МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет
Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень

на тему Підвищення ефективності роботи підприємства шляхом впровадження систем енергоменджменту

Виконав: студент групи 6.1411
Іваненко В.В.

спеціальності
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

освітньо-професійна програма
Енергетика, електротехніка та електромеханіка

Керівник Артемчук В.В.

Запоріжжя
2025 рік

Запорізький національний університет

Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

(повна назва кафедри)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка

(шифр і назва)

та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко

“_10_” __травня__2024 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

_____ Іваненко В.В._____

1. Тема роботи: Підвищення ефективності роботи підприємства шляхом впровадження систем енергоменджменту

Керівник роботи: ____Артемчук В.В._____

затверджені наказом ЗНУ від «_27_»_грудня__2024__року №_2029 - с__

2. Строк подання студентом роботи: 23 травня 2025 року___

3. Вихідні дані до роботи: витрата електроенергії підприємством.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які рекомендовано розробити):

4.1 Системи енергетичного менеджменту

4.2 Вибір енергозберігаючих заходів.

4.3 Вибір та обґрунтування методів з енергозбереження на основі методу аналізу ієрархій

5. Перелік графічного матеріалу:

5.1. Організаційна частина системи енергоменеджменту

5.2. Місія, цілі та принципи енергетичної стратегії України

5.3. Фактори, що впливають на реалізацію програм енергоменеджменту

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Артемчук В.В., професор		
Розділ 2	Артемчук В.В., професор		
Розділ 3	Артемчук В.В., професор		
Нормоконтроль	Коваленко І.І., асистент		

7. Дата видачі завдання 27.12.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Системи енергетичного менеджменту.	27.03.2024	
2	Вибір енергозберігаючих заходів	18.04.2024	
3	Вибір та обґрунтування методів з енергозбереження на основі методу аналізу ієрархій	16.05.2025	

Студент _____ (підпис) Іваненко В.В. (прізвище та ініціали)

Керівник дипломної роботи _____ (підпис) Артемчук В.В. (прізвище та ініціали)

Нормоконтролер _____ (підпис) Коваленко І.І. (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У даній роботі вирішені наступні завдання: описані системи енергетичного менеджменту; досліджено вибір енергозберігаючих заходів; проведений вибір та аргументація методів з енергозбереження на основі методу аналізу ієрархій.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, КЛКЕТРОЕНЕРГІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ УКРАЇНИ

ABSTRACT

The following tasks are solved in this work: energy management systems are described; the choice of energy-saving measures is investigated; the choice and argumentation of energy-saving methods are made based on the method of hierarchy analysis.

Keywords: ENERGY MANAGEMENT, ELECTROENERGY, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY CONSERVATION, ENERGY STRATEGY OF UKRAINE

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ 8
1.1 Загальні засади 8
1.2 Етапи запровадження систем енергетичного менеджменту в органах запровадження систем енергетичного менеджменту 10
1.3 Організаційна структура та механізм запровадження систем енергетичного менеджменту 13
1.3 Задачі енергетичного менеджменту 19
2 ВИБІР ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ 28
2.1 Методи енергозбереження на етапі проектування систем тягового електропостачання 28
2.2 Методи розрахунку систем електропостачання 29
2.3 Енергозбереження за рахунок застосування раціональних режимів систем електропостачання 30
2.4 Методи енергозбереження, засновані на нормуванні витрат електроенергії ... 39
3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ 43
2.1 Обґрунтування можливості використання методу аналізу ієрархій під час вибору альтернативних варіантів з енергозбереження 43
2.2 Алгоритм методу аналізу ієрархій 44
2.3 Вибір гідродинамічного нагрівача ТЕК з електронасосним агрегатом на основі МАІ 48
ВИСНОВОК 53
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 54

ВСТУП

В даний час актуальність теми енергозбереження набуває все більшого значення. Ця тенденція обумовлюється, головним чином, тим фактом, що в структурі собівартості готової продукції переважної більшості вітчизняних виробників закладена дуже висока енергетична складова, часом у кілька разів перевищує аналогічні показники підприємств розвинених європейських країн і США. Основною причиною цього є ситуація, що в минулі десятиліття практика, при якій на перше місце ставилися завдання нарощування виробничих потужностей, а також питання безперебійного їх функціонування будь-яку ціну.

Дане положення речей ускладняється також тим фактом, що енергосилові господарства більшості підприємств були спроектовані без урахування маневреного режиму експлуатації з показниками високої ефективності при максимальному завантаженні виробництва в цілому і агрегатів та мереж зокрема. Проте в нинішній складній економічній ситуації багато підприємств працюють при змінному завантаженні виробничих потужностей на умовно-нижній її межі.

Сукупність названих чинників призводить до високих непродуктивних втрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та пов'язаними з цим невиправдано завищеними платіжками за покупні енергоносії.

Енергетичний менеджмент (EnM) є новітнім напрямом досліджень і практики, що набуває експансії у сучасному світі.

Виникнувши в США, країнах Західної Європи і Японії в 70-х роках XX століття, як відповідь на кризу в енергетиці та потребу в енергоефективній економіці, енергетичний менеджмент став активно розвиватися. Він поєднує гуманітарні та технічні навички і є синтезом менеджменту та технологій.

Досвід розвинених країн сформував концептуальні підходи до управління енергоресурсами задля оптимізації їх використання. Ці підходи охоплюють правові, організаційні, економічні, географічні, демографічні та інші аспекти. Вони підвладні управлінському інструментарію, який включає енергетичний менеджмент (енергетичну стратегію), енергетичний аудит і моніторинг.

Підвищення ефективності роботи підприємства шляхом впровадження систем енергоменджменту є, безумовно, актуальним питанням сьогодення.

1 СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

1.1 Загальні засади

Системи енергетичного менеджменту запроваджуються з метою:

1) формування енергетичної політики органу запровадження системи енергетичного менеджменту;

2) досягнення цілей сталого енергетичного розвитку органу запровадження системи енергетичного менеджменту;

3) сприяння досягненню цілей Національного плану дій з енергоефективності, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2021 р. № 1803 (Офіційний вісник України, 2022 р., № 8, ст. 439), Оновленого національного визначеного внеску України до Паризької угоди, схваленого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 липня 2021 р. № 868 (Офіційний вісник України, 2021 р., № 62, ст. 3956), Довгострокової стратегії термомодернізації будівель на період до 2050 року, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2023 р. № 1228 “Деякі питання стратегічного розвитку енергетичної ефективності будівель” (Офіційний вісник України, 2024 р., № 13, ст. 843) [1].

Основними завданнями системи енергетичного менеджменту є:

1) ефективне споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг;

2) раціональне використання коштів на оплату енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг;

3) планування та реалізація енергоефективних проектів і здійснення заходів, проектів і заходів з розвитку відновлюваних джерел енергії або їх сукупності (далі - проекти і заходи сталого енергетичного розвитку) органом запровадження системи енергетичного менеджменту та моніторингу результатів їх запровадження;

4) підвищення енергетичної ефективності та зменшення викидів парникових газів;

5) забезпечення сертифікації енергетичної ефективності будівель;

6) забезпечення показової ролі органів державної влади у підвищенні енергетичної ефективності будівель.

Досягнення мети запровадження систем енергетичного менеджменту здійснюється органами запровадження систем енергетичного менеджменту шляхом розроблення та реалізації енергетичної політики і забезпечення енергетичного планування.

Енергетична політика органу запровадження системи енергетичного менеджменту визначається у декларації енергетичної політики, яка в тому числі визначає цілі функціонування системи енергетичного менеджменту.

Результатом функціонування механізму енергетичного планування є план діяльності системи енергетичного менеджменту (далі - план діяльності), яким визначаються проміжні цілі, та інші необхідні відомості.

Система енергетичного менеджменту охоплює такі сфери діяльності органу запровадження енергетичного менеджменту:

- експлуатація та утримання будівель та споруд;

- управління персоналом та провадження адміністративно-господарської діяльності;

- публічні закупівлі енергоспоживчої продукції (товарів) та послуг, для надання яких використовується енергоспоживча продукція (товари);

- збір та внесення даних до бази даних будівель.

За рішенням керівника органу запровадження системи енергетичного менеджменту можуть бути визначені додаткові сфери діяльності органу запровадження системи енергетичного менеджменту, в тому числі щодо процесів та транспорту.

1.2 Етапи запровадження систем енергетичного менеджменту в органах запровадження систем енергетичного менеджменту

Керівник органу запровадження системи енергетичного менеджменту приймає рішення про запровадження системи енергетичного менеджменту та визначення відповідального за систему енергетичного менеджменту.

Керівник органу запровадження системи енергетичного менеджменту приймає рішення про вибір способу запровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту шляхом покладення обов'язків щодо забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту в межах передбаченого фінансування з бюджетних і позабюджетних джерел, у тому числі проектів міжнародної технічної допомоги, та з урахуванням штатної чисельності та кількості будівель, які перебувають у володінні та/або користуванні (господарському віданні, оперативному управлінні) органу запровадження системи енергетичного менеджменту або підприємств, установ та організацій, які належать до сфери управління цього органу запровадження системи енергетичного менеджменту, шляхом покладення обов'язків щодо забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту на:

- існуючі або спеціально створені структурні підрозділи органу запровадження системи енергетичного менеджменту з питань здійснення енергоефективних заходів (далі - структурний підрозділ енергоменеджменту), або на відповідну окрему його посадову (службову) особу (енергоменеджера), що фінансуються за рахунок бюджетних видатків на утримання такого органу запровадження системи енергетичного менеджменту;
- підрядну організацію з енергетичного менеджменту - фізичну особу - підприємця або юридичну особу незалежно від форми власності, яка на постійній основі провадить діяльність із запровадження та забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту.

Підрядна організація з енергетичного менеджменту може обиратися підприємствами, установами та організаціями, крім державних органів, за рахунок власних коштів без залучення коштів державного бюджету з метою запровадження та забезпечення функціонування систем енергетичного менеджменту.

Система енергетичного менеджменту незалежно від способу запровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту повинна відповідати вимогам, установленим пунктами 15-24 цього Порядку.

У разі вибору способу запровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту шляхом покладення обов'язків щодо запровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту на структурний підрозділ енергоменеджменту або енергоменеджера:

1) відповідальний за систему енергетичного менеджменту забезпечує:

- підготовку пропозицій щодо організаційної структури системи енергетичного менеджменту;

- розроблення організаційно-розпорядчих документів, які регламентують запровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту, в тому числі положень про структурні підрозділи, посадових інструкцій (змін до них) працівників структурного підрозділу енергоменеджменту (енергоменеджера), енергоменеджерів розпорядників бюджетних коштів нижчого рівня органу запровадження системи енергетичного менеджменту, інших осіб, задіяних в системі енергетичного менеджменту;

2) керівник органу запровадження системи енергетичного менеджменту затверджує організаційну структуру системи енергетичного менеджменту та організаційно-розпорядчі документи, які регламентують запровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту.

У разі вибору способу запровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту шляхом покладення обов'язків щодо забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту на підрядну організацію з енергетичного менеджменту, визначену відповідно до Закону України «Про публічні закупівлі»:

1) підрядна організація з енергетичного менеджменту забезпечує:

- запровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту відповідно до цього Порядку;

- дотримання політики відкритих даних, процедур обміну інформацією;

2) відповідальний за систему енергетичного менеджменту забезпечує:

- наявність у договорі з підрядною організацією з енергетичного менеджменту гарантій права власності органу запровадження системи енергетичного менеджменту на продукти діяльності за договором з такою організацією та передачі органу запровадження системи енергетичного менеджменту всієї зібраної, накопиченої та обробленої інформації (в тому числі результатів аналізу) у машиночитному форматі після закінчення строку дії договору;

- сталість функціонування системи енергетичного менеджменту в разі зміни підрядної організації, в тому числі отримання органом запровадження системи енергетичного менеджменту всієї інформації, передбаченої абзацом другим цього підпункту.

