МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності електроспоживання підприємства використанням методів прогнозування навантаження

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1413
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Марінов О.М.
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., проф., Коваленко В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент д.т.н., проф., Артемчук В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут_____
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень_____
Спеціальність __141 Електроенергетика,_____ електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика,_____ електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф._____В.Л. Коваленко
«__01_»_____12_____2024__року

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

_____Марінов Олексій Михайлович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення ефективності електроспоживання підприємства використанням методів прогнозування навантаження_____
_____
керівник роботи ___Коваленко Віктор Леонідович, д.т.н., доцент_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_28_»_02__2024__року №_361 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи Структура електроспоживання підприємства, найбільші споживачі електричної енергії - електродвигуни, вентиляція та освітлення. Основне обладнання – машини для приготування полімерних матеріалів для харчової промисловості, устаткування 30-40 річного віку. Значні втрати активної, а також значне споживання реактивної енергії двигунним навантаженням.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз методів прогнозування графіків електричного навантаження. 2) Прогнозування споживання електричної енергії ТОВ «Ексіда» 3) Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження прогнозування. 4) Охорона праці та техногенна безпека.
5 Перелік графічного матеріалу _1) Аналіз ефективності енергоспоживання підприємства 2) План цеху. 3) Схема однолінійна 4) Методи прогнозування графіків

електричного навантаження 5) Обсяги виробленої продукції та спожитої електроенергії 6) Прогнозування споживання підприємством електричної енергії 2025 - 2030 рр.7) Індекси річного електроспоживання та потужність підприємства ретроспективного періоду 8) Прогнозовані ГЕН та прогнозоване електроспоживання підприємством 9) Охорона праці та техногенна безпека

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Коваленко В.Л., д.т.н., професор		
Розділ 2	Коваленко В.Л., д.т.н., професор		
Розділ 3	Коваленко В.Л., д.т.н., професор		
Розділ 4	Коваленко В.Л., д.т.н., професор		

7 Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз методів прогнозування графіків електричного навантаження	30.09.2024	
2	Прогнозування споживання електричної енергії ТОВ «Ексіда»	30.10.2024	
3	Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження прогнозування ГЕН	19.11.2024	
4	Охорона праці та техногенна безпека	30.11.2024	

Студент _____ О.М. Марінов
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ В.Л. Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

АНОТАЦІЯ

Марінов О.М. Підвищення ефективності електроспоживання підприємства використанням методів прогнозування навантаження. Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник В.Л. Коваленко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

Проаналізовано особливості існуючих методів прогнозування графіків електричного навантаження в системах електроживлення промислових підприємств. Дано алгоритм прогнозування споживання електричної енергії ТОВ «Ексіда».

Ключові слова: СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ, ГРАФІК ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ, ПРОМИСЛОВЕ ПІДПРИЄМСТВО, АЛГОРИТМ

ABSTRACT

Marinov O.M. Increasing the efficiency of enterprise electricity consumption using load forecasting methods. Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, scientific supervisor V.L. Kovalenko. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebnia. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

Peculiarities of existing methods of forecasting electric load graphs in power supply systems of industrial enterprises are analyzed. An alg-rithm for forecasting electricity consumption of PJSC "Exida" is given.

Keywords: ELECTRICITY CONSUMPTION, FORECASTING METHODS, ELECTRIC LOAD SCHEDULE, INDUSTRIAL ENTERPRISE, ALGORITHM

ЗМІСТ

Вступ……...9
1 Аналіз методів прогнозування графіків електричного навантаження……..12
1.1 Метод прогнозної екстраполяції…….12
1.2 Метод аналізу часових рядів……13
1.3 Метод інваріантів…….14
1.4 Метод побудови сценаріїв……...14
1.5 Метод експоненціального згладжування……...15
1.6 Метод імовірнісного моделювання……16
1.7 Метод адаптивного згладжування……...17
1.8 Методи кореляційного та регресійного аналізу…….22
1.9 Експертні методи прогнозування……24
2 Прогнозування споживання електричної енергії ТОВ «Ексіда»……...27
2.1 Огляд структури електроспоживання промислового підприємства ТОВ «Ексіда»……..27
2.2 Прогнозування електроспоживання підприємства методом формових відображень…….28
2.3 Розрахунок електроспоживання підприємства ТОВ «Ексіда» з урахуванням динаміки його розвитку ……..……...30
2.4 Алгоритм визначення графіків електричного споживання підприємством на довгострокову перспективу……...….34
3 Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження прогнозування ГЕН……....68
3.1 Визначення вартості електроенергії у перспективному періоді……68

