

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними та економічними процесами

Інтелектуальні системи енергопостачання

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: Вибір та обґрунтування заходів з енергозбереження локомотивного депо на основі методу аналізу ієрархій
за освітньою програмою Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті
зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав: студент групи ЕЕ2426:



/ Віталій РОГОВСЬКИЙ /

Керівник:



/ доцент Тетяна ДРУБЕЦЬКА /

Нормоконтролер:



/ доцент Ірина ПОТАПЧУК /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Energy and economic process management

Intellectual power supply systems

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: Selection and justification of energy saving measures for a locomotive depot based on the hierarchy analysis method

according to educational curriculum Energy and electromechanical systems in transport

in the Speciality: 141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics

Done by the student of the group EE2426: / Vitaliy Rogovsky /

Scientific Supervisor: /Ass. Prof. Tetiana Drubetska /

Normative controller : / Ass. Prof. Iryna Potapchuk /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними та економічними процесами

Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання

Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)

Освітня програма: Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті

Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСЕ

_____ Дмитро БОСИЙ

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістр з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

студенту Роговському Віталію Олександровичу

1. Тема роботи: Вибір та обґрунтування заходів з енергозбереження локомотивного депо на основі методу аналізу ієрархій

Керівник роботи: Друбецька Тетяна Ігорівна, к.т.н., доцент

затверджені наказом від " 02 " 10 2025 р. № 1402ст

2. Строк подання студентом роботи: 09.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

звіт з енергетичного обстеження депо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Сучасний стан питання енергозбереження на залізницях України

4.2 Енергетичне обстеження депо

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Модель енергозберігаючих заходів, 2. Виробничі потужності підприємства, 3. Можливості енергозбереження на підприємстві, 4. Загальне фактичне споживання ПЕР на підприємстві, 5. Метод аналізу ієрархій для прийняття рішень.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Сучасний стан питання енергозбереження на залізницях України	14.11.2024	
2	Енергетичне обстеження депо	12.12.2024	
3	Вибір та обґрунтування заходів з енергозбереження на основі методу аналізу ієрархій	09.01.2025	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	12.01.2025	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	20.01.2025	

Студент Віталій РОГОВСЬКИЙ _____

Керівник роботи Тетяна ДРУБЕЦЬКА _____

ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

другого (магістерського) рівня вищої освіти Роговського В.О. на тему:
«Вибір та обґрунтування заходів з енергозбереження локомотивного депо на
основі методу аналізу ієрархій»

Складова кваліфікаційної роботи	Кількість	Обсяг
Пояснювальна записка	1	62 стор.
Графічна частина (за наявності)	-	-
Демонстраційний матеріал	1	10 слайдів
Електронна частина (за наявності): назва файлу з розширенням	-	-

Керівник: _____ / Тетяна ДРУБЕЦЬКА /

Нормоконтролер: _____ / Ірина ПОТАПЧУК /

Завідувач кафедри ІСЕ: _____ / Дмитро БОСІЙ /

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 62 сторінки, 3 частини, 8 рисунків, 12 таблиць, 15 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – локомотивне депо.

Мета роботи – вибір та обґрунтування заходів з енергозбереження локомотивного депо на основі методу аналізу ієрархій.

Методи дослідження. Основні теоретичні положення магістерської роботи отримані за допомогою методу аналізу ієрархій.

Одержані результати:

- описано сучасний стан питання енергозбереження на залізницях України,
- проведено енергетичне обстеження депо,
- проведено вибір та обґрунтування заходів з енергозбереження на основі методу аналізу ієрархій.

Ключові слова: ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ДЕПО, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ, МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, ЛІЧИЛЬНИКИ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ	10
1.1 Основні відомості	10
1.2 Модель роботи системи електропостачання тяги поїздів	11
1.3 Особливості реалізації енергозберігаючих заходів на залізничному транспорті в сучасних умовах.....	15
1.4 Методи енергозбереження на етапі проектування систем тягового електропостачання	23
1.5 Методи розрахунку систем електропостачання тяги поїздів.....	25
1.6 Енергозбереження за рахунок застосування раціональних режимів систем електропостачання тяги поїздів постійного струму	26
1.7 Методи енергозбереження, засновані на нормуванні витрат електроенергії	35
2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ДЕПО	39
3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ	49
3.1 Обґрунтування можливості використання методу аналізу ієрархій під час вибору альтернативних варіантів з енергозбереження	49
3.2 Алгоритм методу аналізу ієрархій	50
3.3 Вибір гідродинамічного нагрівача тек з електронасосним агрегатом на основі МАІ	54
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60

02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ													
Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата									
Розробник		Роговський В.О.											
Консульт													
Керівник		Друбецька Т.І.											
Н.контр		Потапчук І.Ю.											
Зав.каф		Босий Д.О.											
Вибір та обґрунтування заходів з енергозбереження локомотивного депо на основі методу аналізу ієрархій													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Літера</td> <td style="width: 25%;">Аркцш</td> <td style="width: 50%;">Аркцшів</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">М</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">63</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">МОНУ, УДУНТ, ІСЕ, гр. EE2426</td> </tr> </table>					Літера	Аркцш	Аркцшів	М	7	63	МОНУ, УДУНТ, ІСЕ, гр. EE2426		
Літера	Аркцш	Аркцшів											
М	7	63											
МОНУ, УДУНТ, ІСЕ, гр. EE2426													

ВСТУП

Актуальність роботи. Енергозбереження є одним з ключових напрямів розвитку залізничного транспорту України. Укрзалізниця входить до переліку найбільших промислових споживачів електроенергії в країні, тому підвищення енергоефективності має значний економічний, технологічний та екологічний ефект. Сучасний стан проблеми енергозбереження формується під впливом декількох факторів: високого рівня зношеності рухомого складу, застарілих систем тяги, недосконалого технічного обліку енергоресурсів, а також потреби інтеграції сучасних цифрових рішень.