Для забезпечення належного функціонування системи енергетичного менеджменту підрядна організація з енергетичного менеджменту повинна мати спеціалізоване обладнання.

Визначений структурний підрозділ енергоменеджменту, енергоменеджер або відповідальний за систему енергетичного менеджменту (у разі покладення обов’язків щодо забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту на підрядну організацію з енергетичного менеджменту) забезпечує підготовку, а керівник органу запровадження системи енергетичного менеджменту - затвердження відповідних змін щодо визначення обов’язків та повноважень структурних підрозділів енергоменеджменту.

Під час запровадження та функціонування систем енергетичного менеджменту органи запровадження системи енергетичного менеджменту керуються у своїй роботі:

- ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT) «Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання»;
- ДСТУ ISO 50004:2016 (ISO 50004:2014, IDT) «Системи енергетичного менеджменту. Настанова щодо запровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту», в тому числі під час прийняття рішень про розширення цілей та завдань систем енергетичного менеджменту понад обсяги, передбачені цим Порядком.

За рішенням органу запровадження системи енергетичного менеджменту може проводитися сертифікація відповідності системи енергетичного менеджменту національним стандартам. Така сертифікація є добровільною та проводиться органом з оцінки відповідності згідно із законодавством.

1.3 Організаційна структура та механізм запровадження систем енергетичного менеджменту

Під час підготовки пропозицій щодо організаційної структури системи енергетичного менеджменту кількість штатних одиниць структурного підрозділу енергоменеджменту визначається з урахуванням передбачення мінімум однієї штатної одиниці на 50 будівель, які перебувають у володінні та/або користуванні (господарському віданні, оперативному управлінні) органу запровадження системи енергетичного менеджменту або підприємств, установ та організацій, які належать до сфери управління цього органу запровадження системи енергетичного менеджменту.

У разі коли для забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту достатньо однієї штатної одиниці, обов’язки такої штатної одиниці можуть бути покладені на окрему посадову (службову) особу (енергоменеджера) та/або відповідного працівника існуючих структурних підрозділів органу запровадження системи енергетичного менеджменту, який здійснюватиме енергоефективні заходи.

У разі коли для забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту необхідно більше однієї штатної одиниці, створюється окремий структурний підрозділ енергоменеджменту.

За рішенням керівника органу запровадження системи енергетичного менеджменту обов’язки із забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту покладаються на посадових (службових) осіб розпорядників бюджетних коштів нижчого рівня органу запровадження системи енергетичного менеджменту (енергоменеджерів розпорядників бюджетних коштів нижчого рівня органу запровадження системи енергетичного менеджменту).

Керівник структурного підрозділу енергоменеджменту безпосередньо підпорядковується відповідальному за систему енергетичного менеджменту.

Діяльність структурного підрозділу енергоменеджменту провадиться відповідно до затвердженого положення, яке повинне передбачати у тому числі такі функції:

1) енергетичне планування;

2) здійснення енергомоніторингу;

3) проведення поточного аналізу споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг органом запровадження системи енергетичного менеджменту, виявлення причини відхилень від норми та їх усунення;

4) здійснення контролю за технічним станом будівель;

5) здійснення контролю за здійсненням заходів та реалізацією проектів енергетичного розвитку;

6) розроблення пропозицій щодо здійснення заходів та реалізації проектів сталого енергетичного розвитку на наступний рік;

7) визначення потенціалу економії енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг в органі запровадження системи енергетичного менеджменту;

8) здійснення моніторингу, розрахунку і оцінки показників ефективності використання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг;

9) прогнозування споживання і виробництва енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг;

10) здійснення контролю за досягненням цілей функціонування системи енергетичного менеджменту та проміжних цілей;

11) підготовку і виконання передбачених законодавством процедур щодо забезпечення енергосервісу у відповідних будівлях (у разі наявності чинних енергосервісних договорів);

12) сприяння проведенню публічних закупівель енергоспоживчої продукції (товарів) та послуг, для надання яких використовується енергоспоживча продукція (товари), з дотриманням критеріїв енергоефективності;

13) забезпечення сертифікації енергетичної ефективності відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель»;

14) розроблення та запровадження інформаційних матеріалів та навчальних програм для працівників та відвідувачів органу запровадження системи енергетичного менеджменту, спрямованих на формування відповідального ставлення до споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг;

15) навчання працівників інших структурних підрозділів органу запровадження системи енергоменеджменту та енергоменеджерів розпорядників бюджетних коштів нижчого рівня органу запровадження системи енергетичного менеджменту;

16) розроблення та запровадження системи ощадного споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг;

17) підготовку до укладення договорів з підприємствами - постачальниками енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг у межах затверджених лімітів споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг;

18) проведення розрахунку базових рівнів енергетичної ефективності;

19) інвентаризацію будівель, які перебувають у володінні та/або користуванні (господарському віданні, оперативному управлінні) органу запровадження системи енергетичного менеджменту або державних органів, установ, підприємств і організацій, які належать до сфери управління цього органу запровадження системи енергетичного менеджменту;

20) збір, внесення та актуалізацію в базі даних будівель відомостей щодо енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель.

Структурний підрозділ енергоменеджменту (енергоменеджер) разом із структурним підрозділом з питань організаційно-господарського (адміністративно-технічного) забезпечення на основі пропозицій та обґрунтувань розпорядників бюджетних коштів нижчого рівня органу запровадження системи енергетичного менеджменту подає обґрунтовані пропозиції:

- керівнику органу запровадження системи енергетичного менеджменту та структурному підрозділу з питань бюджетного планування - щодо здійснення заходів із забезпечення сталого енергетичного розвитку;
- фінансовому підрозділу органу запровадження системи енергетичного менеджменту - щодо перегляду встановлених лімітів споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг у межах бюджетних призначень, спрямованих на оплату енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг, здійснення заходів із забезпечення сталого енергетичного розвитку.

Для забезпечення функціонування системи енергетичного менеджменту структурні підрозділи органу запровадження системи енергетичного менеджменту повинні забезпечувати виконання, зокрема, таких функцій:

1) структурний підрозділ з питань організаційно-господарського (адміністративно-технічного) забезпечення забезпечує збір та моніторинг інформації про споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг будівлями, що перебувають у володінні, користуванні (господарському віданні, оперативному управлінні) органу запровадження системи енергетичного менеджменту, та разом із структурним підрозділом енергоменеджменту забезпечує підготовку та виконання проектних та будівельно-монтажних робіт із реконструкції та капітального ремонту будівель у частині здійснення заходів та реалізації проектів сталого енергетичного розвитку, сприяє проведенню публічних закупівель енергоспоживчої продукції (товарів) та послуг, для надання яких використовується енергоспоживча продукція (товари), для забезпечення дотримання критеріїв енергоефективності;

2) структурний підрозділ з питань будівництва (інший структурний підрозділ, до повноважень якого належить виконання відповідних функцій) у разі розроблення проектної документації, завдання на проектування та під час будівництва узгоджує з керівником структурного підрозділу енергоменеджменту такі роботи та документи в частині здійснення заходів із забезпечення сталого енергетичного розвитку, закупівлі енергоспоживчої продукції (товарів) та послуг, для надання яких використовується енергоспоживча продукція (товари), для забезпечення дотримання критеріїв енергоефективності;

3) фінансовий підрозділ, інший структурний підрозділ з питань бюджетного планування, який забезпечує планування видатків на функціонування органу запровадження системи енергетичного менеджменту, зокрема на енергію (енергоносії) та комунальні послуги:

- виконує завдання з пошуку та залучення позабюджетних коштів з джерел, не заборонених законодавством, для здійснення заходів із забезпечення сталого енергетичного розвитку;

- під час підготовки проектів бюджету на відповідний бюджетний період у межах наявних фінансових ресурсів бере до уваги пропозиції щодо обґрунтованих лімітів з урахуванням заходів із забезпечення сталого енергетичного розвитку та вимог законодавства стосовно зменшення споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг;

- затверджує граничні обсяги лімітів споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг у грошових показниках у розрізі кварталів, а в натуральних показниках - на рік.

Енергоменеджери розпорядників бюджетних коштів нижчого рівня органу запровадження системи енергетичного менеджменту подають структурному підрозділу енергоменеджменту обґрунтовані пропозиції щодо:

- здійснення заходів із забезпечення сталого енергетичного розвитку;

- перегляду встановлених лімітів споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг у межах бюджетних призначень на відповідний бюджетний період.

Для органів запровадження системи енергетичного менеджменту із штатною чисельністю структурного підрозділу енергоменеджменту від чотирьох осіб організаційно-технічне забезпечення системи енергетичного менеджменту передбачає наявність спеціалізованого обладнання, а саме:

- лазерного далекоміра;
- реєстраторів значень (даталогерів) вологості та температури повітря з пристроєм зчитування даних;
- реєстраторів значень (даталогерів) рівня CO_2 з пристроєм зчитування даних;
- цифрового анемометра;
- цифрового люксметра;
- пірометра;
- тепловізора (рекомендовано);
- іншого спеціалізованого обладнання, необхідного для належного функціонування системи енергетичного менеджменту.

Забезпечення спеціалізованим обладнанням здійснюється з урахуванням особливостей бюджетного планування та фінансування в органі запровадження системи енергетичного менеджменту, у тому числі у період воєнного стану.

Якщо орган запровадження системи енергетичного менеджменту на підставі договору оренди (найму) та/або на іншому праві користування розміщується в будівлі (в частині будівлі), яка перебуває у комунальній власності, енергомоніторинг такої будівлі (її частини) здійснюється органом запровадження системи енергетичного менеджменту.

Якщо орган запровадження системи енергетичного менеджменту надає на умовах оренди та/або іншого права користування будівлю (її частину), споруду або інший об’єкт іншому органу запровадження системи енергетичного менеджменту, функціонування системи енергетичного менеджменту щодо такого майна забезпечує відповідальний за систему енергетичного менеджменту орган запровадження системи енергетичного менеджменту, у володінні та/або користуванні (господарському віданні, оперативному управлінні) якого перебуває

таке майно, якщо інше не передбачено договором або іншим визначеним сторонами способом.

1.4 Задачі енергетичного менеджменту

Енергетичний менеджмент (EnM) є новітнім напрямом досліджень і практики, що набуває експансії у сучасному світі. Виникнувши в США, країнах Західної Європи і Японії в 70-х роках XX століття, як відповідь на кризу в енергетиці та потребу в енергоефективній економіці, енергетичний менеджмент став активно розвиватися. Він поєднує гуманітарні та технічні навички і є синтезом менеджменту та технологій. Досвід розвинених країн сформував концептуальні підходи до управління енергоресурсами задля оптимізації їх використання. Ці підходи охоплюють правові, організаційні, економічні, географічні, демографічні та інші аспекти. Вони підвладні управлінському інструментарію, який включає енергетичний менеджмент (енергетичну стратегію), енергетичний аудит і моніторинг [1]. На думку Зайця А., енергетичний менеджмент розглядається як складова загального менеджменту з набором засобів управління споживанням енергії і витратами на її отримання. З іншого боку, енергетичний менеджмент розглядається як контроль і облік енергетичних потоків з метою ефективного їх використання [10]. Система енергетичного менеджменту (CEnM) – це елемент загальної системи управління, що включає комплекс організаційних заходів, технічних засобів і в кінцевому під- сумку, програмно-методичного забезпечення, які дозволяють керівництву будь-якого адміністративного рівня приймати оперативні управлінські рішення, спрямовані на мінімізацію витрат, пов’язаних зі споживанням паливно-енергетичних ресурсів без зниження санітарних, екологічних та інших норм, а учасникам процесу споживання ресурсів – підтримувати встановлені правила. Структура служби енергоменеджменту носить ієрархічний характер, і може бути представлена у вигляді такого алгоритму (рис. 1.1). В 2019 році розроблявся проєкт «Реформи у сфері енергоефективності в Україні», що виконується GIZ за дорученням Федерального міністерства

економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ), який був орієнтований на працівників центральних органів виконавчої влади, які приймають рішення, та орієнтовані на подальший розвиток, поглиблення здобутих знань у сфері енергоефективності.