4 Охорона праці та техногенна безпека……...……...75
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища……...75
4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища……..……79
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії……80
4.4 Захисні заходи з електробезпеки……81
4.5 Пожежна безпека…….…83
4.6 Засоби індивідуального захисту……..86
4.7 Розробка заходів захисту від тепловиділень……..86
Висновки……...88
Перелік посилань……..90

ВСТУП

Промислові підприємства є одними з головних споживачів електричної енергії, на долю котрих припадає близько двох третин спожитої електроенергії. Згідно з умовами функціонування оптового ринку електроенергії споживачі-учасники ринку зобов'язані заявляти планові об'єми споживання електричної енергії. Від режимів споживання електроенергії залежать режими роботи енергетичних установок основного устаткування електростанцій, ліній електропередач і трансформаторних підстанцій. Неточне планування власного вжитку електроенергії підприємством веде до накладання штрафів, шляхом застосуванням штрафних коефіцієнтів до тарифу на електроенергію, за відхилення фактичного вжитку від заявленого. Таким чином, об'єктивне і точне прогнозування – важливе, злободенне завдання, грамотне вирішення якого необхідне і доцільно з точки зору економії і зниження витрат на електроенергію. Прогнозування електроспоживання підприємства є одним з важливих моментів планування діяльності як всього підприємства, так і Енергосистеми вцілому. Прогнозування електроспоживання стає по-справжньому актуальною проблемою. Дослідження тенденцій зміни попиту на електроенергію в часі та аналіз графіків електричних навантажень (ГЕН), є основним підґрунтям для подальшого планування, прогнозування електроспоживання. Прорахунки при виконанні цього завдання можуть призвести до значних негативних наслідків: завищені прогнози максимальних навантажень призводять до неефективного використання капітальних вкладень, завищені та занижені – до штрафних санкцій з боку електропостачальних підприємств.

Питаннями прогнозування електроспоживання займалися такі провідні українські вчені, як Праховник А.В., Находов В.Ф., Пащук В.Я. та інші. За останні 30 років для прогнозування електроспоживання застосовувались різноманітні

методи. Найбільш відомі серед них – регресійні моделі та моделі часових рядів. Але вони можуть бути використані при достатньому обсязі статистичних даних. Часто обсяг даних є недостатнім для пошуку залежностей для великої кількості вхідних факторів. Одним з виходів з цього становища є використання метода групового врахування аргументів, запропонованого академіком О. Івахненко. З кінця 80 років до розв'язку задачі короткострокового прогнозування навантажень почали залучатися методи штучного інтелекту. Першими тут отримали застосування експертні системи. Даний підхід припускає вміння фахівців навчити систему робити точні передбачення. Це пов'язано із серйозними методичними труднощами, обумовленими формалізацією прийомів мислення людини й перекладу їх на внутрішню мову подання експертної системи. Щодо цього вигідно відрізняються штучні нейронні мережі (ШНМ). Вони не вимагають людського досвіду й вивчають зміну споживання електроенергії самостійно, запам'ятовуючи архівні дані. Можливість навчання – одна з основних переваг нейронних мереж у порівнянні з традиційними методами. При прогнозуванні електроспоживання складних виробничих об'єктів з точки зору ефективності енерговикористання обов'язковим є врахування зв'язків між електроспоживанням та основними технологічними факторами. Отже, побудову нейронної мережі необхідно здійснювати з урахуванням набору інформативних технологічних параметрів.

Перспективні графіки навантаження характеризують використання тих чи інших технологій споживання електричної енергії на певний момент часу і є основною інформацією, необхідною для планування роботи підприємства, а також підвищення його енергоефективності. На процес формування графіків навантаження впливає велика кількість факторів, як випадкових, так і закономірних.

Мета роботи полягає в оцінюванні очікуваного графіка навантаження та величину споживання електричної енергії за відповідний проміжок часу для завчасного планування режимів електропостачання підприємства. Завдання полягає в мінімізації невизначеності з метою найкращого наближення прогнозованого

графіка навантаження до майбутнього фактичного. Це дозволить у перспективі визначити ефективну структуру робочих потужностей, визначити основні режими роботи обладнання, та підвищити ефективність споживання електричної енергії підприємством.

Об′єктом дослідження є промислове підприємство ТОВ «Ексіда».