Однією з головних проблем є високий рівень енерговитрат на тягу поїздів. Більша частина електровозів та електропоїздів, які перебувають в експлуатації, була виготовлена ще у 1970–1990-х роках і відзначається низькою ефективністю електричних та механічних систем.

Проблемою залишається і стан тягових підстанцій. Частина з них використовує застаріле обладнання, що має низький ККД, підвищені втрати в трансформаторах та комутаційній апаратурі. Впровадження сучасних перетворювальних комплексів, автоматизованих систем компенсації реактивної потужності та цифрових систем керування дозволило б зменшити втрати енергії та оптимізувати режим роботи мереж.

Ще одним важливим аспектом є недостатній рівень впровадження систем енергомоніторингу. Відсутність точних даних про споживання енергоресурсів у реальному часі ускладнює аналіз ефективності роботи. Сучасні системи енергетичного менеджменту, що широко застосовуються у європейських залізничних компаніях, дозволяють вимірювати витрати енергії по кожному локомотиву та кожній ділянці колії, аналізувати режими руху, виявляти нераціональні витрати та надавати рекомендації машиністам. Важливим напрямом залишається навчання персоналу.

Станом на сьогодні Укрзалізниця реалізує програми модернізації локомотивного парку, оновлення електророзподільних пристроїв та

									Арк.
									8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ				

встановлення сучасних приладів обліку. Триває впровадження енергетичного менеджменту відповідно до стандарту ISO 50001, а також створюються цифрові платформи для аналізу споживання енергії. Проте

Зв'язок роботи з науковими напрямками діяльності кафедри. Обране дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт в Українському державному університеті науки та технологій.

Мета та задачі дослідження. Вибір та обґрунтування заходів з енергозбереження локомотивного депо на основі методу аналізу ієрархій.

Об'єкт дослідження – локомотивне депо.

Предмет дослідження – енергетичні показники локомотивного депо.

Методи дослідження – для вирішення поставлених завдань у роботі використовувався метод аналізу ієрархій.

Наукова новизна одержаних результатів. Методика розрахунку енергетичних показників локомотивного депо.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Основні наукові положення, теоретичні дослідження, розрахунки, зіставлення та аналіз отриманих результатів, та формулювання висновків отримані здобувачем самостійно.

Апробація результатів роботи.

Основні положення роботи і результати досліджень доповідалися здобувачем і обговорювалися на науково-практичній конференції.

Публікації.

Роговський В.О. Сучасний стан проблеми енергозбереження на Укрзалізниці/ Матеріали 17-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених імені Георгія Кірпи «Сучасні транспортні технології», 4 грудня 2025 р. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2025. – с. 168

										Арк.
										9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ					

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

1.1 Основні відомості

Для живлення електричного котла застосовується трифазний змінний струм частотою 50 Гц., напругою 380 В. Живлення електричного котла проводиться з КТП розташованого поряд з будівлею ЕЧ і тяговою підстанцією. Для живлення електричного котла потужністю 67 кВт., використовується схема, представлена на рис 1.1

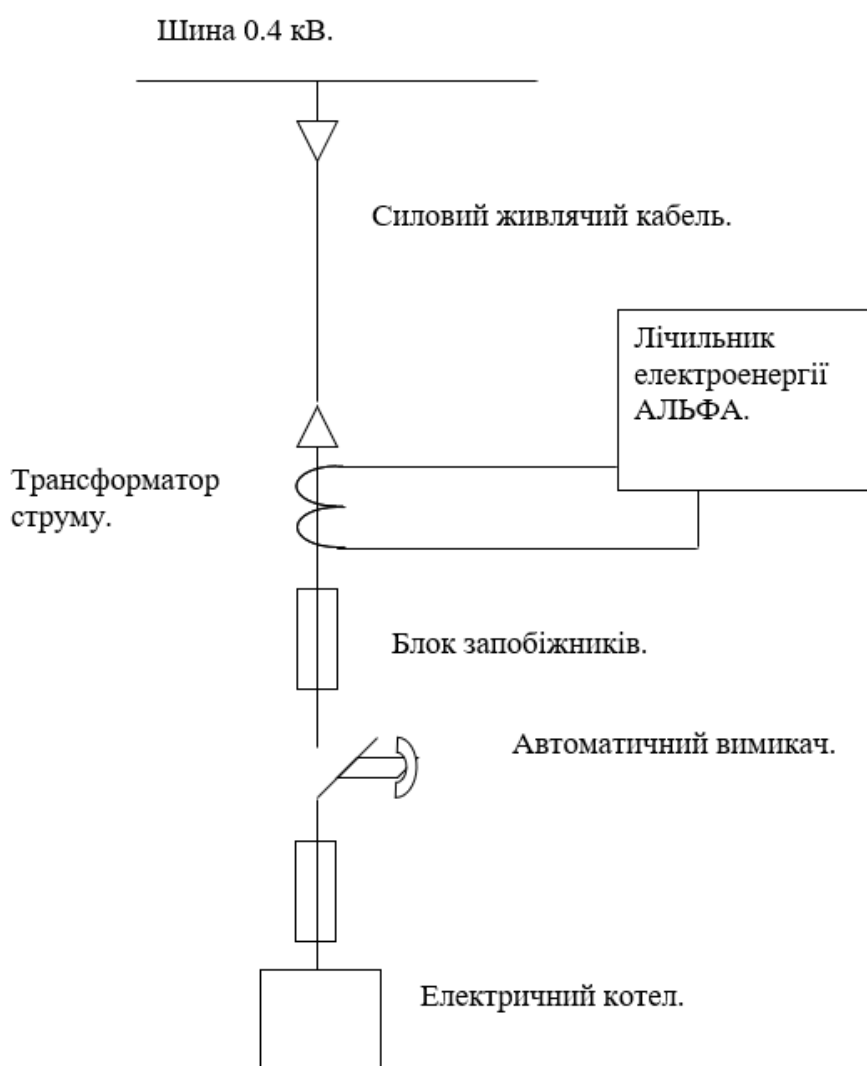


Рисунок 1.1 – Схема електроживлення котла

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕЕ2426-ЕС.КРМ.2026.ПЗ				10

енергозберігаючих технологій на залізничному транспорті доцільно використовувати укрупнену структуру втрат електроенергії, в якій втрати розділені на складові, виходячи з їх фізичної природи і специфіки методів визначення їх кількісних значень.