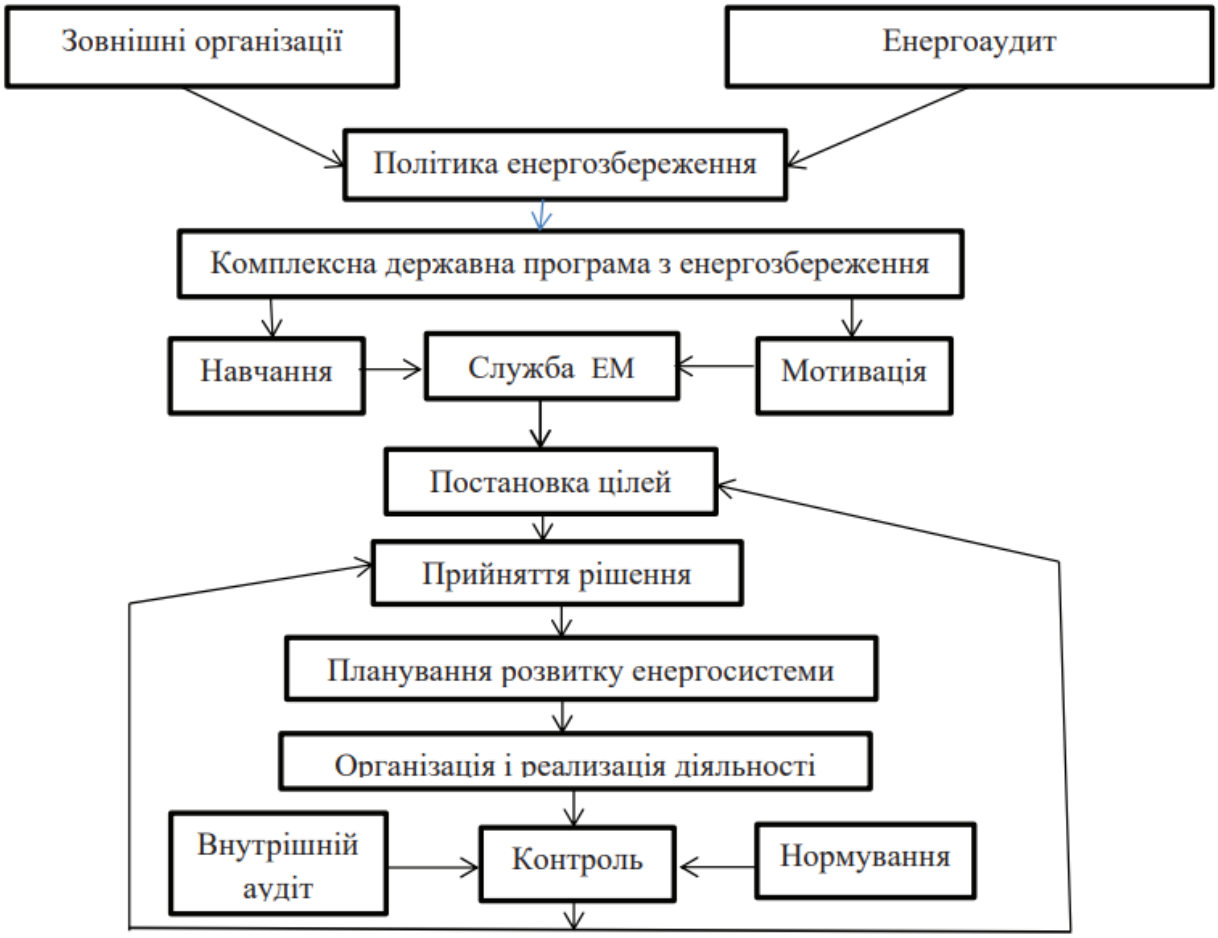


Рисунок 1.1 – Організаційна частина системи енергоменеджменту

Політика енергозбереження містить адміністративно-правове й фінансово-економічне регулювання процесів видобутку, переробки, транспортування, зберігання, виробництва, розподілу, використання та утилізації ПЕР. Служба енергетичного менеджменту – це фрагмент системи енергоменеджменту, яка охоплює людські ресурси, системи обліку, контролю і аналізу ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, що забезпечує формування,

впровадження та досягнення цілей в сфері енергоефективності. Енергетична стратегія – це інтегрована модель дій держави, що спрямована на досягнення цілей національної безпеки та задоволення енергетичних потреб суспільства при найменших сукупних витратах [2]. Енергетична стратегія України, як складова енергетичної безпеки та вектор розвитку галузі країни, передбачає постійне відновлення енергетичного сектору за найсучаснішими технологіями, зміцнення стійкості системи енергоменеджменту та посилення енергетичної безпеки України і європейського континенту у цілому. Віднова енергетичних стратегій України (далі – енергостратегії) до 2030 р., 2035 р. та 2050 р. обумовлена тим, що у попередніх не були враховані у повному обсязі наявні на той момент тенденції світового розвитку енергетичної галузі, зокрема політичну ситуацію в країні [2]. Проведемо порівняння енергостратегій України, розроблених до 2030 р. і до 2050 р. (табл. 1.1).

Для відтворювання системи енергозбереження на підприємстві необхідно реалізувати енергоменеджмент для підтримання комплексному підходу до оптимізації різних видів енергії. Система енергоменеджменту (EnMS) є основою для споживачів енергії, включаючи промислові, комерційні та громадські організації, для управління їх використанням енергії. Вона містить набір спланованих процедур, спрямованих на зниження витрат підприємства на енергію та підвищення продуктивності. Це допомагає компаніям визначити можливості впровадження та вдосконалення енергозберігаючих технологій, у тому числі тих, які не обов’язково потребують великих капіталовкладень [10]. У більшості випадків успішне впровадження EnMS потребує спеціальних знань і навчання персоналу. Відповідно до Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), система енергоменеджменту передбачає розробку та впровадження енергетичної політики, встановлення досяжних цілей щодо використання енергії та розробку планів дій для їх досягнення та вимірювання прогресу. Це може включати в себе впровадження нових енергоефективних технологій, зменшення витрат енергії або вдосконалення поточних процесів для скорочення витрат енергії. Наразі більшість

обласних військових адміністрацій в Україні (17 ОВА) також активно працюють у цьому напрямі.

Таблиця 1.1 – Місія, цілі та принципи енергетичної стратегії України

Зміст	Сутність енергетичної стратегії	
	до 2030 р.	до 20250 р.
Місія стратегії	Створення умов для надійного та якісного задоволення попиту на енергетичні продукти за найменших сукупних витрат	Створення умов для сталого розвитку національної економіки через забезпечення доступу до надійних, стійких і сучасних джерел енергії.
Цілі енергетичної стратегії	1. Підвищення енергетичної безпеки держави. 2. Підвищення ефективності споживання та використання енергопродуктів. 3. Зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище. 4. Забезпечення цивільного захисту у сфері техногенної безпеки ПЕК.	1. Досягнення максимального рівня кліматичної нейтральності. 2. Максимальне скорочення використання вугілля в енергетичному секторі. 3. Оновлення та модернізація енергетичної інфраструктури. 4. Підвищення ефективності використання ресурсів в енергетичному секторі. 5. Всебічна інтеграція з ринками ЄС та ефективне функціонування внутрішніх ринків. 6. Забезпечення енергетичного сектору власними ресурсами з урахуванням економічної доцільності. 7. Розвиток альтернативних джерел енергії, нових продуктів та інноваційних рішень в енергетичному секторі.
Консультанти	Куратор процесу – визначений в особі Фонду «Ефективне Управління» (ФЕУ).	Технічна допомога надається урядом Великої Британії. Консультант проєкт – компанія KPMG
Принципи	Принцип системності. Принцип комплексності. Принцип повноти забезпечення потреб в енергоресурсах. Принцип ефективності розподілу енергоресурсів	Принцип економічної обґрунтованості. Принцип екологічність. Принцип доступність. Принцип соціальна справедливість. Принцип ринковість.

Призначено понад 450 осіб, відповідальних за систему енергетичного менеджменту. Енерго моніторинг здійснюється у понад 14 тис. будівель, а це 69% від усіх будівель, які знаходяться у користуванні та/або володінні 17 адміністрацій.

Також укладено більше 170 ЕСКО-контрактів – енергосервісних договорів, які мають на увазі, що інвестор власними коштами виконує термомодернізацію будівель. Розглянемо, чому організація повинна впроваджувати систему енергетичного менеджменту. Зараз є багато прикладів діяльності промислових та інших організацій, які значно покращили свою енергетичну ефективність завдяки впровадженню EnMS.

Їм вдалося знизити витрати на енергію; зменшити інших супутніх витрат, їх впливу на нестабільні ціни на енергоносії в кращому контролі над своїми технічними процесами, покращенні продуктивності та стабільності процесу [5]. Слід звернути увагу на поширені неправильні уявлення про EnMS. Так, багато компаній купують програмне забезпечення і мають враження, що це система енергоменеджменту, але це не так. Мета полягає в економії енергії, і дуже часто про це забувають. Наразі дійсно потрібні контрольні списки, потрібні процеси, аудит і програмне забезпечення, але зрештою все це має призвести до енергозбереження. Зрештою, EnMS здебільшого стосується людей і управління. Фахівці вважають, що найважливішим результатом, якого можна досягти завдяки постійним зусиллям з моніторингу та управління енергетичними ресурсами, було те, що всі співробітники задумалися про енергію та взяли на себе зобов'язання її заощаджувати. Розглянемо, що потрібно для ефективної EnMS. Організації, які досягли успіху у впровадженні EnMS, як правило, мають відданого енергоменеджера. Такі менеджери здатні подолати неминучі перешкоди, що виникають у процесі управління змінами. Вони отримували підтримку від вищого керівництва (реалізація принципу першого керівника) та переконували своїх колег-членів енергетичної команди виконати обіцянку щодо системного підходу до управління енергією. Підтримка керівництва та прихильність зверху є дуже важливими. Для того, щоб управління енергією стало нормою, потрібно враховувати, що освіта є основою енергоменеджменту, і вона буде найефективнішою, коли це предмет, який викладається з найнижчого класу в школі до вищого в університеті. До того часу кожна компанія, установа чи робоче місце має, як частину вступного курсу, зробити свій внесок, навчаючи працівників щодо

ефективного використання енергії, щоб це могло стати частиною культури кожного. Пропагування цього серед людей – це те, що лежить в основі ефективного управління енергією та «культури покращення енергоефективності», висвітленої в ISO 50001. Стартовий набір системи енергоменеджменту UNIDO надає для керівництва огляд того, що таке EnMS і як її впровадження може принести додаткову цінність організації. У цьому наборі можна знайти ідеї світових експертів UNIDO. Управління енергією – це процес безперервного вдосконалення, і він є більш ефективним, якщо його політики та процедури переглядаються щорічно. Він також представляє задокументовану структуру, яка визначає цілі, політику та процедури організації та процеси, за допомогою яких вони підтримуються та вдосконалюються. Система енергоменеджменту встановлює чіткі обов'язки, процедури, постійне навчання, внутрішні перевірки на відповідність, коригувальні та запобіжні дії, аналізи керівництва та постійне вдосконалення. Відносно невелика кількість компаній запровадила та впровадила EnMS навіть у країнах, які мають сильну прихильність до енергоефективності та енергоменеджменту, таких як скандинавські [4]. Сьогодні в розвинутих країнах і країнах, що розвиваються, вводяться обов'язкові правила для своїх енергоємних галузей промисловості щодо застосування EnMS (наприклад, Туреччина) [6]. Проте, високі ціни на енергоносії та Кіотський протокол спонукають топ-менеджмент менш енергоємних галузей залучати ресурси для реалізації програм енергоменеджменту, яка значною мірою залежить від факторів, наведених на рис.1.2 (типу галузі, енергоємності, розміру компанії, типу та рівня системи управління якістю тощо). Система енергоменеджменту є частину управління підприємством, цілі якої полягають у підвищенні рівня ефективності використання ПЕР. Перехід на управління енергоефективністю на українських підприємствах вимагає зміни в організаційноуправлінських структурах, інноваційному інструментарію та методів раціонального вирішення завдань управління енергоресурсами. Витрати на електроенергію є відносно невеликими у структурі витратах на виробництво, тому проблема енергозбереження має низький пріоритет

у таких підприємствах. Акцент робиться на технічне переоснащення виробництва, а в довгостроковому корпоративному плануванні – пошуку перспективних ринків.



