи. Контроль здійснюється як візуально, так і за допомогою вимірювального інструменту.



Рисунок 2.8 – Контроль якості продукції

Завершальним етапом є пакування та складування готової продукції. Листи металочерепиці або профнастилу комплектуються у пачки, розділяються прокладками, стягуються стрічками та захищаються поліетиленовою плівкою або картонними уголками (рисунок 2.9). Далі пакети маркуються, вказуються основні параметри продукції та дані замовлення, після чого вони транспортуються навантажувачами на склад готової продукції або безпосередньо на відвантаження. На цьому етапі, окрім електроенергії на роботу пакувальних механізмів, помітну частку споживання становить дизельне паливо внутрішньоцехового транспорту.



Рисунок 2.9 – Процес видачі готової продукції

Функціонування основного технологічного процесу забезпечується допоміжними системами – компресорним господарством, яке подає стиснене повітря до пневматичного інструменту та виконавчих механізмів, системами загальнообмінної та місцевої вентиляції, освітленням виробничих приміщень. У сукупності саме формувальні лінії, компресорна станція та вентиляційні установки формують основний обсяг електроспоживання підприємства, тоді як транспортні операції визначають витрати дизельного палива. Детальний аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів за видами продукції та технологічними ділянками наведено в наступних підрозділах.

Більшість обладнання працює на електричній тязі, тому виробництво відноситься до електроємних. Значну частину енергоспоживання формують формувальні лінії, компресорна станція та вентиляційні системи.

### **2.3 Організаційна структура підприємства**

Управління діяльністю ТОВ «Будсервіс» здійснюється на основі функціонально-лінійної організаційної структури, яка поєднує централізоване прийняття стратегічних рішень із розподілом операційних функцій між

окремими службами та відділами. Такий підхід є характерним для промислових підприємств середнього масштабу та дозволяє забезпечити чіткий розподіл повноважень, відповідальності та підзвітності між структурними підрозділами.

Загальне керівництво підприємством здійснює директор, який відповідає за формування стратегії розвитку, взаємодію з ключовими партнерами та контролює виконання фінансових і виробничих показників. У безпосередньому підпорядкуванні директора перебувають заступник директора з виробництва (головний інженер), комерційний директор, фінансовий директор, а також керівник служби персоналу. Така схема дає змогу поєднати технічний, комерційний і фінансовий блоки управління в єдиному контурі прийняття рішень.

Головний інженер координує роботу основних технічних служб: виробничо-технічного відділу, енергетичної служби, служби головного механіка, відділу охорони праці та служби контролю якості. До його компетенції належать питання організації виробничого процесу, планування та виконання ремонтів, технічне переоснащення, впровадження нових технологій, а також забезпечення надійності та безпечної експлуатації обладнання. У контексті енергоефективності саме через головного інженера проходить більшість рішень, пов'язаних із модернізацією технологічних ліній, оновленням інженерних систем та впровадженням заходів з енергозбереження.

Виробничий відділ організовує роботу основних цехів, відповідає за планування завантаження ліній, оперативне управління випуском продукції, дотримання технологічних режимів та виробничої дисципліни. Начальники змін та майстри безпосередньо керують роботою операторів ліній, наладчиків, вантажників та інших робітників. Виробничий відділ є основним споживачем інформації від енергетичної служби щодо режимів роботи обладнання, пікових навантажень, обмежень за потужністю тощо.

Служба головного механіка відповідає за механічну частину обладнання: редуктори, приводи, транспортери, вантажопідіймальні механізми, технологічну оснастку. Її завдання – забезпечити справний технічний стан обладнання,

мінімізувати простої через аварійні зупинки, планувати і виконувати профілактичні ремонти. Хоча основною функцією служби є підтримання працездатності обладнання, від якості її роботи безпосередньо залежать і енергетичні показники некоректно налаштовані або зношені вузли спричиняють зайве навантаження на електродвигуни, підвищують споживання енергії, що враховується при плануванні ремонтних кампаній.

Відділ контролю якості забезпечує відповідність готової продукції вимогам стандартів, технічних умов та внутрішньої нормативної документації підприємства. Його фахівці здійснюють вхідний контроль сировини (рулонної сталі, комплектуючих), проміжний контроль на стадії формування та різання профілів, а також вихідний контроль готових виробів. Наявність стабільної системи контролю якості дозволяє зменшити кількість браку і переробок, а отже, і непродуктивних втрат енергоресурсів на виготовлення дефектної продукції.

Окрему роль на підприємстві ТОВ відіграє відділ відвантаження та складування продукції. До основних функцій цього підрозділу належать: приймання готової продукцію, її облік, формування партій відвантаження відповідно до умов договорів із замовниками, пакування, маркування та розміщення продукції на складі.

Важливим є також відділ логістики, який забезпечує планування, організацію та координацію перевезень як сировини, так і готової продукції. До його компетенції входять: розроблення оптимальних маршрутів доставки, вибір типів транспортних засобів, формування графіків відвантаження, взаємодія з транспортними компаніями та клієнтами, а також контроль виконання термінів постачання.

Комерційний відділ та відділ збуту відповідають за роботу з замовниками, формування портфеля замовлень, ціноутворення й супровід контрактів. Саме вони забезпечують узгодження номенклатури продукції з виробничими можливостями підприємства, що важливо для оптимального завантаження обладнання та уникнення нерівномірних пікових навантажень. У структурі збуту функціонує логістична служба, яка організовує транспортування продукції до

клієнтів, планує маршрути доставки та графіки відвантаження, що також впливає на споживання дизельного палива та загальну енергоефективність логістичного блоку.

Фінансово-економічна служба здійснює планування та аналіз витрат, у тому числі на енергоресурси, бере участь у підготовці інвестиційних проєктів з технічного переоснащення, розраховує окупність заходів з енергозбереження. Її роль у контексті енергоефективності полягає в тому, щоб перевести технічні ініціативи в економічні показники – вартість інвестицій, економію коштів, строк окупності, вплив на собівартість продукції.

Окремий напрям роботи забезпечує служба охорони праці та екології, яка контролює дотримання вимог безпечної експлуатації обладнання, норм мікроклімату в приміщеннях, а також викидів і відходів. Частина заходів з енергоефективності, зокрема модернізація вентиляційних систем, освітлення, теплової ізоляції, прямо пов'язана з покращенням умов праці та зниженням негативного впливу виробництва на довкілля, тому ці підрозділи також залучені до планування і реалізації відповідних проєктів.

Загалом організаційна структура ТОВ «Будсервіс» забезпечує відносно чіткий розподіл функцій між основними та допоміжними службами, що створює передумови для системного підходу до управління енергоспоживанням. Водночас подальше вдосконалення управлінських процесів у сфері енергоефективності може бути пов'язане з формалізацією функцій енергоменеджменту, посиленням ролі енергетичної служби у стратегічному плануванні, розширенням внутрішнього обліку та звітності за показниками споживання енергоресурсів. Ці питання розглядаються у наступних підрозділах та розділах магістерської роботи.

## **2.4 Будівлі та споруди підприємства ТОВ «Будсервіс»**

До складу виробничого комплексу ТОВ «Будсервіс» входять кілька основних груп будівель і споруд: виробничі цехи, складські приміщення для

зберігання рулонної сталі та готової продукції, адміністративно-побутовий корпус, а також допоміжні об'єкти (відкриті майданчики, навіси, транспортно-логістична інфраструктура) (рисунк 2.10). Така конфігурація є типовою для підприємств, що займаються виготовленням покрівельних і фасадних матеріалів.



Рисунк 2.10 – Схема будівель та споруд підприємства ТОВ «Будсервіс»

– Будівля №1 є головним офісом підприємства з площею забудови близько 450 м<sup>2</sup>. У ній розміщені адміністративні служби, відділ продажу, бухгалтерія та керівництво. Приміщення має додаткове утеплення пінопластом, що зменшує тепловтрати, а опалення здійснюється комбіновано – за допомогою природного газу та твердого палива.

– Будівля №2 є колишнім складом товарів площею приблизно 900 м<sup>2</sup>. У перспективі вона планується до переобладнання у виробничий цех із розміщенням ліній для виготовлення клік-фальцу, євробрусу, фасадної панелі, блок-хаусу, штахетника, штрипсорізу та додаткової зони зберігання штрипсів.

– Будівля №3 є основним виробничим корпусом підприємства площею 1700 м<sup>2</sup>. У ній розташовані основні профілювальні лінії (Т-57, Т-40, Т-18, Т-14, Т-07) та лінії для виробництва металочерепиці різних профілів – Монтерей, Ера, Венеція, Інтегра, Ретро. Також розміщені лінії обліковочних та планкарних

елементів. Планується модернізація – встановлення додаткової профілювальної лінії Т-7 з перфорацією.

– Будівля №4 – новий виробничий цех площею близько 500 м<sup>2</sup>. Тут розміщується обладнання для виготовлення профілів «Модерн», «Мадера», «Венеція», а також лінії клік-фальцу та штрипсорізу. Планується заміна або модернізація штрипсорізу для виготовлення фальц-настилу.

– Будівля №5 – виробництво фасадних систем та склад зберігання матеріалів, площею 650 м<sup>2</sup>. Тут виготовляються блок-хаус, євробрус, фасадні панелі та штахетник. У подальшому передбачається виділення окремої зони для зберігання алюмінієвої та оцинкованої сировини.

– Будівля №6 – приміщення для відвантаження готової продукції та зберігання рулонної сировини (бухт). Її площа становить близько 100 м<sup>2</sup>. Тут здійснюється комплектування продукції та навантажувально-розвантажувальні роботи.

– Будівля №7 є столярним цехом площею 250 м<sup>2</sup>, у якому виготовляються дерев'яні палети, тара та інші допоміжні елементи, необхідні для транспортування та складування продукції.

– Будівля №8 – орендоване приміщення площею 300 м<sup>2</sup>, яке використовується сторонніми виробничими підрозділами. В перспективі планується встановлення двох лісторубів для розширення внутрішніх виробничих процесів підприємства.

– Будівля №9 – ще одне орендоване приміщення площею близько 300 м<sup>2</sup>, яке використовується переважно як складське або допоміжне приміщення.

– Будівля №10 є новим складом товарів площею близько 1000 м<sup>2</sup>. Тут здійснюється зберігання готової продукції, формування великогабаритних партій замовлень та значний обсяг внутрішніх навантажувально-розвантажувальних операцій.

Основним за площею є виробничий цех, у якому розміщені лінії профілювання металочерепиці та профнастилу, дільниця виготовлення добірних елементів, компресорне обладнання та внутрішньоцеховий транспорт. Вони

виконані у вигляді панельних конструкцій із металевим перекриттям та покрівлею з профнастилу. Такі будівлі характеризуються відносно низьким опором теплопередачі, що може призводити до підвищених тепловтрат у холодну пору року та перегрівання у літній період. Конструктивні особливості виробничих приміщень слід враховувати при аналізі енергетичного балансу підприємства та оцінці потреб у модернізації теплової ізоляції.

Офісне приміщення підприємства має проведене додаткове утеплення огорожувальних конструкцій шляхом облицювання пінопластом, що дозволило зменшити тепловтрати через стіни та поліпшити температурний режим у зимовий період. Це є важливим елементом підвищення енергоефективності адміністративних будівель, оскільки якість теплоізоляції безпосередньо впливає на обсяг споживання газу та твердого палива для опалення.

З погляду енергоефективності вирішальне значення мають фактичні теплоізоляційні властивості огорожувальних конструкцій і герметичність прорізів. Найбільші тепловтрати, як правило, припадають на стіни і покрівлю, а також на великі ворота та технологічні прорізи, через які відбувається інтенсивний повітрообмін із зовнішнім середовищем.

У цілому будівлі та виробничі приміщення підприємства забезпечують базовий рівень теплозахисту, який достатній для нормальної експлуатації, але мають помітний потенціал для підвищення енергоефективності.

## **2.5 Аналіз споживання та структури використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві ТОВ «Будсервіс»**

Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів є одним із ключових чинників стабільного функціонування будь-якого підприємства. Для оцінки рівня енергоефективності було проаналізовано річну динаміку споживання електроенергії, скрапленого газу, бензину та дизельного палива, а також їхню питому витрату на одиницю виробленої продукції. Узагальнені дані свідчать про те, що основне навантаження на енергетичну систему підприємства

припадає саме на електроенергію та дизельне паливо, тоді як частка інших ресурсів залишається незначною. Також розглянуто обсяг продукції, який у цьому періоді становив 1 088 349 м<sup>2</sup>, і на основі цих даних визначено питомі показники енергоспоживання.