Виходячи з цього критерію фактичні втрати можуть бути розділені на наступні складові:

1) технічні втрати електроенергії, які з'являються внаслідок фізичних процесів при передачі електроенергії по електричних мережах. Частина електроенергії при передачі перетворюється в тепло;

2) витрата електроенергії (втрати) на власні потреби підстанцій, необхідні для роботи основного силового устаткування підстанцій і забезпечення роботи персоналу;

3) втрати електроенергії, зумовлені інструментальними похибками її вимірювання (інструментальні втрати);

4) комерційні втрати електроенергії, зумовлені розкраданнями електроенергії, невідповідністю показань лічильників оплати за електроенергію побутовими споживачами та іншими причинами в сфері організації контролю за споживанням енергії. Комерційні втрати не мають самостійного математичного опису і, як наслідок, не можуть бути розраховані автономно. Їх значення визначається як різниця між фактичними (звітними) втратами і сумою перших трьох складових.

5) умовні втрати електроенергії - це специфічний вид втрат електроенергії, викликаний недосконалістю системи обліку електроенергії на залізничному транспорті [29]. Це різниця між витратами електроенергії на тягу поїздів, виміряним за лічильниками, встановленими на локомотивах і витратою електроенергії на тягу за лічильниками, встановленими на тягових підстанціях. Такого виду втрат не існує в мережах енергопередавальних компаній. Тому даний вид втрат на нашу думку необхідно включити в окремий вид втрат [16,15];

б) додаткові втрати електроенергії, які викликані відхиленням показників

									Арк.
									13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ				

Однак це не є підставою вважати її корисним відпуском, під яким розуміють електроенергію, відпущену споживачам, а витрата електроенергії на власні потреби підстанцій є внутрішнім споживанням об'єкта. Крім того, при такому обґрунтуванні як аксіома передбачається, що витрата частини енергії в елементах мереж на доставку іншій її частині споживачам, на відміну від витрати на власні потреби підстанцій, не є корисною.

Суму технічних втрат, витрати електроенергії на власні потреби підстанцій і комерційних втрат (розкрадань) цілий ряд фахівців називають фізичними втратами електроенергії [7,6,7]. Ці складові дійсно пов'язані з фізикою розподілу енергії по мережі. При цьому перші дві складові фізичних втрат відносяться до технології передачі електроенергії мережами, а третя - до технології контролю кількості переданої електроенергії.

1.3 Особливості реалізації енергозберігаючих заходів на залізничному транспорті в сучасних умовах

Магістральні залізниці України є достатньо великим споживачем ПЕР. У загальному енергобалансі України Укрзалізниця займає 4-е місце. 48% залізничних ліній електрифіковано на постійному струмі, а 52% - змінному струмі. У 2020 році власне споживання електроенергії залізниць України в становило 5739,1 млн. кВт.год Тяговими підстанціями і районами електропостачання залізниці перероблені 12728,5 млн. кВт.год Переробка електроенергії електромережами залізниць стороннім залізничному транспорту споживачам склала 780,4 млн.кВт · год

У табл. 1.1 представлені основні показники електрифікованого залізничного транспорту України

Таблиця 1.1 - Основні показники електрифікованого залізничного транспорту України

№ п.п.	Показники	Одиниця виміру	Кількість
1	2	3	4
1	Експлуатаційна довжина ел. дільниць в т.ч. змінного струму 25 кВ 50 Гц	км	9877,09 5112,58

										Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕЕ2426-ЕС.КРМ.2026.ПЗ					15

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
2	Питома вага електрифікованих ліній від загальної довжини мереж	%	45,5
3	Питома вага електротяги в експлуатаційній роботі	%	89,7
4	Споживання електроенергії залізницями України в т.ч. на електротязі	млрд. кВт·год.	5,739 4,834
5	Питома вага залізниць в загальному споживанні України в т.ч. електротяга	%	3,9 3,0
6	Відпуск електроенергії стороннім споживачам	млрд.кВт.год.	6,561
7	Питома вага переробки електроенергії для сторонніх споживачів від загальної переробки	%	51,5
8	Собівартість 10 ткм вантажних перевезень 10 пас.км пасажирських перевезень	коп.	97,34 220,30
9	собівартість 10 ткм вантажних перевезень 10 пас.км пасажирських перевезень	кг у.т. на 10000 ткм.бр.	39,65 87,8
10	Питома витрата електроенергії на тягу	кВт.год. на 10000 ткм.бр.	122

Структура споживання електроенергії залізницями наступна:

- електротяга поїздів – 4 833,9 млн. кВт.год, що становить 84,2% від загального споживання;
- експлуатаційно-виробниче споживання – 858,5 млн. кВт · год або 15,0% від загального споживання;
- комунально-побутове споживання – 46,8 млн. кВт · год - 0,8% від загального споживання.

Вся витрата електроенергії для стаціонарних споживачів складається з двох частин – виробниче споживання по основній діяльності залізниць і комунально-побутове споживання.