Рисунок 1.2 – Фактори, що впливають на реалізацію програм енергоменеджменту

Енергозбереження стає проблемою, коли необхідно модифікувати підприємство, впроваджувати інвестиції, обирати постачальників або ліквідувати вузькі місця. Але як тільки першочергові завдання вирішуються, енергозбереження відходить на задній план. Подібна ситуація сталася з сербським автовиробником «Zastava», коли підприємство зіткнулося з проблемами впровадження нового обладнання, заміни відносно старого устаткування [10]. На сьогоднішньому ринку невизначені ціни на енергоносії негативно відбуваються на прогнозуванні розміру доходу. Успішні, економічно ефективні інвестиції в енергоефективність вирішують завдання підтримувати виробництво високоякісної продукції з невисокими витратами. Крім того, енергоефективні технології часто мають «додаткові» переваги, які підвищують продуктивність підприємства. Широко розповсюдженим показником енергоефективності у світі є енергоємність, яка вимірюється кількістю енергії, необхідною для виробу одиниці ВВП [4]. Велика кількість підприємств, що виробляють електроенергію, в Україні знаходяться у приватній власності, тому державне регулювання, здійснення загальнодержавної технічної політики енергоефективності є непростими процесами.

Так, у 2019 року Міністерство фінансів України ухвалило наказ про реформування ДП «НЕК «Укренерго» у ПРАТ «НЕК «Укренерго», де державі належать 100% акцій [7]. Успішне втілення політики підвищення енергоефективності та динамічного росту альтернативної енергетики з відновлювальними джерелами енергії та біопалива надасть можливість державі створити умови для зниження рівня енергоємності ВВП, оптимізувати енергобаланс України шляхом збільшення обсягів використання відновлювальних джерел енергії та біопалива. Всі проблеми енергоефективності не вирішити тільки організаційними заходами, перспективним є напрям використання сучасних технологій, технічних заходів, що передбачає суттєві капіталовкладення в енергоефективність та модернізацію енергетичної інфраструктури. Враховуючи вартість енергоносіїв, стан енергетичної інфраструктури, кліматичні та геологічні умови, сучасний рівень енергетичних технологій, слід визначити, що в Україні перспективно впроваджувати сучасні технології поновлювальних та нетрадиційних джерел енергії, які є безпечними для природи. Одним з найпривабливіших аспектів енергоефективності для промисловості є те, що підприємства отримають значні поліпшення з невеликими капітальними вкладеннями або взагалі без них. Коли підприємства аналізують варіанти реагування на зміну клімату та цін на енергоносії, вони стикаються з п’ятьма шляхами розвитку:

1. Зменшити споживання енергії та виробництва товарів;
2. Перехід на відновлювані джерела енергії;
3. Розповсюджувати циркулярні бізнесмоделі;
4. Створити поглиначі вуглецю для компенсації промислових викидів та викидів від пожеж;
5. Підвищення енергоефективності.

Пом’якшення наслідків зміни клімату, безсумнівно, вимагатиме від промисловості реалізації в тій чи іншій мірі розроблених стратегій, але

енергоефективність визначається як така, що може дати найбільші результати за найкоротший час і з найменшими втратами.

Використання системи EnM в Україні диктується не тільки постановами, указами і законами, які затверджуються Президентом і Верховною радою, але й здоровим глуздом, який повинен бути присутнім у кожного бережного господаря. Опалюючи атмосферу, збільшуючи викиди CO2, буде з кожним днем все дорожче. В Євросоюзі, існує стандарт ISO 5001, який регламентує впровадження системи EnM в адміністративних закладах і на підприємствах. В ЄС всіляко стимулюють цей процес. Згідно міжнародного та вітчизняного досвіду впровадження системи EnM дозволяє знизити витрати на енергоносії від 10 до 20%, за рахунок оперативних можливостей енергоменеджера, який управляє споживанням енергоресурсів, оптимізацією існуючих фінансових витрат на енергоносії, створенням сприятливих умов для інвестування.

2 ВИБІР ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

2.1 Методи енергозбереження на етапі проектування систем тягового електропостачання

Концепція енергооптимальної системи електропостачання була запропонована в чисельних працях. Під проектуванням енергооптимальної системи електропостачання електротранспорту розуміють вибір оптимальних параметрів системи електропостачання. При проектуванні умовно поділяють режими роботи системи електропостачання та електрорухомого складу. Тягові розрахунки виконуються при номінальній напрузі на струмоприймачах електровозів. Результати досліджень багатьох вчених наочно показали неприпустимість такого поділу взаємопов'язаних і залежать один від одного елементів системи електричної тяги.

Аналітичне формулювання завдання створення оптимальної системи електропостачання в загальному вигляді має наступний вигляд

$$\min M[Z(I_1, I_2, R, t)], \tag{2.1}$$

де Z – показник ефективності;

I_1 – технічні параметри системи;

I_2 – умови експлуатації;

R – показник надійності;

t – час;

M – символ математичного очікування.

Область застосування вектору рішення j (I1, I2) визначається обмеженнями, що накладаються на показники системи. Показник ефективності визначає якість кожного рішення, його мінімізація є основним завданням при проектуванні системи. Показник ефективності може бути економічним (наведені витрати) або

технічним (сумарна потужність системи, втрати в системі і т. ін.).

Сутність методики рішення задачі проектування оптимальної системи електропостачання, запропонованої Мірошниченко Р.І., була в наступному. Маючи данні за профілем ділянки, розстановці сигналів автоблокування і координатам зупиночних пунктів, розглядали декілька варіантів системи електропостачання (поєднання різних типів ЕРС., Різних параметрів системи електропостачання при заданих вантажопотоці і числі пасажирських поїздів) та вибирали варіант, оптимальний по мінімуму приведених витрат за умови забезпечення всіх технічних вимог і критеріїв.

В даний час на залізницях застосовуються централізовані системи тягового електропостачання. Однак багато вчених висловлюються за застосування розподілених систем живлення. При розподілених системах тягового електропостачання головні підстанції здійснюють перетворення напруги живильної енергосистеми в напругу 6,12 або 24 кВ постійного струму або 35 кВ змінного струму поздовжньої лінії. Пункти живлення перетворять напругу поздовжньої лінії в напругу 3,3 кВ тягової мережі. Застосування таких схем дозволить використовувати проводи контактної мережі меншого перерізу, зменшити втрати електроенергії і втрати напруги в контактній мережі і створити передумови для автоматичного керування системами тягового електропостачання.

2.2. Методи розрахунку систем електропостачання

При розрахунках систем електропостачання виникає два види завдань:

- визначення розрахункових енергетичних величин за заданим графіком руху поїздів;

- визначення розрахункових величин в умовах, коли не може бути заданий конкретний графік руху поїздів.

Існують наступні три групи методів розрахунку систем електропостачання електричного транспорту:

1) методи розрахунку за заданим графіком руху поїздів;

2) методи розрахунку по середнім розмірам руху поїздів;

3) методи розрахунку з урахуванням нерівномірності руху поїздів.

Методи розрахунку, що використовують графіки руху поїздів для задач енергозбереження в СТЕ не прийнятні, оскільки задача вирішується для магістральних залізниць з вантажним рухом, де не може бути заданий один певний графік руху поїздів. Метод рівномірно розподіленого навантаження, а також його модифікації володіють недостатньою точністю розрахунків внаслідок неврахування нерівномірності потоку поїздів. Враховують нерівномірність процесу руху поїздів методи, засновані на застосуванні теорії ймовірностей. К.Г. Марквардт і Г.Г. Марквардт була розроблена методика розрахунку системи електропостачання, орієнтована на застосування ЕОМ.

Проаналізовані також методи розрахунку системи електропостачання, засновані на імітаційному моделюванні роботи електрифікованої ділянки залізниці. Методи цього класу орієнтовані на застосування ЕОМ і дозволили відмовитися від усереднення струмоспоживання по довжині міжпідстанційної зони, а також врахувати реальний потік поїздів. Однак використовувати їх для вирішення задач енергозбереження, регулювання режимів СТЕ виявилося неможливим, оскільки для досягнення прийнятної при оптимізації точності необхідно затратити значну кількість машинного часу. А так як процедура оптимізації звертається до розрахунку системи багаторазово, то вирішити завдання за прийнятний час неможливо.

2.3 Енергозбереження за рахунок застосування раціональних режимів систем електропостачання

Досягнення раціонального електроспоживання можливо при оперативному аналіз інформації на різних рівнях обліку експертними системами (ЕС) та реалізації автоматизованого регулювання електроспоживання. Розроблена стратегія досягнення раціонального електроспоживання в тягових мережах, що базується на інтегрованій системі управління пристроями електропостачання з розподіленим

інтелектом і експертній системі прийняття рішень. Виявлені фактори, що впливають на складові електроспоживання, отримані узагальнюючі залежності втрат енергії, показані шляхи автоматизації накопичення баз знань ЕС. Розроблені принципи формування алгоритмів регулювання режимів роботи електротягові мереж з використанням ЕС, що враховують координацію локальних та глобальної систем управління пристроями електропостачання по узагальненому критерію мінімуму витрат електроенергії, що дозволяють здійснити перехід від диспетчерського до автоматизованого та автоматичному регулюванню.

Перспективними і на сьогоднішній день висунуті в [8,13,12] наукові положення щодо раціоналізації графіків руху поїздів в умовах різкого подорожчання енергоресурсів з урахуванням критерію мінімальних втрат енергії в електротягові мережі.