Оскільки підприємство використовує різні види паливно-енергетичних ресурсів, важливо оцінювати не лише їхні абсолютні обсяги, а й ефективність використання щодо кількості виготовленої продукції. Для цього застосовується показник питомої витрати, який характеризує, скільки енергії або палива необхідно для виробництва одного квадратного метра продукції. Питомий показник визначають шляхом ділення річного споживання відповідного ресурсу на річний обсяг виготовленої продукції. Це дозволяє здійснювати коректне порівняння різних енергоресурсів та оцінювати їхній внесок у енергоемність виробництва.



Рисунок 2.11 – Вузол комерційного обліку електричної енергії



Рисунок 2.12 – Схема розташування електрощитових на території ТОВ «Будсервіс»

На території ТОВ підприємства функціонує чотирнадцять електрощитових, кожна з яких забезпечує живлення певних груп споживачів (рисунок 2.11, рисунок 2.12). Розподіл навантажень між щитовими здійснюється таким чином:

Щитова №1 – головний офіс (1-й поверх).

Щитова №2 – субабоненти головного офісу: 1-й поверх, 2-й поверх, шиномонтаж, «Кооп 29», ключі, матраси, гараж, трактори.

Щитова №3 – живлення від ввідного кабелю №1; субабоненти позаду гаража: Вавілот резерв, кузня.

Щитова №4 – склад товарів (тепер рівний лист).

Щитова №5 – обліковці та виробництво.

Щитова №6 – новий цех.

Щитова №7 – столярний цех; відвантаження та бухти.

Щитова №8 – нова територія (новий склад товарів, нові стелажі, субабоненти нової території).

Щитова №9 – офіс «Технодім».

Щитова №10 – склад «Технодім».

Щитова №11 – ПП «Про Трак».

Щитова №12 – оренда техніки (фірма «Остап»).

Щитова №13 – новий склад: 1 поверх (однофазне живлення) та 2 поверх (трифазне живлення).

Щитова №14 – живлення від ввідного кабелю №2.

Електроенергія є основним енергоресурсом для технологічного процесу, оскільки вона забезпечує роботу профілювальних ліній, компресорного обладнання, вентиляційних систем, порізки та пакування продукції. За 2024 рік підприємство спожило 136 753 кВт·год, що відповідає питомій витраті 0,14 кВт·год/м<sup>2</sup>. Такий показник свідчить про економне використання електроенергії у виробничому процесі та є нижчим порівняно з типовими значеннями для підприємств металопрофільної галузі. Нижче наведено в таблиці 2.1 помісячні дані щодо обсягів виробництва та споживання електроенергії.

Таблиця 2.1 – «Помісячне споживання електроенергії та обсяги виробництва у 2024 році»

№	Місяць	Продукція Од./м <sup>2</sup>	кВт·год	На одиницю товару кВт*год/од.	Вартість грн/кВт·год без ПДВ	Облік	Місце застосу- вання
1	Січень	67692	15251	0,23	8,1	Обладнання постачальника, 0% ВДЄ	Офіс, виробниче обладнання, склад.
2	Лютий	72850	10771	0,15	8,1		
3	Березень	45124	12160	0,27	8,1		
4	Квітень	90724	8628	0,10	8,1		
5	Травень	89082	6859	0,08	8,1		
6	Червень	68295	7198	0,11	8,1		
7	Липень	96600	8840	0,09	8,1		
8	Серпень	136040	9357	0,07	8,1		
9	Вересень	102765	9335	0,09	8,1		
10	Жовтень	155420	15338	0,10	8,1		
11	Листопад	100880	17758	0,18	8,1		
12	Грудень	62877	15258	0,24	8,1		
Всього за рік		1088349	136753	0,14			

Окрім місячних значень, було проаналізовано погодинне споживання електроенергії за три послідовні дні – 24, 25 та 26 жовтня 2025 року. Завдяки цим даним, які наведені в таблиці 2.2 можна оцінити характер навантаження протягом доби, визначити пікові періоди та визначити наявність нічних холостих витрат. Найвище навантаження зафіксовано у п’ятницю – 850 кВт·год, тоді як у суботу та неділю споживання становило відповідно 448 та 350 кВт·год. Така різниця підтверджує, що інтенсивність виробничої діяльності залежить від дня тижня.

Таблиця 2.2 – Погодинне споживання електроенергії за 24–26 жовтня 2025 року

Години доби	П’ятниця	Субота	Неділя
	24.Жов	25.Жов	26.Жов
00.00-01.00	23	25	15
01.00-02.00	22	21	14
02.00-03.00	21	16	13
03.00-04.00	19	15	13
04.00-05.00	21	15	13
05.00-06.00	20	15	13
06.00-07.00	16	16	13
07.00-08.00	23	21	13
08.00-09.00	55	35	15
09.00-10.00	60	36	14
10.00-11.00	45	26	14
11.00-12.00	48	29	14
12.00-13.00	37	21	14
13.00-14.00	51	10	9
14.00-15.00	58	10	8
15.00-16.00	56	19	14
16.00-17.00	59	15	16
17.00-18.00	39	16	18
18.00-19.00	44	15	19
19.00-20.00	28	14	19
20.00-21.00	23	14	19
21.00-22.00	28	14	18
22.00-23.00	29	15	16
23.00-24.00	25	15	16
Споживання за добу	850 кВт·год	448 кВт·год	350 кВт·год

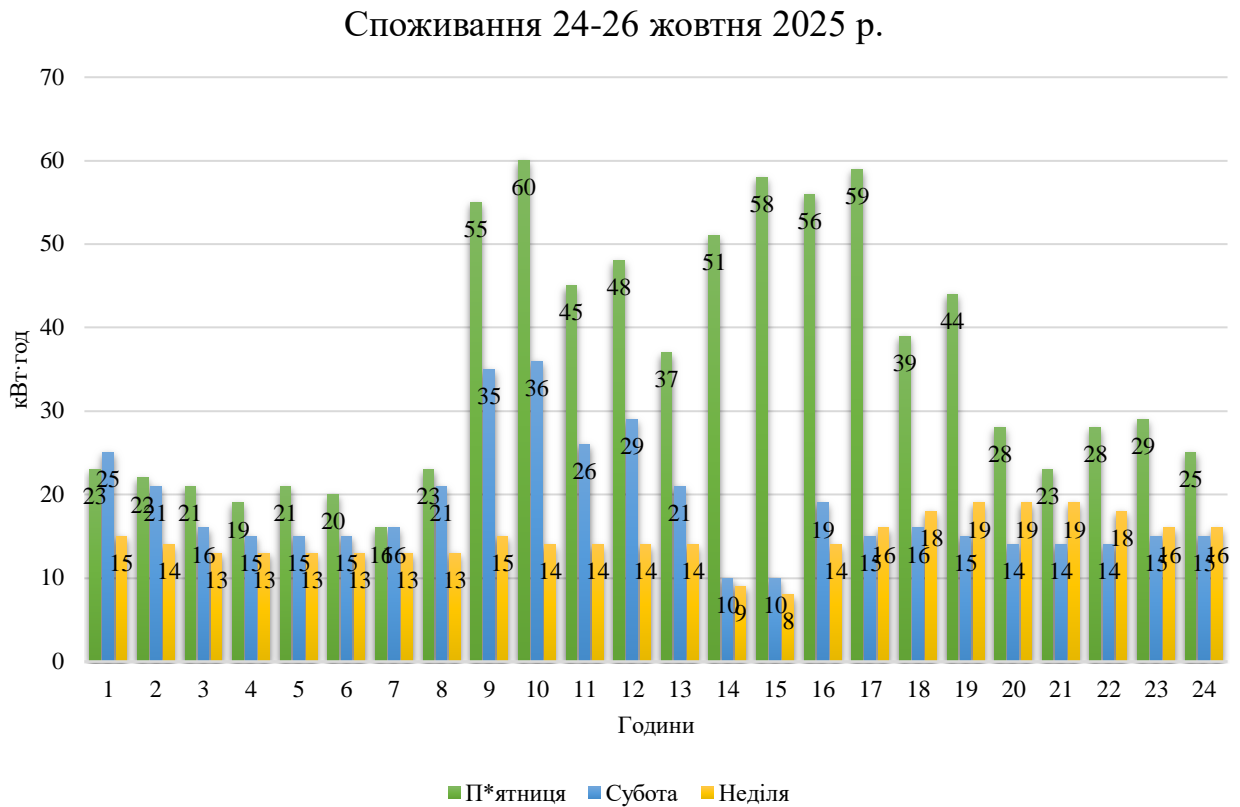


Рисунок 2.13 – Графік погодинного споживання електроенергії за 24–26 жовтня 2025 року

Графік свідчить, що основне навантаження припадає на період із 08:00 до 18:00. Нічні значення мінімальні, що свідчить про відсутність суттєвих нерациональних витрат у неробочий час.

Скраплений газ використовується переважно в допоміжних технологічних операціях. У 2024 році підприємство спожило 19 990,4 літра, що відповідає питомій витраті 0,02 л/м<sup>2</sup> (таблиця 2.3). Хоча його роль у загальному енергобалансі незначна, цей ресурс залишається важливим для забезпечення роботи окремих систем.

Таблиця 2.3 – Споживання скрапленого газу у 2024 році та питома витрата

№	Місяць	Продукція. Од./м <sup>2</sup>	Об'єм, літр	На одиницю товару літрів/од	Вартість грн/літр. без ПДВ	Облік	Місце застосу- вання
1	Січень	67692	1313,6	0,0194	28,00	Обладнання АгЗС, 0% ВДЕ	Транспорт
2	Лютий	72850	924,0	0,0127	28,00		
3	Березень	45124	2371,0	0,0525	28,00		
4	Квітень	90724	2488,0	0,0274	28,00		
5	Травень	89082	2896,8	0,0325	28,00		
6	Червень	68295	1601,0	0,0234	28,00		
7	Липень	96600	1504,0	0,0156	28,00		
8	Серпень	136040	1495,0	0,0110	28,00		
9	Вересень	102765	1300,0	0,0127	28,00		
10	Жовтень	155420	1501,0	0,0097	28,00		
11	Листопад	100880	1197,0	0,0119	28,00		
12	Грудень	62877	1399,0	0,0222	28,00		
Всього за рік:			19 990,4	0,02			

Бензин використовується службовим транспортом підприємства. За 2024 р. його споживання становило 4 758,8 л., а питома витрата – 0,005 л/м<sup>2</sup>, що свідчить про низький рівень залежності від бензинових видів пального.

Таблиця 2.4 – Споживання бензину у 2024 році та його питома характеристика

№	Місяць	Продукція. Од./м <sup>2</sup>	Об'єм, літр	На одиницю товару літрів/од	Вартість грн/літр. без ПДВ	Облік	Місце застосу- вання
1	Січень	67692	270,8	0,004	45	Обладнання АгЗС, 0% ВДЕ	Транспорт
2	Лютий	72850	438,1	0,006014	45		
3	Березень	45124	273,9	0,00607	45		
4	Квітень	90724	393,4	0,004336	45		
5	Травень	89082	400	0,00449	45		
6	Червень	68295	371,6	0,005441	45		
7	Липень	96600	523,4	0,005418	45		
8	Серпень	136040	407,3	0,002994	45		
9	Вересень	102765	493,5	0,004802	45		
10	Жовтень	155420	476,1	0,003063	45		
11	Листопад	100880	301,9	0,002993	45		
12	Грудень	62877	408,8	0,006502	45		
Всього за рік			4758,8	0,004677			

Найбільшу частку у структурі паливних ресурсів займає дизельне паливо. Його річне споживання у 2024 році становило 338 908,4 літра, а питома витрата – 0,33 л/м<sup>2</sup>. Це пояснюється широким використанням дизельного транспорту для доставки продукції, перевезення металопрокату та виконання складських операцій.