Така структура відповідає чинній номенклатурі витрат коштів на основну діяльність залізниць по електроенергії. Згідно з інструкціями Міненерго України витрата електроенергії гуртожитків відноситься до групи «населення».

										Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.КРМ.2026.ПЗ					16

Витрата електроенергії для акціонерних підприємств відноситься до сторонніх залізничному транспорту споживачам.

Узагальнюючим показником ефективності використання електроенергії на залізничному транспорті є питома витрата електроенергії на одиницю продукції.

На залізничному транспорті успішно діяла «Програма енергозбереження на залізничному транспорті на період 1996-2010 р.р.» [3]. У даній галузевій програмі вказані напрямки економії електроенергії на залізничному транспорті, які враховують специфіку залізниць як споживача енергетичних ресурсів. Енергетична та економічна ефективність роботи систем електропостачання залізниць залежать від багатьох факторів. Серед них можна назвати:

- електрорухомий склад,
- організація руху поїздів,
- режими пристроїв електропостачання.

Дані складові взаємозалежні і взаємно впливають один на одного. Обсяг виконаної роботи на кожній залізниці характеризується виконаним вантажообігом і часом доставки вантажів. Перший показник залежить від числа поїздів і від їх маси. Характер зміни числа поїздів, їх маси, між поїзного інтервалу, а також тип електрорухомого складу, профіль ділянки в сукупності впливають на характер навантаження тягових підстанцій. Час доставки вантажів визначає потребу в рухомому складі, кількість потягів, які одночасно можуть перебувати на даній ділянці.

Головним резервом економії електроенергії на залізницях України на етапі експлуатації в даний час є застосування енергозберігаючих технологій. Енергетична складова в загальних експлуатаційних витратах Укрзалізниці складає досить велике число і досягає 20%. Тому економне та раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів має надзвичайно велике значення. Питання енергозбереження знайшли своє відображення і в прийнятій в Україні «Стратегії розвитку залізничного транспорту», де підкреслюється актуальність впровадження заходів, спрямованих на зниження питомих витрат

										Арк.
										17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ					

Реалії сьогодення такі, що при виборі енергозберігаючих заходів необхідно звертати увагу не тільки на показники енергетичної ефективності систем електропостачання тяги. На перше місце за важливістю виходять показники економічної ефективності. Лібералізація ринку електроенергії, реформування електроенергетики України корінним чином позначилося на залізничному транспорті. Залізниці України, як кваліфіковані споживачі електроенергії [1]отримали можливість вибирати оптимальний для себе варіант закупівлі електроенергії.

Таблиця 1.2. – Обсяги економії електроенергії за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів по господарству електропостачання

Міри	Од.вим.	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Організаційно-технічні заходи	млн.кВт.год	25,67	23,66	23,15	20,72	24,15	6,66	-	-	-	0,64
	млн.грн.	4,28	4,37	4,20	4,41	5,74	2,30	-	-	-	0,42
Програма енергозбереження	млн.кВт. год	2,43	11,24	15,20	13,00	17,56	43,85	16,63	13,77	7,02	6,97
	млн.грн.	0,68	1,85	2,80	2,16	4,07	12,14	5,46	7,20	4,70	4,4
Всього	млн.кВт. год	28,11	34,90	38,35	33,72	41,70	50,52	16,63	13,77	7,02	7,61
	млн.грн.	4,96	6,22	7,00	6,57	9,81	14,45	5,46	7,20	4,70	4,82

На всіх без винятку залізницях України ведеться плідна робота по закупівлі електроенергії, щодо закупівлі електроенергії з ОРЕ [17]. За минулий рік витрати залізниць на покупку активної електроенергії (в тому числі придбання електроенергії безпосередньо локомотивними службами Південно-Західної залізниці в постачальника за нерегульованим тарифом) склали 3638,35 млн.грн. без ПДВ (з ПДВ - 4366,0 млн.грн.), що на 688,95 млн.грн. більше, ніж у минулому році. Придбано у постачальників за регульованим тарифом

(обленерго) 229,6 млн.кВт.ч. активної електроенергії на суму 96,85 млн.грн. без ПДВ. Зазначено, що основою енергетичної безпеки Укрзалізниці може бути тільки чітка державна вертикаль управління енергетичними ресурсами.

Зростання оптової ринкової ціни на електроенергію простежується протягом декількох років.

Необхідно наголосити, що незважаючи на значну роботу, яка виконана на шляху енергозбереження в системах тягового електропостачання, не всі резерви ще задіяні, і тому необхідно досліджувати цю проблему на системному рівні. Модель системи енергозберігаючих заходів представлена на рис.1.3.

					02.15.EE2426-ЕС.КРМ.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

1.4 Методи енергозбереження на етапі проектування систем тягового електропостачання

Концепція енергооптимальної системи електропостачання електротранспорту була запропонована в [22]. Під проектуванням енергооптимальною системою 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 електричної тяги в загальному вигляді представлена в [9]:

$$\min M[Z(I_1, I_2, R, t)], \quad (1.1)$$

де Z – показник ефективності;

I_1 – технічні параметри системи;

I_2 – умови експлуатації;

R – показник надійності;

t – час;

M – символ математичного очікування.

Область застосування вектора рішення j (I_1, I_2) 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. п.).

Сутність методики рішення задачі проектування оптимальної системи електропостачання, запропонованої Мірошніченко Р.І., була в наступному. Маючи данні за профілем ділянки, розстановці сигналів автоблокування і

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

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 СНД 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 перетворюють 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.

1.5 Методи розрахунку систем електропостачання тяги поїздів

При розрахунках систем електропостачання тяги 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

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

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 виявилось 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.