Проведення цілеспрямованої роботи з аналізу втрат, виявлення закономірностей і осередків втрат неможливо без відповідної апаратури. Пошук нових технічних рішень, дослідження та експерименти дозволили для специфічної тягового навантаження запропонувати непрямі способи виміру втрат енергії. Тому були розроблені методики та апаратура для вимірювання втрат енергії в тяговій мережі змінного струму, тягової мережі постійного струму і тягових трансформаторах. Методом планування експерименту проведено дисперсійний аналіз коефіцієнтів налаштування лічильників втрат енергії в тяговій мережі змінного струму Ф442П, лічильників втрат енергії в тягової мережі постійного струму Ф607П, лічильників втрат енергії в тягових трансформаторах Ф443АРП, отримані аналітичні, регресійні вирази для визначення коефіцієнта настройки в експлуатації, розроблені алгоритми розрахунку коефіцієнта в режимі реального часу, що дозволяють значно знизити похибку методу. Похибка лічильників втрат у порівнянні з контрольними приладами склала 3,2% на ділянці постійного струму і 2,4% на ділянці змінного струму, похибка методу ампер-квадрат годин з нерегульованим і регульованим коефіцієнтом налаштування відповідно 7,5% і 2,5%.

На жаль, на сьогоднішній день питаннями розвитку інструментальних

методів визначення втрат електроенергії в тягових мережах магістральних залізниць практично не займаються. Хоча є роботи, в яких автори викладають свою точку зору на втрати потужності в тяговій мережі, вводять поняття додаткових втрат електроенергії. Так в роботах [14,20,19] викладено результати досліджень, які вказують на споживання неактивної (реактивної по Фрізе) потужності в системах електропостачання тяги поїздів постійного струму. Показано, що споживання неактивної потужності веде до додаткових втрат електроенергії в системі. З появою мікропроцесорних лічильників, АСКОЕ з'явилися нові можливості для розрахунку втрат в тягових мережах. Сучасні мікропроцесорні лічильники можуть бути перетворені в лічильники втрат програмними засобами.

В [4,5]вирішена актуальна науково - технічна проблема підвищення енергетичної ефективності систем електропостачання залізниць на основі розробки і вдосконалення методів моделювання режимів їх роботи. На основі розроблених автором оригінальних технологій моделювання реалізований комплекс методів і засобів підвищення енергетичної ефективності систем тягового електропостачання вперше побудована нелінійна динамічна модель СТЕ як багатовимірного, багато зв’язних і багато режимних об'єктів управління. У моделі реалізований комплексний облік таких складних факторів, як несиметричність і несинусоїдальність струмів і напруг; запропоновані і апробовані алгоритми контролю втрат електроенергії, що враховують імовірнісний характер графіка руху поїздів; розроблені нові методи моніторингу технічного стану, що забезпечують підвищення надійності найважливіших елементів тягового електропостачання. Є актуальними рекомендації з моніторингу роботи найважливіших елементів СТЕ з метою знаходження та підтримання раціонального режиму. Використання пунктів паралельного з'єднання (ППС) в тягових мережах постійного і змінного струму призводить до скорочення втрат електричної енергії, які залежать як від особливостей рельєфу, по якому проходить залізнична магістраль, так і від розмірів руху та ритмічності графіка руху поїздів по коліях різного напрямку. Для оцінки ефективності застосування ППС запропонована методика, що дозволяє більш точно визначати скорочення втрат в тягових мережах при їх включенні.

Було запропоновано використовувати нечітко множинний підхід до визначення раціональних режимів системи електропостачання тяги поїздів. Удосконалено експертну систему прийняття рішень при регулюванні режимів роботи систем тягового і зовнішнього електропостачання, що дозволяє підвищити енерго економічну ефективність та оперативність прийняття рішень при неповній або суперечливій інформації. Розроблено принципи формування алгоритмів та наповнення баз даних і знань експертних систем.

Системи телемеханічного управління пристроями електропостачання, що є основою автоматизованих систем управління пристроями електропостачання (АСУЕ), в даний час не дозволяють передавати необхідну інформацію про параметри режимів систем тягового електропостачання на автоматизовані робочі місця енергодиспетчера. Програмне забезпечення автоматизованих робочих місць енергодиспетчера не передбачає наявності експертних систем. Таке включення можливо лише після впровадження мікропроцесорних систем телеуправління.

При визначенні раціональних режимів роботи системи тягового електропостачання для здійснення перевізного процесу визначальним параметром є вартість електроенергії. В [2] зазначено, що вартість електроенергії є вирішальним вихідним параметром, визначальним результати техніко-економічних розрахунків і порівнянь в системі тягового електропостачання. Тому багатьох вчених стали цікавити питання пошуку раціональних режимів роботи систем електропостачання тяги поїздів з урахуванням можливості розрахунків за електроенергію за тарифами, диференційованими за часом доби.

Застосування даних заходів дозволило для ділянки Нікополь-Марганець Придніпровської залізниці зменшити вартість спожитої електроенергії на тягу поїздів на 16% (за умови застосування диференційованих тарифів оплати за спожиту електроенергію). Крім того, були б поліпшені режими роботи енергосистем в пікові години.

Вперше для залізниць України запропоновано розглядати функцію вартості електричної енергії для задач визначення оптимальних режимів при здійсненні перевізного процесу електротранспортом. Такий підхід дозволив досліджувати

спільно задачі вибору варіантів переводу тягових підстанцій на диференційований тариф оплати і розрахунків оптимальних режимів ведення поїздів. Були розроблені методи розв'язання задачі по розрахунку оптимальних режимів ведення поїзда при змінній ціні за електроенергію:

- при відомих (прогнозованих) матрицях очікуваного споживання електроенергії в різні періоди доби,

- розрахунок компромісно-оптимальних режимів при відсутності матриць очікуваного споживання, представлені моделями векторної оптимізації.

Розроблена стохастична модель ціни електроенергії за періодами доби, призначена для розрахунку режимних карт в умовах ОРЕ. Було встановлено, що ціна електроенергії не є стаціонарним процесом.

$$C(x,t) = \{(N(M[c(x_k,t_1)],\sigma(x_k,t_1)),...,N(M[c(x_k,t_{24})],\sigma(x_k,t_{24})))\}_{k\in N_k}, \quad (2.2)$$

де $N(a,\sigma)$ – функція Гауса,

$M[*]-$ знак математичного очікування,

$x-$ координата шляху,

$t-$ часу.

Було показано, що перехід до диференційованих тарифів для набору поїздів дає можливість зменшити вартість оплати електроенергії на 3.8% у порівнянні з використанням єдиного тарифу. В [23,24] розроблено нові математичні моделі та методи, призначені для вирішення задачі по оптимальному переводу груп тягових підстанцій на диференційований тариф при відомих матрицях прогнозованого споживання (комбінаторна, вартісно - технологічна модель, модель з регулювання перемиканнями тягових підстанцій). Методика розрахунків дозволила встановити граничні обсяги електроспоживання на тягу поїздів по зонах диференційованих тарифів, при яких перехід на диференційований тариф або умови ОРЕ ефективний за вартістю. Розроблені методи керування рухом поїздів при змінній ціні електроенергії впроваджені і увійшли в рекомендації по забезпеченню енерго

оптимального процесу перевезень на основі інформаційних технологій управління системами електричної тяги.

Для обґрунтування раціональних режимів роботи системи електропостачання електротранспорту необхідно вивчити сталі режими роботи системи електропостачання. Для їх моделювання необхідно якимось чином промоделювати навантаження поїздів, які виходять в результаті тягових розрахунків.

Рішення задач визначення раціональних режимів системи тягового електропостачання електричного транспорту нерозривно пов'язане з впровадженням автоматизованих систем управління пристроями електропостачання.

Теоретично узагальнено та розроблені на основі системного підходу загальні принципи організації автоматизованої системи управління тяговим електропостачанням на високих рівнях ієрархії та створено на цій базі наукові основи і методи вирішення прикладних задач енергодиспетчерських пунктів, технічних відділів і відділів експлуатації на рівнях служб, відділень залізниць, управлінь. Запропоновано вирішувати задачу визначення раціональних режимів в рамках автоматизованої системи управління пристроями електропостачання. Вибір найбільш економічного режиму роботи системи електропостачання запропоновано здійснювати на імітаційній моделі (як на стадії проектування, так і в умовах експлуатації діючої ділянки). В якості критерію оптимальності режиму системи електропостачання розглядалися втрати електроенергії в системі електропостачання.

Задача визначення раціональних режимів системи електропостачання електротранспорту нерозривно пов'язана із завданням прогнозування споживання електроенергії. В цьому напрямку необхідно відзначити роботу [21]. У даній роботі було показано, що для підвищення точності прогнозування електроспоживання в регламентовані періоди необхідно виконати побудову структури моделей прогнозування в класі лінійних динамічних стохастичних моделей. Дані моделі засновані на принципах ідентифікації процесів електроспоживання і перевізного

процесу. У цій же роботі була запропонована структура побудови моделі автоматизованої системи управління придбанням та споживанням електроенергії (АСУ ППЕ-У), яка включає в себе нові компоненти управління перевезеннями, електрорухомим складом, системою електропостачання електротранспорту. Звертає увагу той факт, що в якості цільової функції моделі АСУ ППЕ-У запропонована функція сумарних фінансових витрат на придбання електроенергії.

Цілий ряд робіт був присвячений питанням визначення раціональних рівнів напруг на шинах підстанцій. Рівень напруги в системі тягового електропостачання відіграє істотну роль. Межі його зміни регламентовані відповідними нормативними документами. Від величини напруги на струмоприймачі електровоза залежить швидкість руху поїздів і робота допоміжного обладнання. Величиною напруги визначаються також втрати енергії у всіх елементах системи електричної тяги: тягової мережі, підстанціях, електровозах. При зміні напруги втрати енергії в складових елементах системи мають різну тенденцію. Так при зменшенні напруги в системі знижуються магнітні втрати в обладнанні підстанцій і електровозів, зменшуються питомі витрати на тягу поїздів, зате збільшуються електричні втрати в тяговій мережі і знижується швидкість руху. Отже, існує задача визначення оптимальної величини напруги в системі електропостачання.

Вирішена задача оптимізації напруг на підстанціях з урахуванням дискретної природи їх регулювальних множин. Зміна напруги на шинах підстанцій запропоновано здійснювати за допомогою перемикачів відгалужень силових трансформаторів. В якості критерію оптимізації обрано мінімум приведених витрат на перевезення вантажів.

Запропонована система керованого електропостачання, яка могла вирішувати наступні завдання: регулювання напруги в контактній мережі, зведення зрівняльних струмів на фідерних зонах електрифікованих ділянок до мінімальної величині, забезпечення надійного рекуперативного гальмування автоматичним зниженням напруги на шинах сусідніх тягових підстанцій при переході електровоза в режим рекуперації, обмеження допустимих струмів навантаження проводів контактної мережі за рахунок їх перерозподілу між сусідніми тяговими

підстанціями. Технічною основою для створення керованого електропостачання послужило тягове трансформаторне обладнання з безконтактним автоматичним регулюванням випрямленої напруги тягових підстанцій, шафи автоматичного регулювання напруги типу ШАУН. Аржанніков Б.А. проаналізував залежності ККД двигунів електровозів від швидкості, розрахованих при різних напругах. При цьому був отриманий висновок, що при одній і тій же швидкості руху відносна зміна КПД на порядок менше відносної зміни напруги на струмоприймачі електровоза. Все це дало підстави вважати, що в разі незмінного часу ходу середнє значення к.к.д. зміниться на десяті частки відсотка при зміні напруги на струмоприймачі від 3,0 до 3,6 кВ. Значить, при однаковому часу ходу витрата електроенергії тяговими двигунами буде практично один і той же час тривало допустимому напрузі на струмоприймачі електровоза в діапазоні 2800-3600 В. Ґрунтуючись на такому висновку в якості критерію оптимізації напруги на шинах тягових підстанцій було обрано мінімум втрат електроенергії в тягової мережі, які явно залежать від електроенергії споживаної електровозом.