Таблиця 2.5 – Споживання дизельного палива у 2024 р. та його питома характеристика

№	Місяць	Продукція. Од./м <sup>2</sup>	Об'єм, літр	На одиницю товару літрів/од	Вартість грн/літр. без ПДВ	Облік	Місце застосу- вання
1	Січень	67692	23687,4	0,349929	37,85	Обладнання АгЗС, 0% ВДЕ	Транспорт
2	Лютий	72850	25847,9	0,35481	37,85		
3	Березень	45124	22633,8	0,501591	37,85		
4	Квітень	90724	29375,3	0,323788	37,85		
5	Травень	89082	41282,8	0,463425	37,85		
6	Червень	68295	25671,7	0,375894	37,85		
7	Липень	96600	42980,6	0,444934	37,85		
8	Серпень	136040	26823,8	0,197176	37,85		
9	Вересень	102765	51037,8	0,496646	37,85		
10	Жовтень	155420	24707,7	0,158974	37,85		
11	Листопад	100880	13074,3	0,129602	37,85		
12	Грудень	62877	11785,3	0,187434	37,85		
Всього за рік		1088349	338908,4	0,332017			

Для узагальнення структури використання енергоресурсів та оцінки їхнього впливу на загальний енергетичний баланс підприємства доцільно подати зведене графічне відображення витрат на основні види енергоносіїв. На рисунку наведено співвідношення річних витрат електроенергії, дизельного палива, бензину та скрапленого газу за 2024 рік.

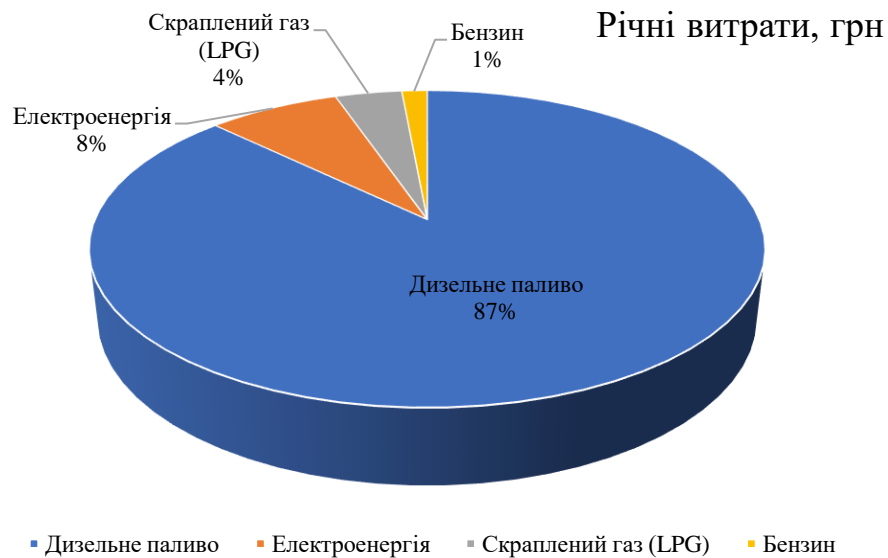


Рисунок 2.14 – Структура річних витрат підприємства на енергоносії у 2024 році

З рисунка видно, що переважну частку витрат на енергоносії підприємства становить дизельне паливо – близько 87 % загальної суми. Витрати на електроенергію складають близько 7,5 %, тоді як частка скрапленого газу та бензину є відносно невеликою (3,8 та 1,5 % відповідно). Це свідчить про високий вплив паливної складової, насамперед дизельного палива, на загальний паливно-енергетичний баланс підприємства та обґрунтовує доцільність заходів, спрямованих на оптимізацію роботи транспортних засобів та дизельного обладнання.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що найбільший внесок у паливно-енергетичний баланс підприємства становлять електроенергія та дизельне паливо. Водночас частка бензину та скрапленого газу залишається мінімальною. Така структура є типовою для підприємств металопрофільної промисловості, де технологічні процеси базуються на електричному обладнанні, а логістичні – на автотранспорті.

## 2.6 Оцінка ефективності функціонування системи енергозабезпечення

На основі даних за 2024 рік можна зробити висновок, що підприємство має типовий профіль енергоспоживання, характерний для галузі виробництва покрівельних матеріалів. Водночас низка показників свідчить про достатньо раціональне використання ресурсів, тоді як інші – навпаки, сигналізують про наявність резервів підвищення енергоефективності.

Технічний стан енергетичного обладнання. Електроенергія залишається ключовим видом енергоресурсу на підприємстві. Її річне споживання становить 136 753 кВт·год, а питома витрата складає лише 0,14 кВт·год/м<sup>2</sup> готової продукції. Це є досить низьким показником, який свідчить про відносно ефективну роботу основних технологічних ліній. Проте ефективність електроспоживання не варто оцінювати лише за питомим показником, адже важливим є також характер навантаження, циклічність роботи обладнання та наявність пікових значень.

Аналіз помісячного споживання електроенергії свідчить про наявність певної сезонності в енергоспоживанні підприємства. У зимові місяці (січень, листопад, грудень) обсяги споживання є відносно високими і становлять 15 251; 17 758 та 15 258 кВт·год відповідно, тоді як у весняно-літній період (квітень–вересень) значення коливаються переважно в діапазоні 6 800–9 500 кВт·год. Найменше споживання зафіксовано у травні (6 859 кВт·год) та червні (7 198 кВт·год), після чого в жовтні–грудні спостерігається повторне зростання навантаження. Такий розподіл дає підстави говорити про виражений сезонний характер споживання електроенергії, з підвищенням у холодний період року та зниженням у теплий.

Найбільші питомі показники зафіксовано у березні (0,27 кВт·год/м<sup>2</sup>), грудні (0,24 кВт·год/м<sup>2</sup>), січні (0,23 кВт·год/м<sup>2</sup>) та листопаді (0,18 кВт·год/м<sup>2</sup>), тоді як у період із квітня по вересень вони перебувають у межах 0,07–0,11 кВт·год/м<sup>2</sup>. Це означає, що в осінньо-зимовий період на одиницю продукції витрачається більше електроенергії, ніж у літні місяці. Частково це пояснюється

додатковими витратами на штучне освітлення, роботу систем опалення й вентиляції, а також впливом відносно меншого обсягу випуску продукції в окремі місяці (березень, грудень), коли постійні енергетичні витрати розподіляються на менший обсяг виробництва.

Аналіз погодинного споживання електроенергії за 24–26 жовтня показав, що у робочі дні споживання значно зростає, а у вихідні – суттєво зменшується. Нічні навантаження залишаються мінімальними, що вказує на відсутність суттєвих безпідставних витрат. Така картина характерна для підприємства, де обладнання працює переважно в одну або дві зміни.

Важливою частиною енергетичного господарства є компресорне обладнання. На підприємстві використовуються гвинтові компресори, які забезпечують пневматичні мережі, необхідні для роботи окремих технологічних вузлів. Невеликі витрати в пневматичних мережах, робота компресора вхолосту або недостатньо налаштоване регулювання тиску можуть призводити до підвищених витрат електроенергії. З огляду на це, саме модернізація та оптимізація компресорної системи є одним з важливих напрямків економії.

Освітлення підприємства також впливає на загальний рівень енергоспоживання. На момент аналізу частина світильників уже замінена на світлодіодні аналоги, що дає змогу скоротити витрати електроенергії на освітлення. Проте значна частина освітлювальних приладів залишається застарілою, тому подальша модернізація цієї системи може стати додатковим резервом енергозбереження.

Компанія «Будсервіс» активно використовує дизельне паливо для забезпечення транспортних та логістичних операцій. Річна витрата дизелю – 338 908,4 літра, що становить 0,33 л/м<sup>2</sup> продукції. Такий рівень споживання є типовим для підприємств, які виконують значний обсяг внутрішньоскладських операцій і часто здійснюють доставку продукції власними транспортними засобами.

Бензин та скраплений газ використовуються у значно менших обсягах – відповідно 4 758,8 літра та 19 990,4 літра за рік. Питома витрата цих ресурсів є

низькою й практично не впливає на загальну енергомідкість виробництва. Це свідчить про те, що транспортні та допоміжні роботи пов'язані переважно з дизельним паливом, тоді як інші види енергії мають допоміжний характер.

Важливим складником оцінки ефективності енергозабезпечення є організаційні механізми, що визначають підхід підприємства до управління ресурсами. На заводі облік енергоресурсів здійснюється регулярно, за помісячними періодами, проте цей процес здебільшого виконується вручну. Відсутність автоматизованої системи енергомоніторингу не дозволяє відстежувати витрати в реальному часі, що ускладнює оперативне реагування на можливі перевитрати.

Для підвищення ефективності управління енергоспоживанням було б доцільним створення або розширення функцій енергоменеджменту на рівні підприємства, що дозволило б здійснювати планування, моніторинг і контроль за витратами ресурсів у більш структурованій формі.

Виявлені проблеми та потенціал підвищення енергоефективності. На основі зібраних даних та розвитку технічної інфраструктури підприємства можна визначити такі ключові проблемні аспекти:

- високе споживання дизельного палива, яке становить значну частку енергетичних витрат;
- компресорне господарство, яке може мати втрати повітря та завищені витрати електроенергії;
- часткова зношеність електроприводів, що працюють без регулювання швидкості;
- недостатній рівень автоматизації обліку, що ускладнює точний аналіз у реальному часі;
- потреба у модернізації освітлення в окремих виробничих зонах.

Урахування цих факторів дозволяє оцінити, що загальний потенціал енергозбереження становить близько 10–15 % від поточного рівня споживання. Це може забезпечити суттєве зниження як витрат на енергоносії, так і загальної енергоємності продукції.

## Висновки до розділу 2

Проведений аналіз ефективності споживання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві ТОВ «Будсервіс» дав змогу комплексно оцінити структуру, динаміку та особливості використання електроенергії, дизельного палива, бензину та скрапленого газу протягом 2024 року. Встановлено, що підприємство має характерний для металопрофільного виробництва енергобаланс, у якому провідну роль відіграють електрична енергія та дизельне паливо. Саме ці ресурси визначають загальну енергоемність продукції та рівень поточних витрат на забезпечення виробничих і транспортно-логістичних процесів.

Електроенергія є основним енергоресурсом для роботи профілювальних ліній, компресорного обладнання, систем вентиляції та освітлення. Питома витрата електроенергії на рівні 0,14 кВт·год/м<sup>2</sup> готової продукції свідчить про відносно раціональне використання силових потужностей, однак виявлені окремі резерви підвищення ефективності, пов'язані з можливими втратами в пневмосистемах, частковою зношеністю електроприводів без регулювання швидкості та потребою подальшої модернізації освітлення у виробничих зонах.

Аналіз використання паливних ресурсів показав, що переважна частка витрат припадає на дизельне паливо, яке використовується для транспортних і внутрішньоскладських операцій. Бензин і скраплений газ застосовуються у значно менших обсягах і практично не впливають на загальну енергоемність виробництва, що дозволяє сконцентрувати увагу саме на оптимізації споживання дизельного палива.

Важливим результатом дослідження є оцінка організаційних механізмів управління енергоспоживанням. На підприємстві ведеться лише комерційний облік електричної енергії та інших енергоресурсів на межі балансу з енергопостачальними організаціями, дані збираються помісячно і здебільшого вручну. Такий підхід не забезпечує деталізованого розподілу споживання за окремими цехами, дільницями чи видами обладнання і, відповідно, не дає змоги

виокремити найбільш енергоємні агрегати та процеси. Відсутність автоматизованої системи енергомоніторингу не дозволяє відстежувати витрати енергії в реальному часі, оперативно виявляти перевитрати та обґрунтовано оцінювати ефективність впроваджених заходів.

Узагальнення результатів аналізу дозволило виділити ключові проблемні аспекти енергозабезпечення ТОВ «Будсервіс»: високе споживання дизельного палива; потенційні втрати в компресорному господарстві; використання частини електроприводів без частотного регулювання; недостатня модернізація освітлення; відсутність автоматизованого енергомоніторингу та внутрішнього розподільчого обліку. Сукупність цих факторів формує оціночний резерв скорочення енергоспоживання на рівні близько 10–15 % від поточного рівня, що є суттєвим показником для підприємства даного профілю.

Отримані результати та виявлені недоліки в роботі системи енергозабезпечення створюють обґрунтовану основу для розроблення у наступному розділі комплексу заходів з підвищення енергоефективності підприємства. Зокрема, потребують детального опрацювання напрями, пов'язані з упровадженням системи енергомоніторингу, оптимізацією роботи електроприводів і компресорного обладнання, модернізацією освітлення, підвищенням ефективності використання дизельного палива, а також частковим заміщенням купованої електроенергії власною генерацією від відновлюваних джерел.