1.6 Енергозбереження за рахунок застосування раціональних режимів систем електропостачання тяги поїздів постійного струму

Досягнення раціонального електроспоживання можливо при оперативному аналізі інформації на різних рівнях обліку експертними системами (ЕС) та реалізації автоматизованого регулювання електроспоживання. В [8] розроблена стратегія досягнення раціонального електроспоживання в тягових мережах, що базується на інтегрованій системі управління пристроями електропостачання з розподіленим інтелектом і експертній системі прийняття рішень. В [9] виявлені фактори, що впливають на складові електроспоживання, отримані узагальнюючі залежності втрат енергії, показані шляхи автоматизації накопичення баз знань ЕС. В [11,10,8] 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

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Удосконалено експертну систему прийняття рішень при регулюванні режимів роботи систем тягового і зовнішнього електропостачання, що дозволяє підвищити енергоекономічність 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 (таких як «Граніт-ж.д.-мікро»).

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

									Арк.
									29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ				

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.

$$C(x,t) = \{(N(M[c(x_k, t_1)], \sigma(x_k, t_1)), \dots, N(M[c(x_k, t_{24})], \sigma(x_k, t_{24})))\}_{k \in N_k}, \quad (1.2)$$

де $N(a, \sigma)$ – функція Гауса,

$M[*]$ – знак математичного очікування,

x – координата шляху,

t – часу.

Було показано, що перехід до диференційованих тарифаів 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 в [25,26,28,27] методи керування рухом поїздів при

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

змінній ціні електроенергії впроваджені і увійшли в рекомендації країн ОСЗ по забезпеченню енергооптимального процесу перевезень на основі інформаційних технологій управління системами електричної тяги (2003 р.).

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.

Великий внесок у розробку та вдосконалення теорії тягових розрахунків внесли такі вчені як Б.Д. Воскресенський, О.Н. Ісаакян, І.І. Васильєв, Б.М. Максимович, В.С. Розенфельд, Г.Г. Марквардт, Р.І. Мірошніченко, Д.А. Палей, Е.С. Почаевец.

Рішення задач визначення раціональних режимів системи тягового електропостачання електричного транспорту нерозривно пов'язане з впровадженням автоматизованих систем управління пристроями електропостачання. В цьому напрямку цікаві роботи Бикадорова А.Л.

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 доріг, управлінь доріг. 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

										Арк.
										31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ					

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 тягових 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. Великою 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 регульовальних 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.

					02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

приспосовується "інтелектуального" , адаптивного регулятора напруги.

З 2007 р. фахівці кафедри «Електропостачання залізниць» ДІТУ активно займалися аналізом показників якості електроенергії на шинах тягових підстанцій в різних режимах з використанням сучасних вимірювальних комплексів Satec. Так наприклад, в [21] досліджені показники якості електроенергії в режимі рекуперації.

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 розглядалося пошук закону зміни напруги на шинах суміжних тягових підстанцій, який би забезпечував нормований рівень напруги на струмоприймачах рухомого складу.

1.7 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. Подальший розвиток теорії нормування і її практичних застосувань можна знайти в роботах [16, 17].

										Арк.
										35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ					

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 [236]. На думку автора цієї роботи система нормування споживання ПЕР ресурсів в Україні є ще більш недосконалою, ніж при СРСР.

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

									Арк.
									36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.КРМ.2026.ПЗ				

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 залізниць в рамках СРСР 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

$$e_c = \frac{100}{W_{c_{\Sigma}}} (W_{c_{чc_{\Sigma}}} - W_{c_{\Sigma}} - W_{\text{стоп}} - W_{\text{нд}}), \quad (1.3)$$

					02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

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

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

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

$W_{нд}$ - 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:

$$\Delta W = \frac{100}{\omega_{с\text{поп}}} \left(\omega_{с\text{роз}} \frac{k_{м\text{поп}}}{k_{м\text{роз}}} - \omega_{с\text{поп}} \right), \quad (1.4)$$

де $\omega_{с\text{поп}}$ и $\omega_{с\text{роз}}$ - питомі витрати електроенергії для стаціонарних споживачів залізниць за попередній або базисний рік і рік, який розглядається, кВт•год/10⁴ ткм бруто;

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

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
9	Для освітлення депо пріоритетне використання енергоощадних ламп	62	20,0
10	Впровадження лічильників електроенергії більш, вищого класу точності.	4,57	5,4
11	Впровадити жорсткий контроль за споживанням електроенергії по цехам депо.		

Загальне фактичне споживання паливно-енергетичних ресурсів та його ефективність наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Загальне фактичне споживання ПЕР на підприємстві

Найменування показників	Одиниця виміру	Роки		
		2023	2024	2025
Газ природний	Тис. м ³	1674,24	1296,668	1241,161
	Тис. грн..	4205,69	3257,23	3117,79
	Т.у.п.	1942,118	1504,134	1439,746
Загальне виробництво теплоенергії	Гкал	11352	10762	10070
	Тис грн.	6050,729	4520,04	4319,728
	Т.у.п.	1929,84	1829,54	1711,9
Електроенергія котельня	Тис. кВт	863,914	712,245	693,319
	Тис. грн,	313,16	423,07	411,83
	Т.у.п,	1942,118	1504,134	1439,746
Вода на котельню	Тисм ³	288	324	279
	Тис.грн	2563,2	2883,6	2508,2

Наявність та стан енергетичного паспорту. Енергетичний паспорт підприємства в наявності, але не повністю заповнений.