Підвищення ефективності електроспоживання підприємства можливе за рахунок прогнозування графіків електричного навантаження (ГЕН), при застосовуванні методу формових відображень**,** який було розроблено в Інституті загальної енергетики НАН України. Принциповою особливістю методу є те , що він не працює з часовими рядами та не використовує апарат виявлення залежностей. Метод побудовано на так званих формових відображеннях графіків електричного навантаження підприємства.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

1.1 Метод прогнозної екстраполяції

Економічно обґрунтовані рішення щодо ефективного розвитку промислових підприємств вимагають завчасного передбачення електричного навантаження підприємств. Перспективні графіки навантаження (ГН) характеризують використання тих чи інших технологій споживання електричної енергії на певний момент часу і є основною інформацією, необхідною для планування роботи підприємства, а також підвищення його енергоефективності.

На процес формування графіків навантаження у кожний момент часу має вплив велика кількість факторів, як випадкових, так і закономірних.

Мета прогнозу - оцінити очікуваний ГН та величину споживання електричної енергії за відповідний проміжок часу для завчасного планування режимів електроспоживання підприємства. Завдання полягає в мінімізації невизначеності з метою найкращого наближення прогнозованого графіка навантаження до майбутнього фактичного. Це дозволить у перспективі визначити ефективну структуру робочих потужностей, визначити основні режими роботи обладнання.

У загальному вигляді можна виокремити декілька принципово різних підходів до прогнозування перспективних ГН.

Метод екстраполяції базується на математичній екстраполяції, за якої вибір апроксимуючої функції здійснюється на основі умов та обмежень розвитку об'єкта прогнозування. Залежно від виду аналізу вихідних даних та способів представлення його результатів розрізняють такі види прогностичної екстраполяції: екстраполяція тренду, екстраполяція огинаючих кривих, екстраполяція кореляційних та регресивних залежностей, екстраполяція, побудована на факторному аналізі. Так само і методи прогнозної інтерполяції базуються на математичній інтерполяції, за

якої вибір інтерполюючої функції здійснюється з урахуванням умов і обмежень розвитку об'єкта прогнозування.

1.2 Метод аналізу часових рядів

Аналіз часового ряду починається з побудови і вивчення його графіка. Якщо нестаціонарність часового ряду очевидна, то спочатку необхідно виокремити його нестаціонарну складову. Процес виокремлення тренду та інших компонент ряду, що призводять до порушення стаціонарності, може проходити в декілька етапів. На кожному з них розглядається ряд залишків, отриманий у результаті вирахування з вихідного ряду підібраної моделі тренду, або результат різницевих і інших перетворень ряду. Крім графіків, ознаками нестаціонарності часового ряду можуть служити автокореляційна функція, що прямує не до нуля (за винятком дуже великих значень лагів) і наявність яскраво виражених піків на низьких частотах у періодограмі. За допомогою автокореляційної функції досліджують також внутрішні зв'язки між елементами часових рядів. У вибіркових дослідженнях найпростіші числові характеристики описової статистики (середнє, медіана, дисперсія, стандартне відхилення, коефіцієнти асиметрії й ексцесу) звичайно дають достатньо інформативне уявлення про вибірку. Графічні методи зображення й аналізу вибірок при цьому грають лише допоміжну роль, дозволяючи краще зрозуміти локалізацію і концентрацію даних, їхній закон розподілу. Роль графічних методів при аналізі часових рядів цілком інша. Табличне представлення часового ряду й описових статистик частіше за все не дозволяє зрозуміти характер процесу, у той час як за графіком тимчасового ряду можна зробити досить багато висновків. Надалі вони можуть бути перевірені й уточнені за допомогою розрахунків. Цей метод потребує наявності даних за тривалий проміжок часу і є аналізом кривої

розвитку. Перевага методу полягає в його простоті та наочності, хоча не всюди застосовується (причиною можуть бути структура зміни тощо).

1.3 Метод інваріантів

Метод полягає в аналізі співвідношень між кількома динамічними рядами, взаємопов'язаними певними показниками. Якщо економічний та статистичний аналізи виявляють стійкість співвідношень між рядами в минулому, то ці (квазиінваріантні) співвідношення екстраполюються на майбутнє, приймаючи один із рядів за опорний. Вибір опорних показників здійснюється на основі економічного аналізу, а не статистичного розрахунку. Опорні показники беруться з моделей більш високого рівня - задача вибору надійних варіантів числових значень опорних показників для періоду прогнозу. Потребується введення додаткової гіпотези про рух багатьох (опорних) показників. За форму функціонального зв' язку між шуканою величиною та опорним показником може бути обрана еластичність. Ефект насичення розраховується шляхом переходу до змінного коефіцієнта еластичності за допомогою функції еластичності.