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАВОДУ ПОКРІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТОВ «БУДСЕРВІС »

Результати аналізу енергетичного балансу ТОВ «Будсервіс» показав, що підприємство характеризується значною часткою електроенергії у структурі загальних витрат, а також наявністю низки технологічних та організаційних факторів, які призводять до підвищення енергоємності виробничих процесів. Основними споживачами електроенергії є профілювальні лінії, компресорне обладнання та освітлення, а вагома частина енерговитрат формуються у денні години, що створює високі пікові навантаження на мережу підприємства.

Водночас аналіз показав відсутність автоматизованої системи енергомоніторингу, недостатній рівень автоматизації окремих технологічних процесів, нерівномірну роботу електроприводів та компресорів, а також низьку ефективність використання логістичного транспорту. Все це свідчить про значний потенціал підвищення енергоефективності шляхом впровадження технічних, організаційних та управлінських заходів.

З огляду на сучасні тенденції розвитку промислових підприємств та рекомендації міжнародних стандартів енергоменеджменту (ISO 50001), оптимальним напрямом для ТОВ «Будсервіс» є комплексна модернізація енергетичної системи, що включає використання відновлюваних джерел енергії, оптимізацію роботи технологічного обладнання, впровадження частотного керування електроприводами, автоматизацію виробничих процесів та створення інформаційно-вимірювальної системи енергомоніторингу.

Потрібно розробити комплекс заходів з підвищення енергетичної ефективності заводу з виготовлення покрівельних матеріалів, визначення їх технічної сутності, очікуваного енергетичного та економічного ефекту, а також оцінка доцільності їх впровадження.

### 3.1 Встановлення фотоелектричної станції

Одним із пріоритетних заходів підвищення енергетичної ефективності ТОВ «Будсервіс» є впровадження фотоелектричної станції (ФЕС), орієнтованої на компенсацію власного споживання електроенергії підприємства. Аналіз фактичного енергоспоживання за 2024 р. показав, що підприємство використало 136 753 кВт·год електроенергії, причому основна частка навантаження припадає на денні години роботи технологічного обладнання. Такий характер споживання є сприятливим для застосування фотоелектричної генерації, оскільки пік вироблення електроенергії ФЕС співпадає з піком споживання.

Варто зазначити, що наявні дахи виробничих та складських будівель ТОВ «Будсервіс» не є оптимальними для розміщення фотоелектричної станції потужністю 150 кВт (рисунок 3.1). Це зумовлено їх складною ламаною геометрією, різною орієнтацією скатів та наявністю затінювальних елементів, що ускладнює формування єдиного фотомодульного поля з оптимальними кутами нахилу та азимуту. За таких умов ефективність використання площ дахів для встановлення ФЕС значної потужності суттєво знижується, а реалізація проекту потребувала б додаткових конструктивних і монтажних рішень.

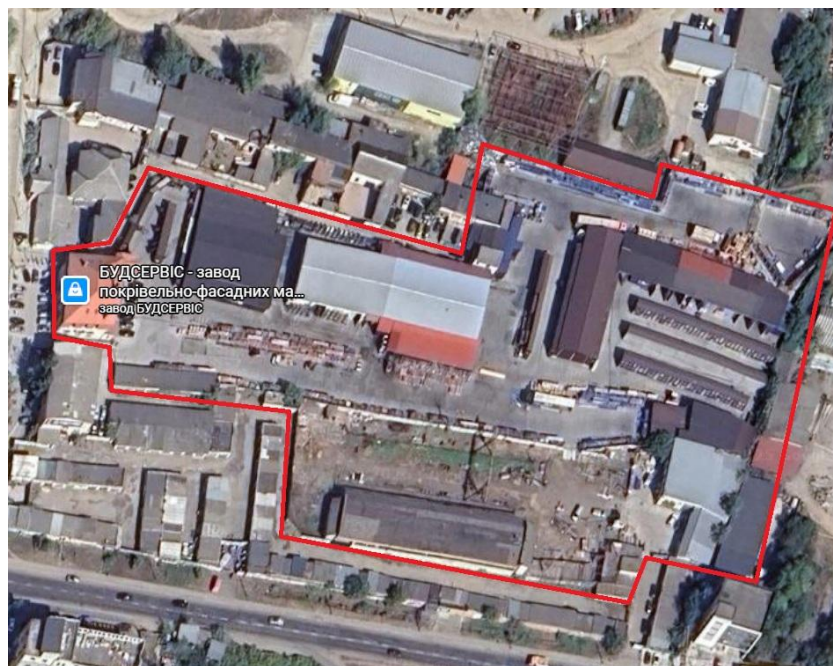


Рисунок 3.1 – Супутниковий знімок виробничих та складських будівель ТОВ «Будсервіс»

З огляду на це, для розміщення фотоелектричних модулів пропонується використати альтернативне рішення, апробоване на промислових об'єктах, зокрема за прикладом фотоелектричної станції під власне споживання, реалізованої на території підприємства «Меблевий парк» [33]. Даний підхід передбачає встановлення фотоелектричних модулів на спеціальних металевих навісах, розміщених над складськими зонами та транспортними проїздами.

Фотоелектричні модулі монтуються на навісах, розташованих вище рівня складських стелажів, що унеможливорює перешкоджання руху внутрішньозаводського транспорту та навантажувальної техніки. Одночасно такі навіси виконують додаткову захисну функцію, забезпечуючи захист готової продукції від впливу атмосферних опадів, прямого сонячного випромінювання та вологи (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд розміщення фотоелектричних модулів на території промислового комплексу «Меблевий парк» (вид зверху)

Окремим напрямом реалізації є влаштування навісів у вигляді карпортів на території автомобільної стоянки підприємства. Розміщення фотоелектричних модулів над парковкою дозволяє ефективно використовувати наявну площу без залучення виробничих або складських приміщень, а також забезпечує захист транспортних засобів від атмосферних впливів. Такий підхід підвищує загальну

функціональність інфраструктури підприємства та відповідає сучасним тенденціям інтеграції відновлюваних джерел енергії у промислове середовище.

Застосування навісних конструкцій для розміщення фотоелектричних модулів забезпечує гнучкість у виборі орієнтації та кута нахилу панелей, мінімізує вплив затінення та створює сприятливі умови для формування фотоелектричної станції, орієнтованої на максимальне власне споживання електроенергії підприємством (рисунок 3.3) [33].



Рисунок 3.3 – Встановлення фотоелектричних модулів на території автомобільної стоянки на підприємстві Меблевий парк

У зв'язку з розміщенням фотоелектричних модулів на окремих металевих навісних конструкціях та карпортах, вартість опорних систем є вищою порівняно зі стандартним даховим монтажем. Зазначений фактор враховано при формуванні загального обсягу капітальних інвестицій у проєкт фотоелектричної станції.

Фотоелектрична станція працює в режимі компенсації власного споживання без орієнтації на продаж електроенергії в зовнішню мережу. Принципова схема включає (рисунок 3.4):

- фотоелектричні модулі, об'єднані у стрінги;
- перетворення постійного струму в змінний за допомогою інверторів;
- подачу електроенергії безпосередньо у внутрішню мережу підприємства;
- інтелектуальний облік виробленої та спожитої електроенергії з можливістю обмеження перетоків у мережу.

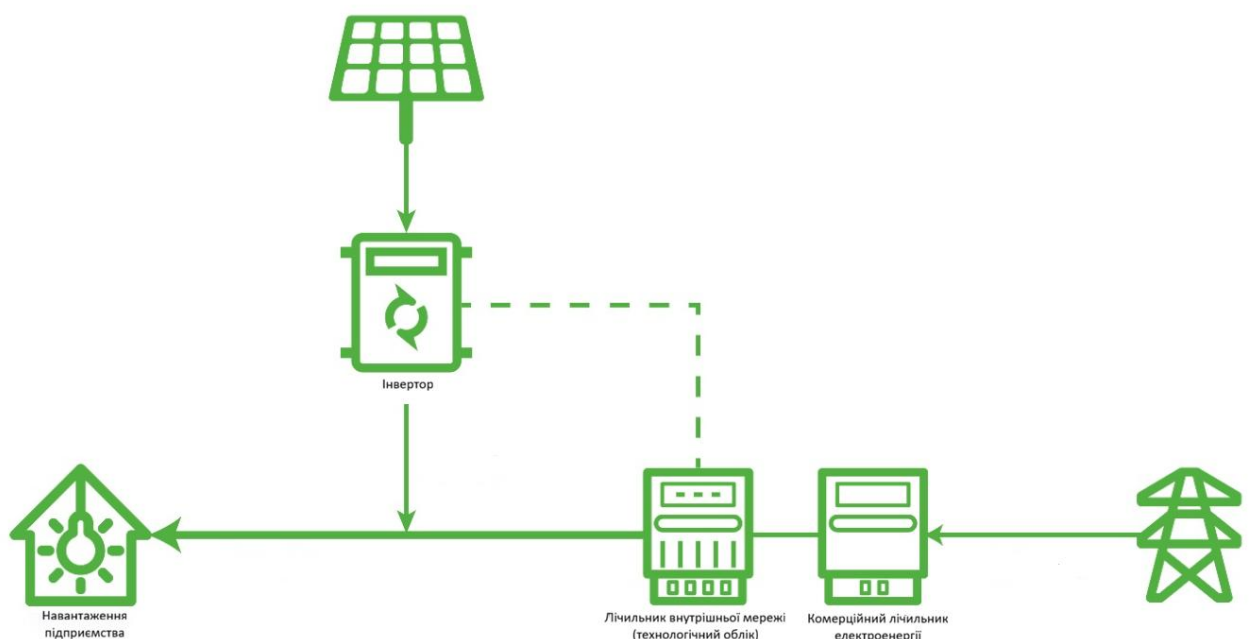


Рисунок 3.4 – Схема приєднання ФЕС

Розрахункова потужність фотоелектричної станції визначена на рівні 150 кВт (АС), що відповідає потребам підприємства у денний період. Для компенсації втрат потужності, зумовлених нагрівом фотомодулів, забрудненням

поверхні та деградацією елементів, у проєкті застосовано запас по DC-потужності (DC/AC oversizing).

У складі ФЕС використано 274 монокристалічні сонячні модулі Longi Solar LR5-72HPH потужністю 550 Вт, що формує сумарну встановлену DC-потужність 150,7 кВт з оптимальним співвідношенням DC/AC (рисунок 3.5) [26].



Рисунок 3.5 – Сонячна панель Longi Solar LR5-72HPH-550M

При визначенні встановленої потужності фотоелектричної станції доцільно закладати резерв у межах 15–20 % відносно розрахункової потреби підприємства. Такий підхід зумовлений зниженням ефективності фотоелектричних модулів у літній період внаслідок їх нагріву, а також поступовою деградацією елементів у процесі експлуатації. Зазначений резерв дозволяє забезпечити необхідний рівень генерації електричної енергії в умовах реальної роботи ФЕС та підвищує надійність покриття власного споживання підприємства.

Для перетворення електроенергії обрано три гібридні інвертори Deye SUN-50K-SG01HP3 потужністю 50 кВт кожен, які працюють паралельно та забезпечують загальну вихідну потужність 150 кВт АС [25]. Інвертори підтримують режим Zero Export, мають інтегровані функції моніторингу та

можливість подальшої інтеграції з системою енергомоніторингу підприємства. Для контролю перетоків передбачено встановлення інтелектуального лічильника Deye DTSU666-H (рисунок 3.6).