Впровадження і використання пристроїв автоматичного регулювання напруги на шинах тягових підстанцій висвітило суперечливий характер їх впливу на техніко-економічні показники функціонування системи тягового електропостачання. Так, наприклад, при підвищенні напруги на шинах тягових підстанцій Придніпровській залізниці на 250 - 300 В технічна швидкість руху поїздів збільшилася на 9%, а питома витрата електричної енергії зменшився на 14%. Статистичному аналізу напруг на шинах тягових підстанцій і струмів фідерів присвячені чисельні. роботи. Іншими дослідженнями на Придніпровській залізниці встановлено, що при постійній технічній швидкості збільшення середньої напруги з 3,41 до 3,49 кВ веде до збільшення питомої витрати електричної енергії на 0.7%. Дослідженнями, показано, що при зміні пристроїв АРН при постійній витраті електроенергії швидкості руху підвищилися на 4-9%.

Також було встановлено, що збільшення напруги не призводить на діючих ділянках до пропорційного збільшення середньої та технічної швидкостей руху поїздів. У ряді випадків спостерігалася навіть зворотна залежність при збільшенні

напруги швидкість знижувалася. У зв'язку з вищевикладеним необхідно відзначити, що швидкість руху поїздів залежить від багатьох, не пов'язаних з напругою, факторів - графіка руху, поїзної обстановки, обмеженню станом колії і так далі. Зокрема, розрахунковим шляхом було встановлено, що при збільшенні напруги в разі наявності обмеження швидкості витрата електроенергії збільшується. Крім того, напруга на шинах тягової підстанції залежить не тільки від величини тягового навантаження, яка носить стохастичний характер, але і від зміни навантаження нетягових споживачів і відхилень напруги живильної енергосистеми. Тому при одному і тому ж тяговому навантаженні напруга на шинах 3.3 кВ може бути різною, тобто, немає однозначної залежності між величиною тягового струму і напруги на шинах 3.3 кВ. У зв'язку з цим у був зроблений висновок, що підтримка на шинах тягової підстанції наперед заданого стабілізованого рівня напруги незалежно від факторів, що впливають є однією з причин суперечливості даних використання. У вищезгаданій роботі був розроблений принципово новий алгоритм регулювання напруги та пристрій для їх реалізації, яке здатне функціонувати в умовах невизначеності та випадковості зміни впливаючих факторів, враховувати варіації і забезпечувати при цьому задані розміри руху при мінімізації витрат електроенергії, тобто пристосовується «інтелектуального», адаптивного регулятора напруги.

Фахівці ДІІТу активно займалися аналізом показників якості електроенергії на шинах тягових підстанцій в різних режимах з використанням сучасних вимірювальних комплексів Satec.

Створені за останні десятиліття сучасні керовані перетворювачі, мікропроцесорні системи керування, надійні радіоканали зв'язку дозволили вирішувати задачу стабілізації напруги безпосередньо на струмоприймачах рухомого складу за рахунок підлеглого регулювання напруги на шинах тягових підстанцій. Центральним питанням при побудові такої системи стала розробка алгоритмів і методів побудови пристрою керування, що забезпечує стабільність напруги на струмоприймачах поїздів. В якості стратегічного завдання управління розглядалося забезпечення оптимальних рівнів напруги на струмоприймачах

поїздів всієї ділянки. В якості тактичного завдання управління розглядався пошук закону зміни напруги на шинах суміжних тягових підстанцій, який би забезпечував нормований рівень напруги на струмоприймачах рухомого складу.

2.4 Методи енергозбереження, засновані на нормуванні витрат електроенергії

Наукові основи визначення норм питомих витрат електроенергії розроблялися ще в 30-40-х роках минулого століття багатьма вченими. Були вперше встановлені залежності між кількістю електроенергії і технологічними параметрами об'єкта, запропоновані енергетичні характеристики агрегатів і енергетичних об'єктів. Закладені основи наукового підходу до нормування паливно-енергетичних ресурсів, розроблена цілісна система класифікації норм, їх структуру, запропоновані одиниці виміру обсягів виробництва.

Разом перераховані вище підходи базувалися на уявленні енергоспоживання як детермінованого процесу. Однак, з практики експлуатації електричних мереж, і особливо тягових мереж магістральних залізниць відомо, що на процес споживання енергії впливають багато внутрішні і зовнішні фактори, які в загальному випадку не можна описати детермінованими виразами. Тому цілком очевидним був перехід від детермінованих основ нормування споживання енергоресурсів до імовірнісних.

Сучасний стан проблем контролю за ефективністю енергоспоживання, нормування споживання енергетичних ресурсів в Україні системно показано в багатьох публікаціях. Система нормування споживання ПЕР ресурсів в Україні є недосконалою.

У відповідності з нормативними документами, регулюючими в Україні систему нормування ПЕР норми питомих витрат ПЕР повинні відповідати таким вимогам

1. Бути технічно та економічно обґрунтованими.

2. Враховувати конкретні умови виробництва, досягнення науково-технічного прогресу у відповідній галузі виробництва, плани заходів з енергозбереження, які намічені на відповідну перспективу.

3. Систематично переглядатися з урахуванням змін технічного стану устаткування, технології та організації виробництва, виробничих умов і т.д.

В цій же роботі систематизовано основні недоліки більшості методик по нормуванню споживання енергоресурсів:

1. Нормування питомих витрат електроенергії базується на побудові фактичних енергобалансів (відсутній процес нормалізації).

2. Розрахунок фактичних енергобалансів проводиться в умовах невизначеності вихідних даних.

3. Відсутня чітка і об'єктивна процедура контролю і аналізу виконання встановлених норм.

Одним з головних недоліків системи нормування ПЕР в Україні є той факт, що нормування питомих витрат ПЕР базується на спробах отримати баланс споживання електричної енергії відразу для всього підприємства або організації. Результати розрахунку такого енергобалансу намагаються максимально наблизити до фактичного середнього обсягу споживання електроенергії.

Нормування питомих витрат ПЕР в системі залізничного транспорту здійснюється на основі державних нормативних документів, номенклатурі витрат і галузевих методичних вказівок по нормуванню витрат ПЕР в різних підприємств залізничного транспорту. Необхідно відзначити великий внесок Поплавського А.Н. в розробку теоретичних основ нормування споживання ПЕР на підприємствах залізничного транспорту.

Нормування питомих витрат ПЕР на підприємствах залізничного транспорту України здійснюється з метою забезпечення раціонального їх використання, є основою економічного механізму енергозбереження. Також нормування використовується для прогнозування обсягів споживання ПЕР на підприємствах, залізницях, і в цілому по Укрзалізниці. При нормуванні витрат електроенергії для служби колії враховувалися лише дистанції колії і не

враховувалися, наприклад, дистанції лісонасаджень, шляхові машинні станції. При плануванні витрат електроенергії на експлуатаційні потреби використовувалися емпіричні формули, що враховують географічну широту. Для старих залізниць може бути це і було доцільно, але для залізниць України це стало незручно. Всі залізниці України розташовані від 480 до 520 географічної широти. За роки незалежності України змінився характер сезонності роботи залізниць в цілому. Ефективність використання електроенергії в стаціонарних господарствах Укрзалізниці, порівняно з нормою року, який розглядається, оцінюється її економією (-) або перевитратою (+) у відсотках і визначається за формулою (2.3)

$$e_c = \frac{100}{W_{\text{с}_\Sigma}}\left(W_{\text{сч с}_\Sigma} - W_{\text{с}_\Sigma} - W_{\text{стор}} - W_{\text{нd}}\right), \tag{2.3}$$

де $W_{\text{с}_\Sigma}$ - витрата електроенергії за нормою стаціонарними споживачами всіх залізниць, кВт • год;

$W_{\text{сч с}_\Sigma}$ - фактична загальна витрата електроенергії всіма стаціонарними споживачами всіх залізниць, кВт • год;

$W_{\text{стор}}$ - витрата електроенергії всіма залізницями для сторонніх споживачів, кВт • год;

$W_{\text{нd}}$ - витрата електроенергії споживачами всіх залізниць, які не входять в систему залізничного транспорту, кВт • год

Зниження (-) або збільшення (+) питомої витрати електроенергії, порівняно з попереднім або базисним роком, визначають за формулою з урахуванням змін ступеня технічної оснащеності стаціонарного господарства залізниць:

$$\Delta W = \frac{100}{\omega_{\text{с поп}}}\left(\omega_{\text{с роз}}\frac{k_{\text{м поп}}}{k_{\text{м роз}}} - \omega_{\text{с поп}}\right), \tag{2.4}$$

де $\omega_{\text{с поп}}$ и $\omega_{\text{с роз}}$ – питомі витрати електроенергії для стаціонарних споживачів

залізниць за попередній або базисний рік і рік, який розглядається, кВт·год/10^4 ткм бруто;

$k_{\text{м поп}}$ і $k_{\text{м роз}}$ – коефіцієнти, що враховують вплив рівня технічної оснащеності стаціонарного господарства залізниці на зміну питомої витрати електроенергії відповідно в попередньому або базисному році та році, який розглядається.

3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

3.1 Обґрунтування можливості використання методу аналізу ієрархій під час вибору альтернативних варіантів з енергозбереження

В процесі розроблення проектів з енергозбереження здійснюється оцінка та порівняння альтернативних варіантів (можливостей впровадження енергозберігаючих заходів) за показниками, прийнятими як критерії оптимальності вибору. На сьогоднішній день такими критеріями є економічні: термін окупності, прибуток від реалізації енергозберігаючих заходів, чистий дисконтований прибуток, внутрішня норма рентабельності, приведені витрати та ін.

Вибір економічних критеріїв як критеріїв оптимального вибору не завжди є обґрунтованим. В наш час, наприклад, дуже актуальними стали питання екології та якості продукції. Також не мале значення при виборі обладнання мають такі критерії, як маса, габарити, естетичний вигляд, ергономічні показники. І якщо екологічні показники якості продукції ще можливо виразити через економічні (наприклад, чим менше викидів робить запропоноване енергозберігаюче обладнання, тим менша частка прибутку підприємства витрачається на сплату податків за забруднення довкілля), то такі показники як маса, габарити, естетичний вигляд навряд чи можливо виразити через економічні.

Економічні показники для промислових підприємств є важливим фактором, але не єдиним.

Нині використовується новий підхід до здійснення вибору енергозберігаючих заходів, який дозволяє врахувати всі можливі критерії вибору. У даному підході пропонується здійснювати вибір енергозберігаючих заходів у дві стадії. На першій стадії спеціалісти-експерти на основі практичного досвіду виділяють декілька найбільш раціональних варіантів, серед яких, на їх думку, знаходиться найкращий, а також критерії, за якими дані варіанти будуть порівнюватися. На другій стадії проводиться детальна оцінка виділених варіантів, у

результаті якої визначається найкращий варіант. Для детальної оцінки виділених варіантів застосовується метод аналізу ієрархій (MAI), запропонований Т. Сааті.

Метод аналізу ієрархій полягає в декомпозиції задачі вибору і базується на парних порівняннях. Для порівняння об'єктів в MAI використовується шкала відносної важливості (таблиця 3.1), що є досить ефективною.

Таблиця 3.1 - Шкала відносної важливості

Відносна важливість	Визначення	Пояснення
1	Однакова важливість	Однаковий внесок двох видів діяльності в досягненні мети
3	Помірна перевага одного над іншим	Досвід дає легку перевагу одному виду діяльності над іншим
5	Суттєва або сильна перевага	Досвід дає сильну перевагу одному виду діяльності над іншим
7	Значна перевага	Одному виду діяльності надається настільки сильна перевага, що вона стає практично значною
9	Дуже сильна перевага	Очевидність переваги одного виду діяльності над іншим підтверджується найбільш сильно
2, 4, 6, 8	Проміжні рішення між двома сусідніми висновками	Застосовується в компромісному випадку
Обернені величини чисел, наведених вище	Якщо при порівнянні одного виду діяльності з іншим одержано одне із згаданих вище чисел, то при порівнянні іншого виду діяльності з першим одержимо обернену величину	

4.2 Алгоритм методу аналізу ієрархій

Алгоритм MAI складається з таких етапів.