1.4 Метод побудови сценаріїв

Прагнення до окремих прогнозів і логічної побудови багатоваріантних моделей знаходить своє вираження у схемі сценарію, поєднуючи структурний підхід з історичним. Від чисто описової моделі сценарій відрізняється

систематичністю. Системний підхід потребує диференціації класів можливих траєкторій руху системи в просторі стану:

- історичні реальні траєкторії.

- планові траєкторії.

- множина планових траєкторій багатоваріантного прогнозу .

- оптимальні та магістральні траєкторії.

Розробка сценаріїв укладається в такі фази :

Фаза 1. Збір та обробка інформації , аналіз тенденцій.

Фаза 2. Будується провізорний сценарій – роздроблення структури на ведучу (прогресивну) та перехідну (адаптивну) ланку .

Фаза 3. Уточнення процесів еволюції та формування сценарію з розробкою по етапах.

1.5 Метод експоненціального згладжування

Метод є одним з ефективних та надійних методів прогнозування. Сутність цього методу полягає в тому, що кожен елемент (рівень) часового ряду згладжується за допомогою зваженої плинної середньої, причому вага її зменшується по мірі віддалення від кінця ряду. Перевагами цього методу є можливість враховувати вагу вихідної інформації, простота процедур обчислення, гнучкість в описанні різних динамік процесів. Реалізується можливість отримання оцінки параметрів тренду на момент останнього спостереження об'єкта. Найскладнішим етапом є вибір параметру згладжування α для початкових умов та ступеня прогнозуючого полінома.

Вихідний динамічний ряд описується формулою:

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 t + \frac{\alpha_2 t^2}{2} + ... + \frac{\alpha_p t^p}{p!} + \varepsilon_i, \quad (1.1)$$

Залежно від величини параметру прогнозної оцінки по-різному враховується вплив вихідного ряду спостережень. Тобто, чим вище значення коефіцієнту α , то більший вклад останніх спостережень у формуванні тренду, а вплив початкових умов швидко зменшується.

1.6 Метод імовірнісного моделювання

Розвитком методу експоненціального згладжування є метод імовірнісного моделювання. Імовірнісний метод являє собою метод неконструктивного доведення, що, в першу чергу, використовується у комбінаториці та винайдений Паулем Ердьошем, для доведення існування наперед визначеного виду математичних об'єктів. Він працює через демонстрацію того, що, якщо випадково обрати об'єкти з деякого класу, ймовірність того, що результат є визначеного вигляду, більше нуля. Хоча доведення використовує ймовірність, кінцевий висновок визначається напевно, без будь-якої похибки. Якщо кожен об'єкт у наборі об'єктів не має певної властивості, тоді імовірність, що випадковий об'єкт, обраний з цього набору має цю властивість, становить нуль. І у зворотньому напрямку, якщо імовірність, що випадковий об'єкт має цю властивість, більше нуля, тоді це доводить існування принаймні одного об'єкта у даному наборі, що має цю властивість. Навіть якщо ймовірність дуже мала; будь-яка позитивна ймовірність доводить це твердження. Ще один спосіб використання імовірнісного методу - це обчислення очікуваної значення деякої випадкової змінної. Якщо може бути показано, що деяка випадкова змінна може приймати значення менше ніж

очікуване, це доводить, що випадкова змінна може також приймати деяке значення більше, ніж очікуване. Відмінність полягає в тому, що у імовірнісних моделях оцінюють ймовірності, а не коефіцієнти. Перевагою є те, що оцінки мають більш конкретний характер. Основним недоліком є необхідність використовувати велику кількість спостережень.