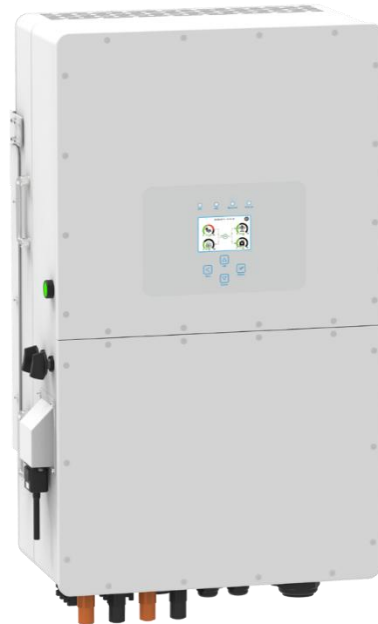


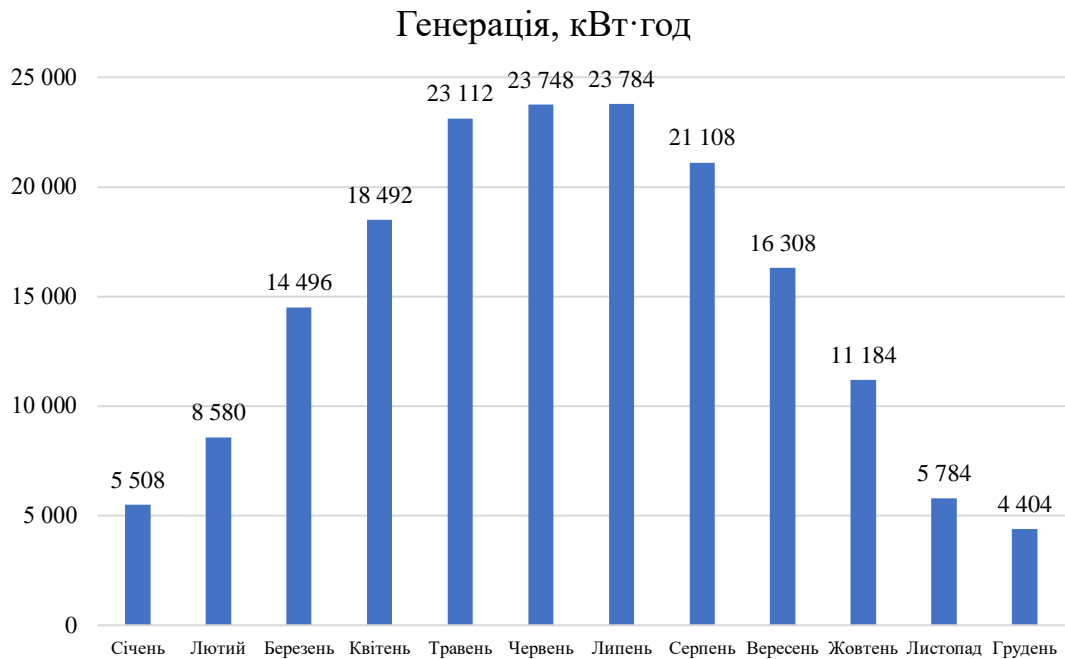
Рисунок 3.6 – Трифазний високовольтний гібридний інвертор Deye SUN-50K-SG01HP3-EU-VM4 50KW

Загальна вартість обладнання та монтажних робіт з урахуванням навісних металоконструкцій оцінюється на рівні 2 365 500 грн.

Прогнозована річна генерація фотоелектричної станції становить 176 508 кВт·год, що повністю покриває річне електроспоживання підприємства та забезпечує позитивний енергетичний баланс у денні години. За чинного тарифу на електроенергію 8,1 грн/кВт·год очікувана річна економія коштів становить близько 1,43 млн грн.

Строк простої окупності проекту визначено на рівні 1,6 року, що є економічно доцільним з урахуванням нормативного строку експлуатації сонячних модулів не менше 25 років.

Помісячні показники генерації наведено на рисунку 3.7.



**Рисунок 3.7 – Помісячна генерація ФЕС**

Для оцінки економічної доцільності впровадження сонячної електростанції потужністю 150 кВт на ТОВ «Будсервіс» використаємо показники прогнозованої річної генерації та діючий тариф на електроенергію для підприємства.

Річна генерація СЕС становить  $W_{\text{ген}} = 176\,508$  кВт·год/рік. Тариф на електроенергію для підприємства приймаємо  $T_{\text{ел}} = 8,1$  грн/кВт·год.

Тоді річна економія коштів за рахунок заміщення купованої електроенергії власною генерацією визначається за формулою:

$$E_{\text{річ}} = W_{\text{ген}} \cdot T_{\text{ел}} \quad (3.1)$$

$$E_{\text{річ}} = 176508 \cdot 8,1 = 1\,429\,714,8 \text{ грн/рік.}$$

Отже, орієнтовна річна економія витрат на електроенергію становить майже 1,43 млн грн.

Загальні інвестиційні витрати на впровадження СЕС (сонячні модулі, інвертори, система кріплень, кабельна продукція, захисна апаратура, проектні та монтажні роботи, логістика) оцінено на рівні  $K_{\text{інв}} = 2\,365\,500$  грн.

Строк простої окупності проекту визначимо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{інв}}/E_{\text{річ}} \quad (3.2)$$

$$T_{\text{ок}} = 2365500/1429714,8 = 1,65 \text{ року.}$$

Таким чином, строк простої окупності проєкту встановлення СЕС потужністю 150 кВт становить приблизно 1,65 року або 1 рік і 8 місяців. З огляду на типовий розрахунковий строк експлуатації сонячних модулів не менше 25 років, решту часу (23 роки) станція працюватиме в режимі формування чистої економії для підприємства.

### **3.2 Оптимізація керування електроприводами технологічного обладнання**

Значну частку електроспоживання на заводі покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс» формують електроприводи технологічного обладнання, зокрема станки формування металу та лінії різання. За результатами аналізу, на підприємстві експлуатується близько 15 станків формування металу та 4 лінії різання, більшість з яких працює в режимах з частими пусками, нерівномірним навантаженням та без адаптації швидкості електроприводів до реальних технологічних потреб. Це призводить до перевитрат електроенергії, підвищених пускових струмів та прискореного зношування обладнання.

З метою зниження енергоємності технологічних процесів пропонується впровадження комплексу заходів з оптимізації керування електроприводами, що передбачає використання сучасних засобів частотного регулювання, плавного пуску та автоматизованого керування.

Комплекс заходів передбачає встановлення:

- частотних перетворювачів для регулювання швидкості електроприводів основного технологічного обладнання;
- пристроїв плавного пуску для механізмів з великими пусковими струмами;
- програмованого логічного контролера (ПЛК) для централізованого керування та реалізації оптимальних алгоритмів роботи обладнання.

Частотні перетворювачі дозволяють регулювати швидкість обертання електродвигуна, забезпечують плавний пуск та зниження пускових струмів, а також адаптують роботу двигуна до реального навантаження. Установлення VFD є особливо ефективним на профілювальних лініях та вентиляційних установках, де значна частина циклу відбувається при частковому навантаженні.

Для модернізації електроприводів підприємства обрані частотні перетворювачі Schneider Electric Altivar 320 ATV320U75N4B (7,5 кВт, 380–500 В), які характеризуються високою енергоефективністю, надійністю та підтримкою протоколу Modbus для інтеграції з автоматизованими системами (рисунок 3.8) [27].



Рисунок 3.8 – Перетворювач частоти ATV320В 7,5кВт 380-500В

Передбачається встановлення 10 частотних перетворювачів на основних технологічних ділянках: профілювальні станки, транспортери подачі й відведення продукції.

Для потужних двигунів, швидкість яких не потребує регулювання, доцільним є використання плавних пускачів, які зменшують пускові струми у 3–5 разів і забезпечують плавний розгін обладнання.

Пропонується встановити 2 плавні пускачі Schneider Electric ATS22D75Q (75 А, 208–600 В), призначені для компресорних агрегатів та промислових

вентиляторів (рисунок 3.9). Це дозволить знизити навантаження на електромережу й продовжити ресурс обладнання [31].



Рисунок 3.9 – Пристрій плавного пуску ATS22

Додатковий потенціал енергозбереження досягається за рахунок:

- автоматичного вимкнення приводів у періоди простою;
- переходу допоміжних механізмів у режим «очікування»;
- послідовного запуску обладнання для уникнення піків навантаження;
- моніторингу стану приводів і діагностики навантажень.

Для автоматизації цих функцій передбачається встановлення програмованого логічного контролера (PLC) Schneider Electric Modicon M221 (TM221CE24R), який має необхідну кількість входів/виходів, підтримує RS-485 (Modbus) та Ethernet, і забезпечує взаємодію з частотниками Altivar 320, плавними пусками ATS22 та системою енергомоніторингу (рисунок 3.10) [30].



Рисунок 3.10 – ПЛК (PLC) Schneider Electric Modicon M221

Використання частотно-регульованих електроприводів дозволяє знизити споживання електроенергії в середньому на 15–25 % залежно від режиму роботи обладнання. Найбільший ефект досягається за рахунок:

- зменшення втрат електроенергії під час пусків;
- роботи електроприводів у режимах, близьких до оптимальних;
- усунення надлишкових механічних навантажень.

Окрім енергетичного ефекту, впровадження даного заходу сприяє підвищенню надійності обладнання, зниженню аварійності та скороченню витрат на технічне обслуговування.

Реалізація заходів з оптимізації керування електроприводами є доцільною лише за умови контролю їх ефективності. Саме тому даний захід безпосередньо пов'язаний із впровадженням системи технологічного енергомоніторингу, яка дозволить:

- оцінювати споживання електроенергії до та після модернізації;
- визначати найбільш енергоємні одиниці обладнання;
- підтверджувати досягнутий економічний ефект у реальних умовах експлуатації.

Орієнтовний обсяг інвестицій у впровадження комплексу керування електроприводами становить близько 438 тис. грн. (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Орієнтовні інвестиційні витрати

Стаття витрат	Вартість, грн
Частотні перетворювачі (10 шт × 30 тис.)	300 000
Плавні пускачі (2 шт × 28 тис.)	56 000
PLC Modicon M221	12 000
Апарат захисту та керування	25 000
Кабелі та монтажні матеріали	15 000
Монтаж та пусконаладження	30 000
Разом	438 000 грн

Очікувана річна економія електроенергії дозволяє прогнозувати строк простої окупності на рівні 3–4 років, що є прийнятним для заходів технічної модернізації промислового обладнання. Детальний економічний аналіз буде наведено в узагальнюючому підпункті третього розділу.

За результатами аналізу споживання електроенергії, на електроприводи, що підлягають модернізації, припадає близько 60 % річного електроспоживання підприємства 82052 кВт·год/рік.

Очікувана економія від впровадження частотного керування та оптимізації режимів – 20 %:

$$\Delta W = 0.2 \cdot 82\,052 = 16\,410 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

За діючого тарифу на електроенергію:

$$T_{\text{ел}} = 8,1 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$$

Річна економія буде становити:

$$E_{\text{річн}} = \Delta W \cdot T_{\text{ел}} \quad (3.3)$$

$$E_{\text{річн}} = 16410 \cdot 8,1 \approx 132\,900 \text{ грн/рік}$$

Тоді час окупності заходу буде становити:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{інв}}}{E_{\text{річн}}} \quad (3.4)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{480\,000}{132\,900} = 3,3 \text{ роки.}$$

Таким чином, очікуваний строк окупності впровадження системи частотного керування електроприводами становить близько 3,3 року або 3 роки і 4 місяці, після чого зменшення витрат на електроенергію формуватиме чистий економічний ефект для підприємства.

### **3.3 Встановлення системи технологічного моніторингу споживання енергетичних ресурсів**

Енергетичний аналіз, виконаний у попередніх розділах, показав, що на підприємстві фактично функціонує лише комерційний облік електроенергії на загальному вводі. Облік здійснюється помісячно, без деталізації за цехами,

технологічними лініями та окремими групами обладнання. За таких умов неможливо визначити, які саме лінії формування металу, лінії різання, компресорне обладнання, системи освітлення чи адміністративно-побутові приміщення формують найбільшу частку енергоспоживання. Це істотно ускладнює виявлення пріоритетних об'єктів для впровадження енергоефективних заходів та оцінку ефективності вже реалізованих рішень.

Для усунення цієї проблеми пропонується впровадити систему технологічного моніторингу споживання енергетичних ресурсів, яка забезпечуватиме:

- вимірювання та реєстрацію споживання електроенергії в розрізі основних цехів, технологічних ланцюгів та допоміжних систем;
- формування добових і тижневих графіків навантаження;
- виявлення аномалій (нічні споживання, робота обладнання у неробочий час, перевищення договірної потужності);
- інформаційну підтримку для системи керування електроприводами (п. 3.2) та інтегрованої роботи з ФЕС (п. 3.1).

З огляду на структуру виробництва ТОВ «Будсервіс» (близько 15 станків формування металу, 4 лінії різання, компресорне та вентиляційне обладнання, адміністративні та складські будівлі), доцільним є впровадження вузлового (групового) обліку. Це означає встановлення приладів вимірювання не на кожен окремий станок, а на живильні лінії, які забезпечують роботу груп обладнання.