Етап1. Визначається мета аналізу (вибір енергозберігаючого обладнання, технологій тощо).

Етап 2. Будується ієрархія аналізу, починаючи з вершини (мети) через проміжні рівні (характеристики обладнання, що обрані як критерії $K_1, K_2, ..., K_N$) до найнижчого рівня (перелік альтернативних варіантів $A_1, A_2, ..., A_S$).

Етап 3. На основі проведення експертних оцінок з використанням шкали відносної важливості будуються матриці парних порівнянь для кожного з нижніх рівнів. На даному етапі для одержання кожної матриці потрібно $\frac{n(n-1)}{2}$ суджень (де n - кількість порівнюваних об'єктів (критеріїв, варіантів)). При заповненні таблиці 3.2 слід враховувати, що

$$a_{lk} = \frac{1}{a_{kl}},\ a_{kk} = 1.$$

Таблиця 3.2 - Матриця парних порівнянь для визначених вище критеріїв

		Критерій								Середнє значення, b_i	Вектор пріоритетів, X_i
		K_1	K_2	…	K_k	…	K_m	…	K_n		
Критерій	K_1	1	a_{12}	…	a_{1k}	…	a_{1m}	…	a_{1n}	b_1	X_1
	K_2	a_{21}	1	…	…	…	…	…	…	b_2	X_2
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	K_k	a_{k1}	a_{k2}	…	1	…	a_{km}	…	a_{kn}	b_k	X_k
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	K_m	a_{m1}	a_{m2}	…	a_{mk}	…	1	…	a_{mn}	b_m	X_m
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	K_n	a_{n1}	a_{n2}	…	a_{nk}	…	a_{nm}	…	1	b_n	X_n
Сума по стовпцях		Y_1	Y_2	…	Y_k	…	Y_m	…	Y_n	$\sum_{i=1}^{n} b_i$	1,00

Етап 4. Обчислюються компоненти власного вектора X_i, Y_j та величина власного вектора λ_{max}.

Для визначення векторів пріоритетів X_i спочатку розраховують величини геометричних середніх по рядках матриці парних порівнянь b_i.У загальному випадку величина середнього геометричного визначається за формулою

$$b_i = \sqrt[n]{a_{i1}a_{i2}...a_{in}}, \tag{3.1}$$

де b_i - середнє геометричне i-го рядка матриці парних порівнянь;

a_{in} - n-й член i-го рядка матриці парних порівнянь;

n - кількість порівнюваних об'єктів (критеріїв, варіантів).

Визначаємо вектори пріоритетів по рядках матриці парних порівнянь. У загальному випадку величина вектора пріоритетів визначається за формулою:

$$X_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^{n} b_i}. \tag{3.2}$$

Визначаємо значення сум членів по стовпцях матриці парних порівнянь:

$$Y_j = \sum_{i=1}^{n} a_{ij}, \tag{3.3}$$

де a_{ij} - i-й член j-го рядка матриці парних порівнянь.

Визначаємо значення власного вектора матриці парних порівнянь. У загальному випадку величина власного вектора визначається за формулою

$$\lambda_{\max} = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{n} X_i Y_j, \tag{3.4}$$

де $\lambda_{\max}$ – величина власного вектора матриці парних порівнянь;

Y_j – сума членів j-го стовпця матриці парних порівнянь.

При $\lambda_{\max} > n$ можна продовжувати розрахунок.

Етап 5. Після проведення всіх парних порівнянь і одержання значень власних векторів матриць парних порівнянь можна визначити узгодженість матриць. Для цього розраховується індекс узгодженості (ІУ), який потім порівнюється з відповідною середньою узгодженістю (СУ) і одержуємо відношення узгодженості (ВУ). Слід зазначити, що прийнятним є ВУ не більш 10 %. Інакше необхідно зробити переоцінку відповідної матриці (повернутися до етапу 3).

Таблиця 3.3 – Середня узгодженість

Розмір матриці (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Середня узгодженість	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Величина індексу узгодженості у загальному випадку визначається за виразом

$$ІУ = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)}. \tag{3.5}$$

Величина відношення узгодженості визначається за виразом

$$ВУ = \frac{ІУ}{СУ}, \tag{3.6}$$

де $ІУ$ – індекс узгодженості;

$СУ$ – середня узгодженість.

Етап 6. Здійснюється порівняння альтернатив окремо по кожному з критеріїв. Етапи 3, 4 і 5 проводяться для всіх критеріїв складаються матриці парних порівнянь альтернатив окремо по кожному з критеріїв і виконуються розрахунки за виразами (3.1) - (3.6). При цьому розмір матриці n буде дорівнювати кількості порівнюваних альтернатив.

Етап 7. Для того щоб отримати ранжируваний результат по порівнюваних альтернативах, будується матриця векторів глобальних пріоритетів (табл. 3.4). За

величинами цих векторів можна буде здійснити ранжирування альтернатив за визначеними критеріями.

Таблиця 3.4 – Величини векторів глобальних пріоритетів порівнювальних альтернатив

		Критерій								Глобальний пріоритет
		K_1	K_2	…	K_k	…	K_m	…	K_n	
X_i		X_1	X_2	…	X_k	…	X_m	…	X_n	
Альтернативи	A_1	x_{11}	x_{12}	…	x_{1k}	…	x_{1m}	…	x_{1n}	S_{A1}
	A_2	x_{21}	x_{22}	…	x_{2k}	…	x_{2m}	…	x_{2n}	S_{A2}
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	A_S	x_{S1}	x_{S2}	…	x_{Sk}	…	x_{Sm}	…	x_{Sn}	S_{AS}

В таблиці 3.4 $x_{11}, x_{21}, ..., x_{Sn}$ – вектори пріоритетів, отримані при порівнянні альтернатив $A_1, A_2, ..., A_S$ окремо по кожному з критеріїв $K_1, K_2, ..., K_n$

Величина вектора глобального пріоритету альтернативи A_j визначається за виразом

$$S_{A_j} = \sum_{i=1}^{n} X_i x_{ji}, \tag{3.7}$$

де X_i – вектори пріоритетів, отримані при парному порівнянні критеріїв;

x_{ji} – вектори пріоритетів, отримані при порівнянні альтернативи A_j окремо по кожному з критеріїв $K_1, K_2, ..., K_n$.

Результат обирається на підставі значення компонентів вектора глобальних пріоритетів, що має максимальну величину.

4.3 Вибір гідродинамічного нагрівача ТЕК з електронасосним агрегатом на основі МАІ

ТЕК – це нагрівач нового типу, який не має аналогів в світі, нагрівання рідини в ньому здійснюється без нагрівальних елементів, за рахунок перетворення

енергії руху рідини в теплову. Нагрівач ефективний як для опалення приміщень, так і для нагрівання води в системах гарячого водопостачання.

В основу нагріву покладена енергія, яка виділяється при зіткненні потоків рідини в спеціальному змішувачі. Розгін рідини здійснюється за допомогою насоса. Для передачі тепла нагрівач з'єднується за допомогою вхідного і вихідного вентилів з будь-яким зовнішнім контуром споживання. Для автоматизації процесу нагріву і захисту нагрівача використовується блок автоматичного управління.

ТЕК швидко і ефективно нагріває воду або іншу рідину і самостійно здійснює її подачу в систему опалення, гарячого водопостачання, на бойлер і ін

Використання ТЕК дозволяє оптимізувати роботу системи нагріву і звести витрати до мінімуму за рахунок раціонального використання кожної калорії.

Коефіцієнт корисної дії гідродинамічного нагрівача ТЕК - 85-92%.

Безпека і екологічна чистота. Завдяки відсутності конвективних поверхонь нагріву гідродинамічний нагрівач ТЕК абсолютно вибухо -і пожежобезпечний. Використання гідродинамічного нагрівача не призводить до забруднення навколишнього середовища, оскільки не пов'язане з використанням будь-якого виду палива. В даний час проводиться чотири типи гідродинамічних нагрівачів ТЕК з електронасосними агрегатами. Класифікація типів ТЕК представлена в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. - Класифікація ТЕК

Параметр	ТЕК-1	ТЕК-2	ТЕК-3	ТЕК-4
Опалювальний об'єм, $м^3$	до 450	900	1350	2700
Обсяг води, що нагрівається за годину на ΔТ=40°С, $м^3$	до 0,14	0,22	0,44	0,9
Теплопродуктивність, ккал/год	5600	12000	17600	36000
Потужність електродвигуна, кВт	7,5	15	22	45
Габаритні розміри (з монтажною рамою), мм	1150*530*1050	1400*650*1250	1420*650*1350	1500*650*1400
Вага нагрівача (з монтажною рамою), кг	220	400	450	550

Загальний вид ТЕК представлений на рис 3.1

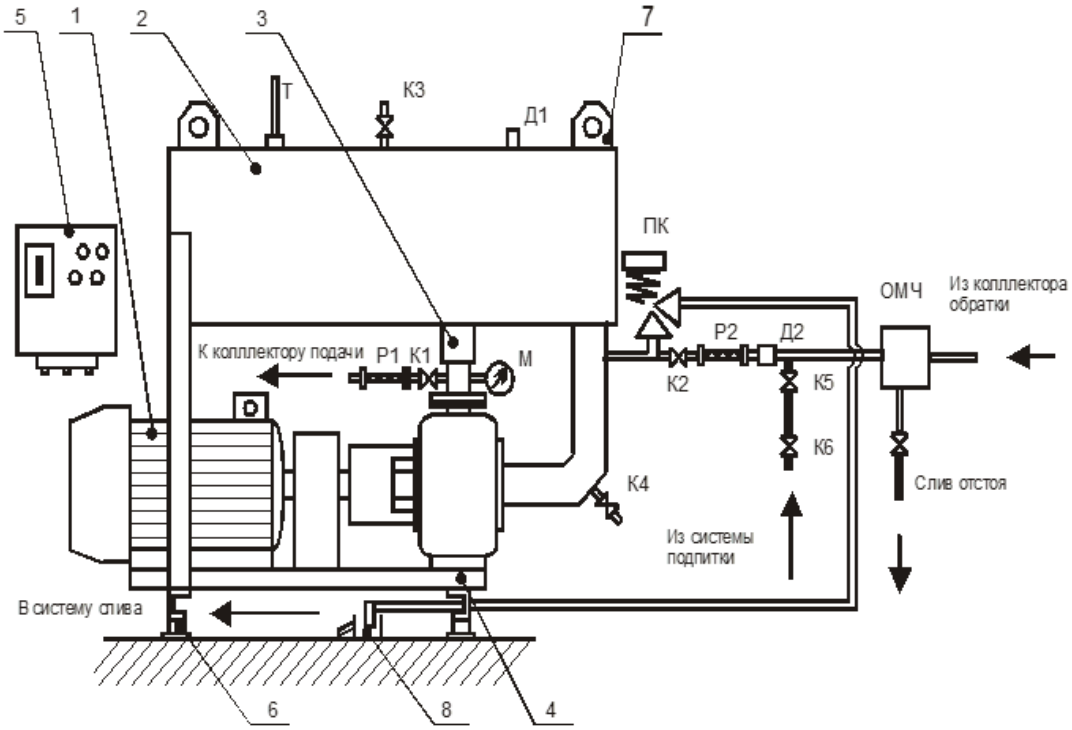


Рисунок. 3.1 – Загальний вид ПЕК

На рис. 3.1 прийняті наступні позначення: 1 - електронасосний агрегат; 2 - резервуар; 3 - апарат нагрівання; 4 - рама; 5 - блок управління; 6 - амортизатор; 7 - косинки для стропування; 8 - пристрій для збору витоків з ущільнення; К1 - кран напірного патрубка; К2 - кран всмоктуючого патрубка (обратки); К3 - кран випуску повітря з резервуару; К4 - кран зливу води; К5 - зворотний кран підживлення; К6 - запірний вентиль підживлення; Д1 - датчик граничної температури; Д2 - датчик робочої температури; Р1, Р2 - гнучкі рукави; ПК - запобіжний клапан.