Наявність ОТЗ по економії ПЕР, їх ефективність, доцільність, стан виконання. По підприємству на 2025 рік розроблені та частково виконуються заходи по раціональному та ефективному використанню ПЕР.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

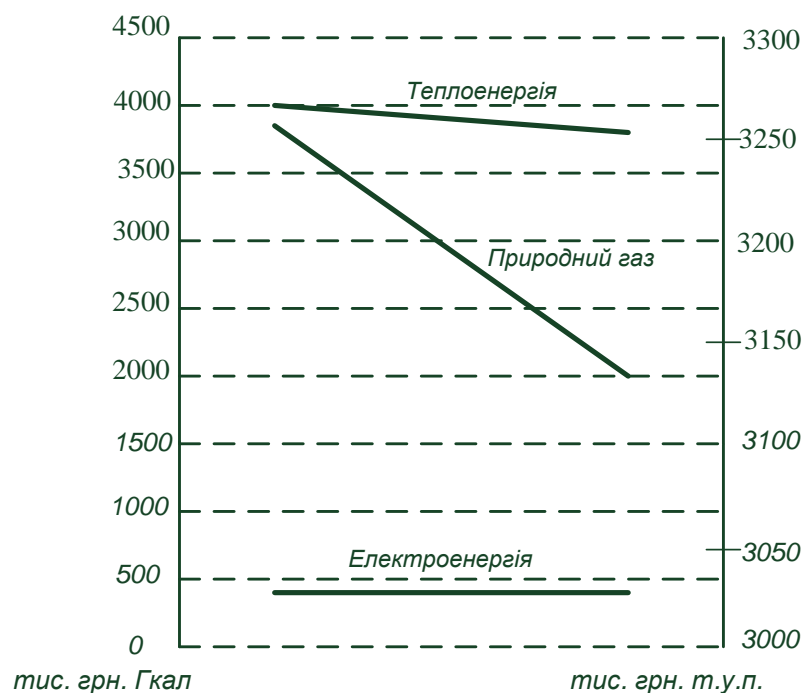


Рисунок 2.2 – Грошові витрати

Вартість електроенергії встановлено згідно тарифам Київобленерго 0,6428 грн. за 1 кВт*год. По другому встановлено тариф за активну електроенергію.

Природний газ споживає котельня моторвагонного депо Ф для опалення власного депо. Закупівля природного газу проводиться централізовано Південно-Західною залізницею. На момент перевірки вартість газу становить 2,5 грн за тис. м . Облік використаного природного газу ведеться по лічильнику.

Основне моторвагонне депо Ф споживає теплову енергію від власної котельні. Собівартість однієї Гкал становить 428,97 грн.

Профіль використання енергії на стаціонарні потреби. Використовуються наступні енергоносії:

- Електроенергія - 380/220 В 50 Гц для стаціонарних споживань.
- Теплоенергія у вигляді насиченого пара на виробничі потреби та опалення приміщень.
- Природний газ використовується для вироблення теплової енергії.

В депо експлуатуються 2 котли ДКВР та 2 КВГ. Облік витрат природного газу та виробленої теплової енергії ведеться приладами обліку.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

7.3. Не поновлена Експлуатаційна угода з СП Енергозбут зі всіма додатками.

Таблиця 2.4 - Перелік електричних потужностей , встановлених в РПЧ-8 на 2011 рік

№ п/п	Найменування електрообладнання	Встановлена Потужність кВт/год	Годин роботи в місяць	Загальне споживання ел. енергії в місяць кВт/год	
				Зима	Літо
1.	Котельня :	2 по 10 кВт/год	720 год.	38000	23000
1.1.	Котли парові Е-2,5-0,9 ГМ (2 шт) Димососи (2 шт)				
	Ел. вентилятори (2 шт)	2 по 10 кВт/год			
	Підживлюючі насоси (2 шт)	2 по 5,5 кВт/год			
	Насос на ХВП (1 шт)	4 кВт/год			
	Освітлення , автоматика	4 кВт/год			
1.2.	Котли водогрійні КВГ-7,56 , 4,65		720 год.	85000	52000
	Ел. вентилятори 2 шт.	15, 11, кВт/год			
	Димососи 2шт	37, 15кВт/год			
	Циркуляційні насоси 4 шт.	40 кВт/год			
	Підживлюючий насос 1шт.	27 кВт / год			
	Всього по котельні :			123000	75000
2.	Вагономийний комплекс для електропоїздів .	210 кВт/год	450 год.	92000	90000
3.	Ультразвуковий комплекс для просушки та очищення остовів тягових двигунів .	10 кВт / год	120 год.	1200	1200
4.	Стенди для випробування діодів та тиристорів	5 кВт / год	120 год.	600	600
5.	Апарат випробувальний , діод ний АІД - 70/50 на	3 кВт / год	120 год.	360	360
6.	Установка індукційного нагріву УІН - П в	15,5 кВт/год	120 год.	1860	1860
7.	Установка для випробування оливи в	2 кВт / год	60 год.	120	120
8.	Всього нових потужностей			342140	244140

7.4. Не ведеться журнал обліку показників лічильників електроенергії по ТИ та цехам, відсутній контроль за перевитратами, не розроблено преміювання за економію електроенергії по цехам.

7.5. Встановлення компенсуючого пристрою на ТП -87, потужністю 100кВар приведе до зменшення споживання реактивної енергії, зменшиться споживання активної електроенергії на суму 114,74 тис. грн.,

7.6. Встановлення лічильників споживання активної електроенергії більш високого класу точності 0,5 замість застарілих класом точності 2,0 надасть можливість зекономити 4,47 тис. грн. на рік.

7.7. Заміна ламп розжарювання на енергоощадні приведе до орієнтовної економії.

МЕЗ №1 Встановлення компенсуючого пристрою на ТП-87 по моторвагонному депо Ф.

Опис можливостей

Встановлення компенсуючого пристрою на ТП-87, потужністю 100 квар зменшить споживання реактивної електроенергії, поліпшення якості споживаємої електроенергії, зменшення витрат на оплату за недокомпесацию реактиву, тим самим зменшить споживання активної електроенергії на 10%.