Система енергомоніторингу будується за багаторівневою архітектурою:

(1) рівень вимірювання (лічильники/вимірювачі та трансформатори струму) → (2) рівень збору даних (опитування по RS-485/Modbus) → (3) рівень зберігання/обробки (контролер-шлюз Modbus–Ethernet з передачею даних на сервер) → (4) рівень візуалізації та аналізу (WEB-інтерфейс, графіки, звіти, експорт даних).

Для візуалізації та аналізу даних у системах енергомоніторингу широко застосовуються веб-орієнтовані інформаційні панелі (dashboard), які відображають поточні та накопичені показники електроспоживання і генерації.

Прикладом такої реалізації є програмна платформа smart-MAIC Dashboard, що забезпечує відображення миттєвих значень напруги, струму, активної потужності, добових і місячних графіків електроспоживання, а також параметрів роботи фотоелектричної електростанції (генерація, власне споживання, перетоки в мережу) (рисунк 3.11) [35]. Застосування подібної інформаційної панелі дозволяє оцінювати ефективність роботи ФЕС, аналізувати добові профілі навантаження та використовувати дані для подальшого енергетичного аналізу.



Рисунок 3.11 – Приклад інформаційної панелі системи енергомоніторингу та моніторингу роботи ФЕС на базі платформи smart-MAIC



Рисунок 3.12 – Приклад встановлення приладів енергомоніторингу в електрощитовій (підключення через трансформатори струму)



Рисунок 3.13 – Приклад підключення групи пристроїв для моніторингу споживання електроенергії та контролю роботи ФЕС

На рисунках наведено приклади практичної реалізації вузлового обліку електроспоживання на промислових об'єктах, зокрема встановлення вимірювальних модулів у електрощитових та підключення їх через трансформатори струму до групових живильних ліній.

Практичні приклади побудови подібних систем і варіанти приєднання вимірювальних модулів у електрощитових наведені у науковій публікації, розміщеній у репозитарії КПІ (ELA KPI) [21]. Зазначена публікація підготовлена за участі автора магістерської роботи, що дало змогу використати наведені у ній технічні та методичні рішення при формуванні системи енергомоніторингу для ТОВ «Будсервіс».

Після опису архітектури доцільно навести приклади приєднання елементів системи енергомоніторингу в електрощитовій (встановлення вимірювальних модулів, використання трансформаторів струму, підключення до групових фідерів), що демонструють практичну реалізацію вузлового обліку.

У першому етапі впровадження системи технологічного моніторингу доцільно сформувати близько 10 точок обліку, зокрема:

- живильні лінії основних груп станків формування металу (3–4 групи);
- лінії різання;
- компресорне господарство;
- система освітлення виробничих приміщень (окрема група);
- адміністративно-побутовий корпус та допоміжні служби.
- вузол обліку генерації фотоелектричної станції.

Пропонується реалізувати систему на базі сучасних електронних лічильників електроенергії з інтерфейсом Modbus (RS-485) та централізованого контролера-шлюзу з передачею даних до серверу енергомоніторингу. Типовий склад обладнання:

- Трифазні багатофункціональні лічильники електроенергії (класу SDM630–Modbus) – для обліку споживання на основних живильних лініях станків формування та ліній різання. Такі прилади вимірюють напругу, струм, активну й реактивну потужність, коефіцієнт потужності, активну енергію (кВт·год) та передають дані по Modbus.

- Компактні трифазні лічильники з Modbus (типу DDS238-2) – для обліку споживання компресорного обладнання, освітлення, адміністративно-побутових приміщень та іншого допоміжного навантаження.

- Трансформатори струму (типу РСТ-016 100/5 А або 200/5 А) – для вимірювання в колах з високими струмами, де пряме підключення лічильника є неможливим.

- Комунікаційний контролер-шлюз Modbus–Ethernet – здійснює опитування всіх лічильників по RS-485, накопичення даних та передачу їх на сервер (локальний або хмарний) через Ethernet.

- Програмне забезпечення енергомоніторингу – веб-орієнтована платформа, що забезпечує візуалізацію графіків споживання, формування звітів, аналіз максимумів навантаження, порівняння періодів «до» та «після» впровадження заходів.

– Робочі місця енергетика та інженера-технолога – доступ до системи через веб-браузер для аналізу споживання енергії та ухвалення рішень.

У перспективі система технологічного моніторингу може бути інтегрована з інверторами Deue, що застосовуються у складі ФЕС підприємства, а також із програмованим логічним контролером (PLC), передбаченим у заході 3.2. Це дасть змогу не лише реєструвати фактичне споживання, але й динамічно керувати технологічними навантаженнями залежно від поточного рівня генерації ФЕС та стану мережі.

Економічний ефект від системи технологічного моніторингу полягає не стільки в прямій миттєвій економії, скільки у створенні інформаційної бази для цілеспрямованого управління навантаженнями. Водночас практика промислових підприємств показує, що вже на першому етапі впровадження систем енергомоніторингу, за рахунок усунення очевидних перевитрат (робота обладнання у неробочий час, надлишкова вентиляція, неефективна робота компресорів, виявлення «прихованих» споживачів), можна досягти зниження споживання електроенергії на 5–7 %.

Для орієнтовного економічного оцінювання приймаємо інвестиції у впровадження системи технологічного енергомоніторингу на рівні 150 тис. грн (обладнання, монтаж, налаштування ПЗ). За річного споживання електроенергії підприємством 136 753 кВт·год та тарифу 8,1 грн/кВт·год прогнозована річна економія становитиме:

$$\text{При } 5\% \ E_5 = 136753 \cdot 0,05 \cdot 8,1 = 55\,400 \text{ грн/рік};$$

$$\text{При } 7\% \ E_7 = 136753 \cdot 0,07 \cdot 8,1 = 77\,500 \text{ грн/рік}.$$

Орієнтовні інвестиції у впровадження системи (обладнання, монтаж, налаштування ПЗ, пусконаладжувальні роботи) приймаємо на рівні 150 000 грн. Тоді строк простої окупності:

$$\text{При } 5\% \ T_5 = 150\,000 / 55\,400 = 2,7 \text{ року};$$

$$\text{При } 7\% \ T_7 = 150\,000 / 77\,500 = 1,9 \text{ року}.$$

Отже, впровадження системи технологічного енергомоніторингу є економічно доцільним і створює основу для подальшого розвитку системи

енергоменеджменту підприємства: формування baseline, EnPI та управління значущими енергоспоживачами на основі даних. Таким чином, впровадження системи технологічного енергомоніторингу є базовим елементом комплексу заходів з підвищення енергетичної ефективності підприємства. Вона забезпечує інформаційну основу для оцінки ефективності фотоелектричної станції, оптимізації керування електроприводами та подальшого розвитку системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог стандарту ISO 50001.

### **3.4 Зміна технологічного графіку роботи підприємства для максимального використання електроенергії від ФЕС**

Встановлення фотоелектричної станції потужністю 150 кВт на ТОВ «Будсервіс» створює передумови не лише для зниження витрат на електроенергію, а й для оптимізації режимів роботи підприємства з метою максимального використання власної генерації. Враховуючи сезонний характер інсоляції в Україні, а також фактичні особливості попиту на продукцію, доцільно переглянути технологічний графік роботи заводу з урахуванням:

- зниження сонячної генерації у зимовий період (листопад–лютий);
- високого рівня генерації ФЕС у період березень–жовтень;
- домінування денних змін у роботі основних технологічних ліній.

З погляду енергетичного менеджменту одним із ключових принципів є узгодження профілю споживання з профілем генерації відновлюваних джерел енергії (концепція load shifting). Це означає, що енергоємні операції бажано виконувати тоді, коли підприємство має власне джерело електроенергії (ФЕС), а в періоди низької генерації – мінімізувати навантаження або виконувати переважно допоміжні/ремонтні роботи.

З урахуванням того, що на підприємстві спостерігається зниження виробничої активності в осінньо-зимовий період, пропонується:

- визначити період листопад–лютий як період мінімальної виробничої активності (період простою основних ліній) – зосередитися на ремонтних

роботах, регламентному обслуговуванні обладнання, плануванні виробництва та складських операціях;

- перенести основний обсяг виробництва на період березень–жовтень, коли сонячна генерація є максимальною, що дозволяє компенсувати значну частину споживання електроенергії за рахунок ФЕС;
- усередині доби максимально зосередити роботу енергоємних процесів (робота профілювальних ліній, ліній різання, компресорного обладнання) у проміжок з 9:00 до 17:00, тобто в години, коли продуктивність ФЕС є найвищою;
- для допоміжних процесів (упаковка, частина складських операцій, адміністративні функції) можливе використання ранкових та вечірніх годин, але з урахуванням обмеження загального електроспоживання в періоди низької генерації.

Запропоновані зміни не потребують значних капітальних вкладень, але вимагають оновлення виробничого календаря, коригування графіків роботи персоналу, логістики постачання сировини та відвантаження готової продукції.

### **3.5 Перехід на технологічний електротранспорт для оптимізації внутрішньої логістики підприємства**

Внутрішньозаводська логістика на ТОВ «Будсервіс» забезпечується автопарком із приблизно 12 дизельних навантажувачів, які виконують операції з переміщення рулонної сталі, транспортування готової продукції та формування відвантажувальних партій. Робота такого парку техніки супроводжується значним споживанням дизельного палива, підвищеним рівнем шуму, викидами вихлопних газів у складських приміщеннях, а також високими витратами на технічне обслуговування двигунів внутрішнього згорання.

З огляду на високі капітальні витрати повної заміни всього парку навантажувачів, у межах програми підвищення енергоефективності пропонується здійснити частковий перехід на електричний транспорт, а саме –

заміну чотирьох найбільш задіяних дизельних навантажувачів на сучасні електронавантажувачі вантажопідйомністю 2,5 т.

Для впровадження заходу обрано модель Toyota Traigo48, яка є доступною на українському ринку та забезпечує високу енергоефективність, низькі експлуатаційні витрати і адаптована до інтенсивної роботи у дві зміни (рисунок 3.14). Навантажувач оснащений електроприводом, тяговою літій-іонною батареєю та штатним трифазним зарядним пристроєм (380 В). Завдяки цьому процес заряджання може здійснюватися частково або повністю за рахунок електроенергії, виробленої власною фотоелектричною станцією (ФЕС) підприємства [29].



Рисунок 3.14 – електронавантажувач Toyota Traigo48

Орієнтовні капітальні витрати  $K_{\text{інв}} = 3 \cdot 450\,000 = 1\,350\,000$  грн.

Проведемо розрахунок економічної ефективності заходу. Частка навантажувачів у загальному споживанні дизельного палива оцінюється на рівні 10 %. Для заміни з чотирьох машин  $E_{\text{диз}} = 0,1 \cdot \frac{3}{12} \cdot 12\,827\,683 = 320\,692$  грн.

Річне споживання електроенергії на 3 електронавантажувачі буде становити: 18 000 кВт·год/рік.

Половина цієї енергії може покриватись за рахунок власної ФЕС (денний період), тоді фактичні витрати:

$$E_{\text{ел}} = 9\,000 \cdot 8,1 = 72\,900 \text{ грн/рік}$$

Річна економія від заміни палива електроенергією складає різницю між споживанням дизелю та споживанням електроенергії навантажувачами.

$$E_{\text{ек}} = E_{\text{диз}} - E_{\text{ел}} = 320\,692 - 72\,900 = 247\,800 \text{ грн/рік.}$$

Тоді час окупності заходу буде становити:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{інв}}}{E_{\text{ек}}} \quad (3.5)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{1\,350\,000}{247\,800} = 5,5 \text{ року.}$$

За умови подальшої оптимізації графіка роботи (п. 3.4) та максимального використання денного заряджання від ФЕС фактичні витрати на електроенергію можуть бути нижчими, що дає змогу скоротити строк окупності до 4 років.

### 3.6 Реконструкція системи освітлення

Система освітлення виробничих та складських приміщень є одним із постійних споживачів електроенергії, а її енергоефективність суттєво впливає на експлуатаційні витрати підприємства. На трьох промислових об'єктах застарілі світильники (люмінесцентні та ртутні) характеризуються підвищеним енергоспоживанням, нижчою світловою віддачею та значними витратами на обслуговування (часта заміна ламп, пускорегулювальної апаратури тощо). У зв'язку з цим доцільним є впровадження енергоефективних рішень на базі сучасних LED-світильників.