За допомогою програми 1С був проведений вибір гідродинамічного нагрівача типу ТЕК

Метод анализу ієрархій для прийняття рішень

Мета
Вибір гідродинамічного нагрівача ТЕК з електронасосним агрегатом

Критерії та їх порівняння

вага нагрівача	< 3	габаритні розміри
вага нагрівача	<<< 7	обсяг води, що нагрівається за годину
вага нагрівача	<<<< 9	опалювальний обєм
вага нагрівача	<<<< 9	потужність електродвигуна
вага нагрівача	<<< 7	теплопродуктивність
габаритні розміри	<<< 7	обсяг води, що нагрівається за годину
габаритні розміри	<<< 7	опалювальний обєм
габаритні розміри	<<< 7	потужність електродвигуна
габаритні розміри	<< 5	теплопродуктивність
обсяг води, що нагрівається за годину	< 2	опалювальний обєм
обсяг води, що нагрівається за годину	< 3	потужність електродвигуна
обсяг води, що нагрівається за годину	<< 4	теплопродуктивність
опалювальний обєм	=	потужність електродвигуна
опалювальний обєм	=	теплопродуктивність
потужність електродвигуна	=	теплопродуктивність

Варіанти та їх порівняння

вага нагрівача	ТЕК-1	< 3	ТЕК-2
вага нагрівача	ТЕК-1	<< 5	ТЕК-3
вага нагрівача	ТЕК-1	<<< 7	ТЕК-4
вага нагрівача	ТЕК-2	< 2	ТЕК-3
вага нагрівача	ТЕК-2	< 3	ТЕК-4
вага нагрівача	ТЕК-3	< 2	ТЕК-4
габаритні розміри	ТЕК-1	<< 4	ТЕК-2
габаритні розміри	ТЕК-1	<< 5	ТЕК-3
габаритні розміри	ТЕК-1	<<<< 8	ТЕК-4
габаритні розміри	ТЕК-2	< 2	ТЕК-3
габаритні розміри	ТЕК-2	<<< 6	ТЕК-4
габаритні розміри	ТЕК-3	<< 4	ТЕК-4
обсяг води, що нагрівається за годину	ТЕК-1	< 2	ТЕК-2
обсяг води, що нагрівається за годину	ТЕК-1	< 3	ТЕК-3
обсяг води, що нагрівається за годину	ТЕК-1	<< 5	ТЕК-4
обсяг води, що нагрівається за годину	ТЕК-2	< 3	ТЕК-3
обсяг води, що нагрівається за годину	ТЕК-2	<<< 7	ТЕК-4

обсяг води, що нагрівається за годину	ТЕК-3	<< 5	ТЕК-4
опалювальний обєм	ТЕК-1	< 3	ТЕК-2
опалювальний обєм	ТЕК-1	<< 4	ТЕК-3
опалювальний обєм	ТЕК-1	<<<< 9	ТЕК-4
опалювальний обєм	ТЕК-2	<< 4	ТЕК-3
опалювальний обєм	ТЕК-2	<<< 6	ТЕК-4
опалювальний обєм	ТЕК-3	<<< 6	ТЕК-4
потужність електродвигуна	ТЕК-1	< 2	ТЕК-2
потужність електродвигуна	ТЕК-1	<< 4	ТЕК-3
потужність електродвигуна	ТЕК-1	<<< 6	ТЕК-4
потужність електродвигуна	ТЕК-2	< 3	ТЕК-3
потужність електродвигуна	ТЕК-2	<< 5	ТЕК-4
потужність електродвигуна	ТЕК-3	< 3	ТЕК-4
теплопродуктивність	ТЕК-1	<< 4	ТЕК-2
теплопродуктивність	ТЕК-1	<< 4	ТЕК-3
теплопродуктивність	ТЕК-1	<<< 6	ТЕК-4
теплопродуктивність	ТЕК-2	< 2	ТЕК-3
теплопродуктивність	ТЕК-2	<< 5	ТЕК-4
теплопродуктивність	ТЕК-3	< 3	ТЕК-4

Узгодженість суджень

Число (відношення узгодженості) показує ступінь несуперечності суджень, для значень більше 0,2 необхідно переглянути порівняння

Порівняння критеріїв	**0,04**	добре
Порівняння варіантів по критерію "вага нагрівача"	**0,01**	добре
Порівняння варіантів по критерію "габаритні розміри"	**0,06**	добре
Порівняння варіантів по критерію "обсяг води, що нагрівається за годину"	**0,08**	добре
Порівняння варіантів по критерію "опалювальний обєм"	**0,12**	задовільно
Порівняння варіантів по критерію "потужність електродвигуна"	**0,03**	добре
Порівняння варіантів по критерію "теплопродуктивність"	**0,05**	добре

Результати розрахунку

Критерії	вага нагрівача	габаритні розміри	обсяг води, що нагрівається за годину	опалювальний обєм	потужність електродвигуна	теплопродуктивність	Глобальні пріорітети
Варіанти	0,024	0,040	0,131	0,260	0,279	0,265	
ТЕК-1	0,060	0,047	0,074	0,048	0,069	0,058	**0,060**
ТЕК-2	0,162	0,126	0,096	0,093	0,110	0,145	**0,115**
ТЕК-3	0,288	0,209	0,200	0,199	0,258	0,234	**0,227**
ТЕК-4	0,490	0,618	0,629	0,660	0,562	0,563	**0,597**

Висновок

Кращий вибір з урахуванням заданих суджень -
варіант "ТЕК-4" з максимальним значенням глобального пріоритету (0,597)

ВИСНОВКИ

В даній роботі були розглянуті та описані особливості системи енергетичного менеджменту. Досліджено вибір енергозберігаючих заходів. Проведений вибір та аргументація методів з енергозбереження на основі методу аналізу ієрархій.

Використання системи EnM в Україні диктується не тільки постановами, указами і законами, які затверджуються Президентом і Верховною радою, але й здоровим глуздом, який повинен бути присутнім у кожного бережного господаря.

Опалюючи атмосферу, збільшуючи викиди CO2, буде з кожним днем все дорожче. В Євросоюзі, існує стандарт ISO 5001, який регламентує впровадження системи EnM в адміністративних закладах і на підприємствах. В ЄС всіляко стимулюють цей процес.

Згідно міжнародного та вітчизняного досвіду впровадження системи EnM дозволяє знизити витрати на енергоносії від 10 до 20%, за рахунок оперативних можливостей енергоменеджера, який управляє споживанням енергоресурсів, оптимізацією існуючих фінансових витрат на енергоносії, створенням сприятливих умов для інвестування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кабінет міністрів України постанова Про впровадження систем енергетичного менеджменту від 23 грудня 2021 р. № 1460 Київ URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1460-2021-п
2. Красностанова Н.Е. Шляхи впровадження енергетичного менеджменту на підприємствах України. Київський економічний науковий журнал. 2024 № 6, с 70-77.
3. Ажаман І. А., Хабіб Алі, Пущіна Н. В. Світовий досвід розвитку системи енергетичного менедж- менту та перспективи його впровадження в Україні. Журнал стратегічних економічних досліджень. 2023. № 1. С. 73–91.
4. Енергетична стратегія України до 2050 р. URL: https://www.aes-ukraine.com/documents/5390.html
5. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Загальні ви- моги: ДСТ4472:2008. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 20 с.
6. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Праховнік А. К. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлюваних джерел енергії. Аналітична записка БАУ. 2015. № 13. 35 с.
7. Данілкова А. Ю. Механізм впровадження системи енергетичного менеджменту на промислових під- приємствах. Науковий вісник Ужгородського національного університету. 2016. Випуск 8. Части- на 1. С. 59–61.
8. Дрожжин Д. Ю. Механізм державного регулювання енергоефективності в Україні. Державне будів- ництво. 2012. № 2. С. 156–162.
9. Закон України «Про енергозбереження» від 21.10.2021 № 1818-IX. URL: http//zakon.rada.gov.ua/go/74/94
10. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 № 818-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/ laws/show/1818-20#Text

11. Запащук Л. В. Енергозбереження як напрям підвищення ефективності виробничої діяльності. Еко- номіка і суспільство. 2017. Випуск № 9. С. 429–433.
12. Заяць А. Енергетичний менеджмент: практичний посібник з керування енергією. Київ: Видавництво «Yakaboo Publishing», 2023. 224 с.
13. Шашко В.О Впровадження системи енергетичного менеджменту на основі стандарту ISO 50001 для підвищення енергетичної ефективності промислових підприємств ЕКОНОМІКА І СУСПІЛЬСТВО Випуск # 8 / 2017 с 398-404
14. Сергєєв М.Н. Методологічні аспекти енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності промислових підприємств: [монографія] / М.Н. Сергєєв. – Іжевськ: вид-во «Удмуртський університет», 2013. – 116 с.
15. Денисюк С.П. Теоретичні основи побудови систем енергетичного менеджменту в Україні / С.П. Денисюк, О.В. Бориченко // Енергетика. – 2015. – № 1. – С. 7–17. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2015_1_3. 3
16. . Проект «Енергетичної Стратегії України на період до 2035 року» – К., 2014. – 41 с. [Електронний ресурс].– Режим доступу: http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_nauk_an_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf.
17. ДСТУ 4472:2005 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги».
18. Осадчиєв О.О. Практика впровадження сучасних стандартів енергоменеджменту та підготовка до застосування ISO 50001 / А.А. Осадчий // Сертифікація. – 2012. – № 1. – С. 12–16.
19. Іншеков Є.М. Методологія ISO щодо розробки та розвитку стандартів з енергетичного менеджменту (серія стандартів ISO 50000) / Є.М. Іншеков, Д.Ю. Жуков // Енергетика. – 2014. – № 2. – С. 117–126.

20. Енергоменеджмент на Україні: початок нового шляху // Електрик: міжнародний електротехнічний журнал. – 2012. – № 1/2. – С. 36–38.
21. Копитко М.І. Особливості організації процесу енергоменеджменту на промислових підприємствах з позиції стабілізації рівня економічної безпеки / М.І. Копитко // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. – 2012. – Вип. 10. – С. 512–516.
22. Удосконалення механізму впровадження директиви 2012/27/EU про енергоефективність шляхом адаптації міжнародних стандартів з енергоменеджменту на національному рівні / [В.П. Розен, І.С. Соколовська, Є.М. Іншеков, І.І. Стоянова] // Проблеми загальної енергетики. – 2015. – Вип. 4. – С. 52–57. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2015_4_9.
23. Оцінка потенціалу і тактика підвищення електроенергоефективності підземних залізорудних виробництв / [О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, Е.С. Гузов, О.Н. Ялова, М.О. Бауліна] // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2014. – № 3 (4). – С. 34–39.
24. Логутова Т.Г. Деякі аспекти розвитку та становлення енергетичного менеджменту в Україні / Т.Г. Логутова, О.В. Полторацька // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Економічні науки. – 2011. – Вип. 21. – С. 15–22. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ VPDTU_ek_2011_21_5.