Розрахунок річної економії від встановлення КУ.

Витрати активної електроенергії в місяць -126,6 тис. кВт

Витрати реактивної електроенергії в місяць -78,0 тис. квар

Економія активної електроенергії - $126 * 12 * 10\% = 151,2$: тис. кВт г на суму 104,3 тис. грн.. при вартості 1 тис.кВтг = 0,69 грн.,

Витрати на впровадження

Орієнтовна вартість впровадження становить 49,7 тис. грн.

Проста окупність

Річна економія - 114,74 тис. грн. Витрати на впровадження - 49,7 тис. грн.
Проста окупність: $49,7 / 114,7 = 0,43$ року.

МЕЗ № 3 Заміна світильників на освітлювальних мачтах з використанням енергозберігаючих ламп.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Опис можливостей

На момент перевірки зовнішнє освітлення території здійснюється неефективними джерелами освітлення. Заміна відповідних ламп приведе до реальної економії електроенергії на даних об'єктах.

Перелік місць знаходження неефективних джерел освітлення:

Зовнішнє освітлення території тип ЛОН-500 кількість

Загальне зменшення потужності споживання електроенергії лампами становить:

$$P1= 0,5 \text{ кВт}$$

$$P2= 0,25 \text{ кВт}$$

Котельно-пічне паливо.

1. Види палива, та його теплотехнічні характеристики. Природний газ з характеристикою: АНЦО; CO_{0.062}: 0=0,678; κ=7978; Рчп=0,05 кгс/см²: Ррп=0,053 кгс/см²

2. Розміщення приладів комерційного та технічного обліку, тип приладів, клас точності. Автоматизований комплекс комерційного обліку кількості використання газу "Сакура" клас точності вище 1 по моторвагонному депо Ф. По оборотному депо Б лічильник газу клас точності - 1

3. Основне паливовикористовуюче обладнання. По моторвагонному депо Ф встановлені котли ДКВР-4/ІЗ- 1 шт.; КВГ-7,5-50- 1 піт; КВГ-І50 - 1 шт. По оборотному депо Б КСВ - 0Д5 — 2 шт.

4. Розподіл палива між основними підрозділами, підприємства. По моторвагонному депо Ф — 95%; по оборотному депо Б -5%,

5. Оснащення приладами контролю та автоматики горіння. Прилади контролю за горінням існують полу автоматичні на котлах КВГ на ДКВР відсутні; по оборотному депо Б автоматика горіння існує,.

6. Наявність експлуатаційної документації:

а) технологічні та режимні карти; Звіт про проведення останніх налагоджувальних робіт та режимні карти існують. Режимні карти №377; по оборотному депо.

б) технічні паспорти. В наявності,

7. Утилізація тепла відхідних газів. На ДКВР водяні економайзери та повітря, підігрівачі, КВГ повітря підігрівачі; по оборотному депо Б Утилізатори тепла відсутні, а також не передбачені заводом виробником.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

02.15.EE2426-ЕС.КРМ.2026.ПЗ

Арк.

47

8. Факти неекономного та неефективного використання палива. Заміна котла ДКВР-4/13 на котел меншої потужності приведе до економії газу на 29,8 тис. м Теплоенергія

1. Вид теплової енергії,, параметри теплоносіїв джерела теплопостачання., Пар насичений з параметрами: тиск $P=6$ кгс/см ; $t=150$ °С; продуктивність Д-4 т/ч.. Вода 1-90 °С

2. Розміщення приладів обліку (комерційний, технічний), тип приладів. По моторвагонному депо Ф встановлений прилад обліку виробленої пари ДСС - 712 - 2С; гарячої води РПД - 160 - 35. По оборотному депо Б прилади обліку відсутні.

3. Основне тепловикористовуюче обладнання. По моторвагонному депо Ф мийна, машина - 4 шт. для миття вагонів дистильована вода, душові - пар; опалення виробничих приміщень (биткорпус, будинки управління) - вода. По оборотному депо Б опалення приміщень, технологічні потреби.

4. Система опалення (парова, водяна). Водяна.

5. Стан пароконденсатної системи, підприємства відсоток повернення конденсату. По моторвагонному депо Ф повернення конденсату становить 40 %. Втрати конденсату становлять в мийочних машинах. По оборотному депо Б котли водогрійні, система замкнута.

6. Наявність та фактичне виконання норм питомих витрат теплоенергії на виробництво продукції. Питомі норми існують та виконуються.

7. Стан теплоізоляції теплопроводів, наявність витоків енергоносіїв. По моторвагонному депо Ф задовільна але потребує невеликого ремонту. Оборотно депо Б теплопроводи ізольовані дуже погано і потребують майже повного поновлення. Без ізоляції знаходиться два теплопроводи довжиною 4 м. діаметром 120 мм.. (головний і обернений).

8. Технічний стан огорожуючих конструкцій будівель та споруд. Задовільний але потребує часткового ремонту.

9. Факти неекономного та неефективного використання теплоенергії.

10.1. Із-за відсутності повернення 30 % конденсату, а також: при відсутності ізоляції ємностей для збору конденсату приводять до втрат теплової енергії, а також перевитрат палива (природного газу) на 192,09 тис. м за рік..

11. В зв'язку з відсутністю 4 метрів ізоляції на теплопроводі втрати тепло енергії складають 15,83 Гкал, або природного газу 2,52 тис. куб. м. за опалювальний період.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

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

					02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

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 (МАІ), запропонований Т. Сааті.

Метод аналізу ієрархій полягає в декомпозиції задачі вибору і базується на парних порівняннях. Для порівняння об'єктів в МАІ 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	

3.2 Алгоритм методу аналізу ієрархій

Алгоритм МАІ складається з таких етапів.