Запропонований захід передбачає поетапну реконструкцію освітлення у виробничих, складських та допоміжних зонах ТОВ «БУДСЕРВІС» із заміною застарілих світильників на LED-аналоги з підвищеною світловою віддачею та тривалим ресурсом роботи. Для промислових приміщень доцільно використовувати LED-світильники типу High Bay. Додатково рекомендовано застосувати зональне керування освітленням (окремі групи вимикачів), а в зонах з нерегулярним перебуванням персоналу – датчики руху/присутності та/або таймери, що дозволяє скоротити неробоче споживання.

Для реконструкції системи освітлення виробничих та складських приміщень ТОВ «Будсервіс» пропонується застосування промислових світлодіодних світильників типу High Bay Philips LED Highbay BY239P LED6000/840 PSU WB. Зазначені світильники призначені для освітлення приміщень із великою висотою підвісу та широко застосовуються на промислових і складських об'єктах.

Світильники мають компактну конструкцію, високий ступінь захисту від пилу та вологи, що забезпечує їх надійну роботу в умовах виробничих і складських приміщень підприємства. Завдяки високій світловій віддачі LED-світильники Granit IP65 дозволяють забезпечити нормативний рівень освітленості при істотно меншій встановленій потужності порівняно з люмінесцентними та ртутними світильниками, що експлуатуються на підприємстві в даний час (рисунок 3.15) [37].



Рисунок 3.15 – Світильник Granit IP65 0-10V 19500lm 840 WB

Для складських приміщень з нерегулярним перебуванням персоналу додатково передбачається використання датчиків руху Schneider Electric ARGUS Presence для автоматичного вмикання та вимикання освітлення (рисунок 3.16). Це дозволяє зменшити неробоче споживання електроенергії та підвищити загальну енергоефективність системи освітлення [38].



Рисунок 3.16 – Датчик присутності Schneider Electric Argus

Очікуваний ефект від реконструкції освітлення:

- зниження споживання електроенергії системою освітлення за рахунок вищої світлової віддачі LED-технологій;
- підвищення рівня освітленості робочих місць та поліпшення умов праці;
- зменшення витрат на технічне обслуговування завдяки більшому ресурсу LED-світильників;
- можливість подальшої оптимізації режимів роботи (графіки вмикання/вимикання) на основі даних системи енергомоніторингу (п. 3.3).

Частка освітлення у загальному річному споживанні електроенергії підприємства становить приблизно 15-20 % (для виробничих і складських об'єктів).

Запропонований захід передбачає реконструкцію системи освітлення у трьох невеликих складських приміщеннях підприємства шляхом заміни застарілих світильників на сучасні енергоефективні LED-світильники. Для кожного складу прийнято встановлення в середньому 6–8 світильників потужністю 40–50 Вт з груповим керуванням освітленням. Орієнтовні капітальні витрати на реалізацію заходу з урахуванням вартості світильників та виконання електромонтажних робіт становлять близько 60-70 тис. грн.

### 3.7 Економічний аналіз запропонованих заходів

Економічну доцільність впровадження комплексу заходів з підвищення енергетичної ефективності на ТОВ «Будсервіс» оцінено за показниками: капітальні інвестиції  $K$ , річний економічний ефект  $E$  та строк простої окупності  $T$ . Річний економічний ефект визначається як зменшення витрат підприємства на енергоресурси внаслідок реалізації заходу. Строк простої окупності обчислюється за залежністю:

$$T = \frac{K}{E} \quad (3.6)$$

Для заходів організаційного характеру, що не потребують капітальних інвестицій  $K=0$ , показник окупності не визначають (економічний ефект досягається без додаткових вкладень). Зведені результати економічної оцінки наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Економічні показники запропонованих заходів підвищення енергоефективності ТОВ «Будсервіс»

№	Захід	Інвестиції (K), тис. грн	Річна економія (E), тис. грн/рік	Строк окупності (T), років
1	Встановлення фотоелектричної станції для компенсації власного споживання	2 365,50	500	4,7
2	Комплекс оптимізації керування електроприводами	438	66,5	5,7
3	Система технологічного енергомоніторингу	150	55–78	1,9–2,7
4	Зміна технологічного графіку роботи з урахуванням генерації ФЕС	0	120	–
5	Реконструкція освітлення	60	25–30	2,0–2,5
6	Заміна навантажувачів на електричні	1 350	190–200	6,8–7,1

Отримані результати свідчать, що найбільш привабливими з економічної точки зору є заходи з коротким строком окупності та помірними інвестиціями: впровадження системи енергомоніторингу (1,9–2,7 року) та реконструкція освітлення складських приміщень (2,0–2,5 року). Організаційний захід зі зміни технологічного графіку роботи не потребує капітальних вкладень та забезпечує додатковий ефект за рахунок кращого використання генерації ФЕС у періоди найбільшої сонячної активності.

Водночас капіталомісткі заходи – встановлення фотоелектричної станції та часткова заміна внутрішнього транспорту на електричний – характеризуються більшим строком окупності, проте забезпечують довгострокове зниження витрат на енергоресурси, підвищують енергетичну незалежність та створюють передумови для подальшого розвитку системи енергетичного менеджменту підприємства.

Проведемо оцінку дисконтованого строку окупності інвестицій з урахуванням інфляції.

Вище економічну ефективність запропонованих заходів було оцінено за показником простої окупності, який не враховує зміну вартості грошових коштів у часі. З метою підвищення достовірності економічної оцінки доцільно додатково визначити дисконтований строк окупності, що враховує інфляційні процеси та альтернативну вартість капіталу.

У розрахунках приймаємо ставку дисконту  $r = 10\%$ , що відповідає середньорічному рівню інфляції та вартості залученого капіталу для промислових підприємств України.

Дисконтований грошовий потік за кожний рік експлуатації визначається за формулою:

$$E_{\text{диск},t} = \frac{E}{(1+r)^t} \quad (3.7)$$

де:

$E$  – річний економічний ефект від впровадження заходу, грн;

$r$  – ставка дисконту;

$t$  – номер року експлуатації.

Дисконтований строк окупності визначається як момент часу, за якого накопичений дисконтований грошовий потік дорівнює або перевищує початкові інвестиційні витрати.

Для заходу з впровадження фотоелектричної станції під власне споживання приймаємо такі вихідні дані:

- інвестиційні витрати –  $K = 2\,365\,500$  грн;
- прогнозована річна економія –  $E = 1\,430\,000$  грн/рік;
- ставка дисконту –  $r=10\%$ .

З урахуванням дисконтування грошових потоків сумарний накопичений дисконтований ефект досягає величини інвестицій між другим і третім роком експлуатації. Відповідно:

- строк простої окупності проєкту становить приблизно 1,6 року;
- дисконтований строк окупності становить близько 2,1–2,3 року.

Отриманий результат свідчить про те, що навіть з урахуванням інфляційних процесів та знецінення грошових коштів у часі, впровадження фотоелектричної станції є економічно доцільним та забезпечує швидке повернення вкладених інвестицій.

Застосування дисконтованого підходу до оцінки економічної ефективності підтверджує, що більшість запропонованих у роботі заходів з підвищення енергоефективності характеризуються прийнятними строками окупності. Незначне збільшення строку окупності порівняно з простою методикою не змінює загального висновку щодо доцільності реалізації проєкту та відповідає вимогам сучасного інвестиційного аналізу.

### Висновки до розділу 3

На основі результатів енергетичного аналізу підприємства у розділі 3 запропоновано комплекс практичних заходів, спрямованих на зниження споживання електроенергії та підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів на заводі покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс».

У межах розділу запропоновано впровадження фотоелектричної електростанції під власне споживання з розміщенням фотоелектричних модулів на навісних конструкціях над складськими зонами та стоянкою автотранспорту. Така організація СЕС дозволяє ефективно використовувати наявні площі, мінімізувати вплив генерації на електричну мережу та збільшити частку самоспоживання електроенергії. Передбачене резервування встановленої потужності фотоелектричних модулів забезпечує компенсацію втрат потужності внаслідок температурних впливів.

Розглянуто комплекс заходів з оптимізації керування електроприводами технологічного обладнання шляхом впровадження частотного регулювання, пристроїв плавного пуску та програмованих логічних контролерів. Це дозволяє зменшити пускові струми, оптимізувати режими роботи станків формування металу та допоміжного обладнання, а також знизити питомі витрати електроенергії.

Важливим елементом підвищення енергоефективності визначено впровадження системи технологічного енергомоніторингу. Запропонована система забезпечує вузловий облік споживання електроенергії, контроль роботи фотоелектричної станції, формування енергетичної бази (baseline) та показників енергетичної результативності (EnPI). Використання сучасних платформ енергомоніторингу, зокрема рішень на базі smart-MAIC, створює інформаційну основу для подальшого розвитку системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог стандарту ISO 50001.

Окремим заходом запропоновано реконструкцію системи освітлення у складських приміщеннях шляхом заміни застарілих світильників на сучасні

світлодіодні, що дозволяє знизити споживання електроенергії та експлуатаційні витрати при відносно невеликих інвестиціях.

У підрозділі 3.6 виконано економічний аналіз запропонованих заходів, складено зведену таблицю інвестиційних витрат, річної економії та строків окупності. Результати аналізу показали, що більшість заходів мають прийнятний термін окупності, а впровадження системи енергомоніторингу та оптимізації керування електроприводами є економічно доцільним навіть за консервативних оцінок ефекту.

Таким чином, запропонований у розділі 3 комплекс технічних та організаційних рішень є взаємопов'язаним, технічно реалізованим і економічно обґрунтованим та може бути рекомендований до поетапного впровадження на підприємстві ТОВ «Будсервіс» з метою підвищення його енергетичної ефективності та зменшення витрат на енергоресурси.

## ВИСНОВКИ

Магістерська робота була виконана з метою підвищення енергетичної ефективності заводу з виготовлення покрівельних матеріалів ТОВ «Будсервіс» шляхом розроблення комплексу технічних, організаційних та управлінських заходів з урахуванням сучасних викликів енергетичної системи України та умов обмеженого і нестабільного електропостачання. У результаті виконаної роботи отримано такі основні висновки:

1. Проведений аналіз енергетичного балансу підприємства показав, що ТОВ «Будсервіс» характеризується значною часткою електроспоживання у загальній структурі енерговитрат, при цьому основне навантаження припадає на денні години роботи технологічного обладнання. Виявлено відсутність деталізованого технологічного енергомоніторингу, нерівномірні режими роботи електроприводів та наявність пікових навантажень, що свідчить про значний потенціал підвищення енергоефективності.

2. Виконано аналіз існуючих технічних та планувальних обмежень підприємства, зокрема геометрії дахів виробничих і складських будівель, що ускладнює розміщення фотоелектричної станції значної потужності. На основі аналізу запропоновано альтернативне рішення розміщення фотоелектричних модулів на навісних металевих конструкціях і карпортах, що дозволяє ефективно використовувати наявні площі та підвищити частку власного споживання електроенергії.

3. Розроблено проєкт впровадження фотоелектричної станції потужністю 150 кВт, орієнтованої на компенсацію власного споживання електроенергії підприємства. Обґрунтовано вибір фотоелектричних модулів, інверторного обладнання та режиму роботи без експорту електроенергії в мережу. Проведені розрахунки показали, що річна генерація ФЕС повністю покриває потреби підприємства в електроенергії, а строк простої окупності проєкту становить близько 1,6 року.

4. Запропоновано комплекс заходів з оптимізації керування електроприводами технологічного обладнання, що включає впровадження

частотних перетворювачів, пристроїв плавного пуску та програмованого логічного контролера. Реалізація цих заходів дозволяє знизити пускові струми, адаптувати режими роботи обладнання до реального навантаження та зменшити споживання електроенергії електроприводами в середньому на 15–25 %.

5. Обґрунтовано доцільність впровадження системи технологічного енергомоніторингу, яка забезпечує вузловий облік споживання електроенергії, контроль роботи фотоелектричної станції та формування енергетичної бази даних підприємства. Запропонована архітектура системи створює інформаційну основу для управління значущими енергоспоживачами та подальшого впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до стандарту ISO 50001.

6. Розроблено організаційний захід зі зміни технологічного графіку роботи підприємства, спрямований на максимальне використання електроенергії, виробленої фотоелектричною станцією. Узгодження профілю споживання з профілем генерації ФЕС дозволяє зменшити навантаження на зовнішню електромережу та підвищити ефективність використання власної генерації без додаткових капітальних витрат.

7. Запропоновано реконструкцію системи освітлення виробничих і складських приміщень шляхом заміни застарілих світильників на сучасні LED-світильники типу High Bay із застосуванням зонального керування та датчиків присутності. Реалізація заходу забезпечує зниження споживання електроенергії системою освітлення, покращення умов праці та скорочення витрат на технічне обслуговування.

8. Розглянуто можливість часткового переходу на електричний внутрішньозаводський транспорт, що дозволяє зменшити споживання дизельного палива, скоротити експлуатаційні витрати та використати електроенергію, вироблену власною фотоелектричною станцією, для заряджання електронавантажувачів.

9. Виконано техніко-економічний аналіз запропонованих заходів, який показав, що найбільш привабливими з економічної точки зору є впровадження

системи енергомоніторингу та реконструкція освітлення. Для капіталомістких заходів, зокрема встановлення фотоелектричної станції, проведено оцінку дисконтованого строку окупності з урахуванням інфляції, яка підтвердила їх економічну доцільність.

Отримані результати підтверджують, що комплексний підхід до підвищення енергетичної ефективності дозволяє знизити витрати на енергоресурси, підвищити енергетичну незалежність підприємства та забезпечити стійку роботу в умовах нестабільного електропостачання. Запропоновані рішення можуть бути використані як практична основа для впровадження систем енергоменеджменту на інших промислових підприємствах України.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ruukki Construction introduction. Building your tomorrow. *Ruukki today*. Nov 2019. 22 p. URL: [https://www.basen.net/wp-content/uploads/2021/10/Ruukki-BaseN-presentation\\_SPIME2021.pdf](https://www.basen.net/wp-content/uploads/2021/10/Ruukki-BaseN-presentation_SPIME2021.pdf) (дата звернення 21.10.2025).
2. Скільки енергії витрачається на обробку металу для виготовлення машин та механізмів? Київ : Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», 2020. 32 с. URL: <https://sae.gov.ua/static-objects/sae/sites/1/Files/Energoefektyvnist/2020-12-28-machinery-ua.pdf> (дата звернення 02.10.2025).
3. Скільки енергії необхідно для виробництва однієї тонни будівельних матеріалів? Київ : Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», 2020. 32 с. URL: [https://old.sae.gov.ua/sites/default/files/Construction\\_Materials\\_UA.pdf](https://old.sae.gov.ua/sites/default/files/Construction_Materials_UA.pdf) (дата звернення 04.10.2025).
4. Yuquan Meng, Yuhang Yang, Haseung Chung, Pil-Ho Lee, Chenhui Shao. Enhancing Sustainability and Energy Efficiency in Smart Factories: A Review. *Sustainability*. 2018, 10(12), 4779; <https://doi.org/10.3390/su10124779>. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/12/4779> (дата звернення 04.10.2025).
5. Victoria Jayne Mawson, Ben Richard Hughes. The development of modelling tools to improve energy efficiency in manufacturing processes and systems. *Journal of Manufacturing Systems*. Volume 51, April 2019, Pages 95-105. URL: (дата звернення 05.10.2025).
6. Посібник із енергоаудиту. Консультавання підприємств щодо енергоефективності. Київ : Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», 2020. 148 с. URL: <https://bit.ly/3KHXnTX> (дата звернення 06.10.2025).
7. Manufacturing strategies for efficiency in energy and resources use: The role of metal shaping processes. *Journal of Cleaner Production*. Volume 142, Part 4, 20 January 2017, Pages 2872-2886. URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616318145> (дата звернення 07.10.2025).

8. Building a circular future for the construction industry. *Ruukki. Building Envelopes*: веб-сайт. URL: <https://www.ruukki.com/building-envelopes/why-ruukki/our-life-cycle-approach/material-circularity> (дата звернення 09.10.2025).

9. Ruukki upgrades load-bearing sheet production line in Anderslöv, Sweden. Contact SSAB: веб-сайт. May 30, 2023. URL: <https://www.ssab.com/en/news/2023/05/ruukki-upgrades-loadbearing-sheet-production-line-in-anderslv-sweden> (дата звернення 10.10.2025).

10. Ruukki's emissions from own operations already 59% lower than in 2019. *Ruukki. Roofing*: веб-сайт. Apr. 9, 2024. URL: <https://www.ruukki.com/roofing/news/09-04-2024-ruukki-s-emissions-from-own-operations-already-59--lower-than-in-2019> (дата звернення 11.10.2025).

11. From roadmap to real action: Ruukki Construction's steps towards net-zero. *Ruukki. Roofing*: веб-сайт. Oct. 15, 2025. URL: <https://www.ruukki.com/roofing/news/15-10-2025-from-roadmap-to-real-action--ruukki-construction-s-steps-towards-net-zero> (дата звернення 13.10.2025).

12. Building a more sustainable legacy. *Kingspan Insulated Panels – Europe, Asia-Pacific and Africa Sustainability Report*. 2022, 2023. 39 p. URL: <https://www.kingspan.com/content/dam/kingspan/kip-west/documents/kingspan-insulated-panels-eaa-sustainability-report-en-gb-ie.pdf> (дата звернення 14.10.2025).

13. A Passion for Change. 72 p. *Kingspan Insulated Panels – West region Sustainability Report*. 2021. URL: <https://www.kingspan.com/content/dam/kingspan/kip-west/documents/kingspan-insulated-panels-west-sustainability-report-en-gb-ie.pdf> (дата звернення 15.10.2025).

14. Insulated Panels. *Kingspan*: веб-сайт. URL: <https://www.kingspangroup.com/en/businesses-brands/kingspan-insulated-panels/> (дата звернення 17.10.2025).

15. How Kingspan Insulated Panels slashed carbon emissions by half. *CIBSE Journal*. January 2016. URL: <https://www.cibsejournal.com/uncategorized/zero-ing->

in-on-energy-saving-mark-harris-explains-how-kingspan-insulated-panels-is-reducing-its-carbon-emissions/ (дата звернення 18.10.2025).

16. Веремеєнко О. Розвиток енергоменеджменту як основний спосіб підвищення енергоефективності виробничих підприємств. *Менеджмент та підприємництво: тренди розвитку*. Вип. 1 (07). 2019. С. 31-38. URL: <https://management-journal.org.ua/index.php/journal/article/view/94/80> (дата звернення 20.10.2025).

17. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Консультування підприємств щодо енергоефективності. Київ : Проект «Консультування підприємств щодо енергоефективності», 2020. 279 с. URL: [https://old.sae.gov.ua/sites/default/files/2021\\_04\\_02\\_Practical\\_Energy\\_Audit\\_Guidebook.pdf](https://old.sae.gov.ua/sites/default/files/2021_04_02_Practical_Energy_Audit_Guidebook.pdf) (дата звернення 01.10.2025).

18. Ruukki Construction introduction. Building your tomorrow. *Ruukki today*. Nov 2019. 22 p. URL: [https://www.basen.net/wp-content/uploads/2021/10/Ruukki-BaseN-presentation\\_SPIME2021.pdf](https://www.basen.net/wp-content/uploads/2021/10/Ruukki-BaseN-presentation_SPIME2021.pdf) (дата звернення 21.10.2025).

19. Шулле Ю. Енергоефективність промислових підприємств. Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. Електрон. текст. дані. 2020. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/28817/9450.pdf> (дата звернення 23.10.2025).

20. Яворський А. В., Цих В. С., Карпаш М. О., Жовтуля Л. Я. (2022). Інформаційно-вимірювальна система моніторингу споживання енергоресурсів для будівлі університету. *Methods And Devices Of Quality Control*, (2(49), 46–57. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2\(49\)-46-57](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2(49)-46-57)

21. Яворський А., Жовтуля Л., Цих В., Рибіцький І., Худицька Ю. (2024). Дослідження ефективності застосування систем електроопалення для навчальних аудиторій університету. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 331(1), 381-389. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-58>

22. Універсальна інформаційно-вимірювальна система моніторингу мережевої фотоелектричної станції / Яворський А. В., Гнип В. О., Кафка М. В. // XXIV Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13 – 14 травня 2025 р., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ. С. 350-352.

23. Kingspan Group Dedicated to Environmental Sustainability. *LIVABILITY*: веб-сайт. URL: <https://livability.com/fl/daytona-beach/education-careers-opportunity/kingspan-group-dedicated-to-environmental-sustainability/> (дата звернення 23.10.2025).

24. Будсервіс - завод покрівельно-фасадних матеріалів: металочерепиця, профнастил, клік фальц, металосайдинг. PlaceIn.UA: веб-сайт. URL: <https://places.in.ua/e/budservice-roofing-facade> (дата звернення 01.11.2025).

25. Верстат листозгинальний ручний РГ Дніпро 2150 (19570269). Epicentr.ua : веб-сайт. URL: <https://surl.li/dlxvht> (дата звернення 02.11.2025).

26. Трифазний високовольтний гібридний інвертор Deye SUN-50K-SG01HP3-EU-BM4 50KW, EU версія, IP65. Deye in Ukraine: веб-сайт. URL: <https://deye.com.ua/product/tryfaznyj-vysokovoltnyj-hibrydnyj-invertor-deye-sun-50k-sg01hp3-eu-bm4-50kw-eu-versiia-ip65/> (дата звернення 03.11.2025).

27. Сонячна панель Longi LR5-72HPH-550M (MONO, MBB, HALFCELL, 550W). Deps: веб-сайт. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/solar-panels/47837.html> (дата звернення 05.11.2025).

28. Перетворювач частоти ATV320B 7,5кВт 380-500В, книга, з ЕМС-фільтром С2. Life is on. Schneider Electric: веб-сайт. URL: <https://surl.li/iqmeso> (дата звернення 06.11.2025).

29. Easton SDM630 Modbus V2 100A Three Phase Multifunction DIN Rail Energy Meter. Meter Market: веб-сайт. URL: <https://www.metermarket.co.uk/product/eastron-sdm630-v2-100a-three-phase-multifunction-din-rail-energy-meter> (дата звернення 07.11.2025).

30. Toyota Traigo48, 4-wheel 2t Compact (2025). Toyota Material Handling: веб-сайт. URL: <https://toyota-forklifts.com.ua/nashi-propozitsiyi/protivagovi->

navantazhuvachi-z-elektrichnim-dvigunom/1500-to-2000-kg/toyota-traigo48-4-wheel-2t-compact-2025/ (дата звернення 10.11.2025).

31. ПЛК M221 24 ВХ/ВИХ РЕЛЕ 1RS485 1ETH. Life is on. Schneider Electric: веб-сайт. URL: <https://surl.lu/swmzrk> (дата звернення 11.11.2025).

32. Пристрій плавного пуску ATS22 75A 208-600В, байпас, керування 220В. Life is on. Schneider Electric: веб-сайт. URL: <https://www.schneidershop.com.ua/product/prystrij-plavnogo-pusku-ats22-75a-208-600v-bajpas-keruvannya-220v/> (дата звернення 12.11.2025).

33. Розумні рішення для енергоменеджменту: ефективність, економія, контроль. Di3: веб-сайт. URL: <https://surl.li/awxiwm> (дата звернення 15.11.2025).

34. Про компанію. *Меблевий парк* : веб-сайт. URL: <https://www.mp.in.ua/> (дата звернення 12.11.2025).

35. СЕС для власного споживання. *Alteco* : веб-сайт. URL: <https://alteco.in.ua/ua/tekhnohiiyi/soniachna-enerhetyka/ses-dlia-vlasnoho-spozhyvannia> (дата звернення 13.11.2025).

36. Моніторинг ресурсів на всі випадки! *Smart MAIC* : веб-сайт. URL: <https://smart-maic.com/uk/> (дата звернення 14.11.2025).

37. База знань. *Smart MAIC* : веб-сайт. URL: [https://support.smart-maic.com/?lang=uk&\\_ga=2.44350692.1552157937.1765560775-1329734491.1765560775](https://support.smart-maic.com/?lang=uk&_ga=2.44350692.1552157937.1765560775-1329734491.1765560775) (дата звернення 14.11.2025).

38. LED світильник 120Вт HIGH BAY Granit IP65 0-10V 19500lm 840 WB Sylvania, 0039734. *LedMark. Led освітлення* : веб-сайт. URL: <https://surl.li/fssflz> (дата звернення 15.11.2025).

39. Датчик присутності Schneider Electric Merten Argus MTN5570-1019. *Rozetka* : веб-сайт. URL: <https://surl.li/dghwuj> (дата звернення 15.11.2025).