Етап 1. 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, \dots, K_N) до найнижчого рівня (перелік альтернативних варіантів A_1, A_2, \dots, A_S).

Етап 3. На основі проведення експертних оцінок з використанням шкали відносної важливості будуються матриці парних порівнянь для кожного з нижніх рівнів (таблиця 10.2). 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,	
		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

$$b_i = \sqrt[n]{a_{i1}a_{i2}\dots a_{in}}, \quad (3.1)$$

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:

$$X_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}. \quad (3.2)$$

Визначаємо значення сум членів по стовпцях матриці парних порівнянь:

$$Y_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad (3.3)$$

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

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_i Y_j, \quad (3.4)$$

де λ_{\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), отриманою з

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ				52

таблиці 10.3, 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

$$IU = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)}. \quad (3.5)$$

Величина відношення узгодженості визначається за виразом

$$BU = \frac{IU}{CU}, \quad (3.6)$$

де IU – індекс узгодженості;

CU – середня узгодженість, визначається за таблицею 10.3 залежно від розміру матриці парних порівнянь n .

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 (таблиця 10.2)		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 4.4 $x_{11}, x_{21}, \dots, x_{Sn}$ - вектори пріоритетів, отримані при порівнянні альтернатив A_1, A_2, \dots, A_S окремо по кожному з критеріїв K_1, K_2, \dots, K_n .

Величина вектора глобального пріоритету альтернативи A_j визначається за виразом

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

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, \dots, K_n .

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

3.3 Вибір гідродинамічного нагрівача ТЕК з електронасосним агрегатом на основі МАІ

ПЕК - 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 електронасосні агрегатами. Класифікація типів ПЕК представлена в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. - Класифікація ПЕК

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 $\Delta T=40^{\circ}C$, 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

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

Метод аналізу 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 об'єм
вага нагрівача	<<<< 9	потужність електродвигуна
вага нагрівача	<<< 7	теплопродуктивність
габаритні розміри	<<< 7	обсяг води, що нагрівається за годину
габаритні розміри	<<< 7	опалювальний об'єм
габаритні розміри	<<< 7	потужність електродвигуна
габаритні розміри	<< 5	теплопродуктивність
обсяг води, що нагрівається за годину	< 2	опалювальний об'єм
обсяг води, що нагрівається за годину	< 3	потужність електродвигуна
обсяг води, що нагрівається за годину	<< 4	теплопродуктивність
опалювальний об'єм	=	потужність електродвигуна
опалювальний об'єм	=	теплопродуктивність
потужність електродвигуна	=	теплопродуктивність
вага нагрівача	< 3	габаритні розміри

Варіанти та їх порівняння

вага нагрівача	ТЕК-1	< 3	ТЕК-2
----------------	-------	-----	-------

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 об'єм"	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 об'єм	потужність електродвигуна	теплопродуктивність	Глобальні пріоритети
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 ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В результаті виконання магістерської роботи вирішена актуальна задача вибір та наукове обґрунтування заходів з енергозбереження для моторвагонного депо Ф. При цьому отримані наступні результати:

1. Проаналізовано стан проблеми енергозбереження на Укрзалізниці.
2. Складена модель роботи системи електропостачання тяги поїздів.
3. Виділені особливості реалізації енергоощадних заходів на залізничному транспорті
4. Розкриті методи енергозбереження на етапах:
 - проектування системи тягового електропостачання;
 - Розрахунку системи тягового електропостачання;
5. Обґрунтовано можливість використання методу аналізу ієрархій (МАІ).
6. Проведений вибір гідродинамічного нагрівача ТЕК з електронасосним агрегатом на основі МАІ

					02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кирилюк Т. І. Удосконалення методу контролю втрат електроенергії в контактній мережі електрифікованих залізниць: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.09. Дніпро, 2013. 21 с

2. Дослідження наднормативних небалансів обліку електричної енергії на тягових підстанціях Донецької залізниці і розробка рекомендацій по їх приведенню до нормативних вимог для тягової підстанції Штерівка: звіт з НДР / ДІТ; керівник В.Г. Кузнецов. Шифр роботи 23.65.10.10; державний реєстраційний номер 0111U003606. Дніпро, 2011. 127 с.

3. Інструкція по зняттю показників приладів обліку електроенергії, їх запису та передачі даних енергодиспетчеру, структурному підрозділу «Енергозбут» та причетним організаціям на об'єктах електропостачання. Затв.: Наказ Укрзалізниці 12.10.2005 №330-Ц. Міністерство транспорту та зв'язку України. К., 2005. 39 с.

3. Барна А. І., Кузнецов В. Г., Кирилюк Т. І. Дослідження небалансів електроенергії на Львівській залізниці. *Енергозбереження на залізничному транспорті*: матеріали II Міжнародної науково - практичної конференції, м. Воловець, 2011. С. 8.

4. Методика розрахунку технологічних втрат електроенергії в мережах електропостачання напругою від 0,38 до 110 кВ включно. К.: Держстандарт України, 1999. 66 с.

5. Черемісін М. М., Зубко В. М., Коробка В. О. Напрямки підвищення ефективності електропостачання споживачів в умовах ринкової економіки *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. 2006. Т. 1, Вип. 43. С. 3–9.

6. Мірошник О. О. Структура втрат електричної енергії та методика їх розрахунку. *Вісник ХДТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*, 2004. Т. 1, Вип. 27. С. 25–31.

7. Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Поліщук А. Л. Інформаційне забезпечення

									Арк.
									60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕЕ2426-ЕС.КРМ.2026.ПЗ				

15. Черемісін М. М. Мірошник О. О. Підвищення ефективності керування та експлуатації розподільних електричних мереж на базі моніторингу. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. 2008. Т. 1, Вип. 73. С. 3–5.

					02.15.EE2426-ЕС.KPM.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62