1.7 Метод адаптивного згладжування

Перевагою є можливість згладжувати та прогнозувати ряди з довільною динамікою, а недоліком є відсутність чіткої процедури оцінки необхідності чи достатності довжини вихідної інформації. Для скінченних рядів немає конкретних умов оцінки точності прогнозу. У зв'язку з наявністю випадкової складової в процесі коливання навантаження, а отже, присутності невизначеності, перспективні ГН визначають імовірнісно-статистичними методами. Методи імовірнісного моделювання дозволяють визначити основні характеристики режимів електричного навантаження шляхом статистичної обробки ГН. Основним методом вивчення коливань навантаження є виявлення кореляційних зв'язків між різними показниками режиму споживання. Тип кореляційної залежності визначається імовірнісною моделлю коливання навантаження. Процедура визначення виду прогностичної залежності та розрахунок їх параметрів повинні забезпечувати раціональне стиснення інформації про минулі зміни навантаження без втрат точності й достовірності прогнозів. Методи математичної статистики дають можливість ефективно простежити характер змін і виявити необхідні закономірності для подальшого проведення розрахунків. Процес прогнозування часових залежностей вкладається в загальну систему лінійного регресійного аналізу. Регресійний аналіз на основі нелінійних моделюючих функцій (предикторів)

виконується ітераційним методом, де кожна ітерація є лінійним оцінюванням параметрів. Застосування регресійного аналізу ефективне при моделюванні усталених тенденцій. Для визначення ряду прогнозованих значень основних показників ГН використовують простіші прогнози на основі часових багаточленів. Прогноз річних максимальних навантажень виконують за допомогою багаточлена п-го порядку за формулою:

$$Y(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t + ... + \alpha_{n-1} t^{n-1} + \alpha_n t^n, \tag{1.2}$$

Практичні розрахунки показують, що використання багаточлена другого порядку дає достатню точність, а збільшення точності полінома дає невелику точність приближення. Моделювання місячних максимумів навантаження виконується на основі рівнянь, які враховують сезонні коливання прогнозованого параметра за формулою:

$$Y(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 \cos(2\pi t / T), \tag{1.3}$$

У випадках прогнозування змінних у часі показників, що нелінійно залежать від оцінювальних коефіцієнтів, використовують моделі нелінійної регресії. Як приклад, функцією такого роду є крива з насиченням, формула:

$$Y(t) = \alpha_0 - \alpha_1 \exp(-\alpha_2 t), \tag{1.4}$$

Для побудови математичної моделі графіка навантаження часову послідовність росту навантаження розкладають на три складові: загальна тенденція розвитку; спорадичні зміни; сезонні коливання. На практиці, для пошуку загальної тенденції розвитку напряму часової послідовності найбільше поширення здобув

метод найменших квадратів, який просто реалізується для лінійних або лінеаризованих залежностей. За апроксимуючу функцію використовують поліном третього ступеня . Збільшення ступеня полінома дає невелику точність наближення.

Після визначення всіх проміжних значень Y(t) отримуємо графік навантаження, рівняння:

$$P^{``}(t) = P(t) - Y(t), \tag{1.5}$$

Спорадичні (нерегулярні) коливання є нециклічними і викликані, зазвичай, різкою зміною метеоумов (приміром, люта зима). Сезонні коливання навантаження спричинені зміною пори року . Періодичність коливань становить один рік. Сезонні зміни призводять до непостійності математичного очікування навантаження. Цей недолік усувають використовуючи параметричні моделі, що враховують нестаціонарність досліджуваного процесу. Основою побудови параметричної моделі є вираження поточного значення електричного навантаження *Pt* через попереднє *Pt-1* .

Застосування методу малих вибірок при аналізі сезонних коливань дає змогу точно визначити конфігурацію добового графіка навантаження , а вираз математичного очікування ГН запишеться як:

$$M\left[P(t)\right] = Y(t) + M\left[x(t)\right], \tag{1.6}$$

Для підвищення точності прогнозів та приведення до стаціонарності вихідних значень електричного навантаження фільтрують випадкову вихідну інформацію. Прогнозування режимів електроспоживання складається з таких етапів: декомпозиція, прогноз і композиція.

Споживачів розділяють на дві групи: споживання яких підлягає оптимізації і споживання яких не підлягає оптимізації. На першому етапі визначаються режими електроспоживання не оптимізованої частини споживачів. При цьому, для кожного моменту часу т сезонного ГН вираховується різниця відповідних значень навантаження загального ГН електроспоживання та всіх ГН для процесів електроспоживання, що оптимізуються. На другому етапі здійснюється прогнозування окремо для ГН споживачів першої групи та загальних ГН електроспоживання другої групи. При цьому на основі ретроспективних даних по ГН електроспоживання встановлено, що форма графіка окремого технологічного процесу є незмінною в часі. Тому для виробництв, що оптимізуються, на перспективу форма ГН приймається незмінною, оскільки для іншої групи виконується прогнозування основних кількісних характерних за наведеним нижче алгоритмом. Для всіх характерних сезонних графіків динамічний ряд споживання енергоносія, віднесений до моменту τ, апроксимується визначеною часовою залежністю $x\tau(t)$. Для звільнення від випадкових коливань проводиться вирівнювання за методом найменших квадратів, на основі припущень, що зміна аналізованих параметрів може бути наближено виражена різними математичними співвідношеннями $y=f(t)$. Критерієм оптимального наближення є мінімум середньоквадратичного відхилення. При розрахунку трендів цій умові краще за все задовольняє функція:

$$y = a + bt + ct^2, \tag{1.7}$$

Тенденції зміни вказаних коефіцієнтів використовувались для визначення впливу на конфігурацію графіка навантаження умов експлуатації.

Для прогнозного моменту часу T визначаються очікувані значення електроспоживання, віднесеного до моменту τ для кожного графіка по формулі:

$$P`_{\psi} = \psi(T), \tag{1.8}$$

Крім того, кожний ГН характеризується сукупністю загальноприйнятих показників, наприклад, $P\psi$ - середнє по всіх моментах τ значення споживання енергоресурсів за сезон. Динамічні ряди таких характеристик апроксимуються визначеними функціональними залежностями регресійного типу, по яких пізніше знаходяться прогнозні значення. Ці величини очікуються незмінними, а прогнозні значення споживання $P\tau t$ - для кожного τ знаходяться з рішення задачі пошуку:

$$\arg\min\left\{\sum (P_{\tau T} - \varphi_{\tau}(T))^2\right\}, \tag{1.9}$$

На останньому етапі виконується композиція прогнозних ГН другої групи споживачів та ГН першої групи, отриманих множенням прогнозних ГН у відносних одиницях на величини оптимального електроспоживання для відповідного процесу.

На сьогоднішній день складність прогнозування графіків навантаження особливо зросла через відсутність сталості розвитку не тільки енергетики, а й економіки держави в цілому. Тому використання синтетичних методів для прогнозування перспективних графіків електричного навантаження не може дати надійних результатів, тому є не досить достаменним.

Остаточне вирішення задачі оцінки перспективних режимів електроспоживання в умовах перехідної економіки не може бути здійснене лише формалізованими методами, хоча вони можуть використовуватися як потужний засіб для обробки вихідної інформації. Структурні зміни не відбуваються водночас, і тому тенденції змін можуть бути ідентифіковані. Слід розглянути можливість застосування експертних методів для прогнозування графіків електричного навантаження. При побудові моделі прогнозування режимів електроспоживання основною вихідною інформацією є динамічні ряди, в яких незалежною змінною є

час. Динамічні ряди містять у собі інформацію про зміни певної характеристики в часі. Елементи ряду пов'язані відповідним моментом часу та певним проміжком часу між елементами. Суттєве значення для аналізу має послідовність розташування досліджуваних даних у ряду, оскільки за всіх випадків час виступає як визначний фактор. Фактично процес формування економетричної моделі виконується в кілька етапів.

Етап 1. Формування мети дослідження, визначення вхідних та вихідних показників моделі. На виході досягається постановка задачі з конкретним відгуком, який досліджуватиметься на зв'язок із множиною незалежних змінних. На практиці метою даного етапу є отримання інтегральних характеристик режиму електроспоживання.

Етап 2. Збір необхідної статистичної інформації та її аналіз.

Етап 3. Етап математичної побудови моделі - опис класу функції , в межах якого виконується подальший пошук конкретного типу залежності (лінійна чи нелінійна модель).

Етап 4. Оцінювання невизначених параметрів моделі. Залежно від прийнятих на першому етапі допущень, від обраного критерію оптимальності та залежно від конкретного виду отриманої системи рівнянь використовуються різні методи статистики.

Етап 5. Аналіз властивостей моделі на стійкість і достовірність прогнозу.

Етап 6. Практичне застосування моделі для досліджень системи та прогнозування характеристик на заданий момент часу. В основу побудови економетричних моделей у більшості випадків покладається принцип максимальної правдоподібності (ПМП). Ідея такого підходу полягає у прийнятті значення невідомого параметру, за якого досліджувана вибірка є найбільш вірогідною (правдоподібною). Досліджуваною вибіркою є відрізок *n* членів динамічного ряду визначеного показника. Передбачається, що вибірка вибирається з генеральної

сукупності з відомим законом розподілу, який задається густиною розподілу $f(y,\Theta)$. Густина розподілу ймовірностей вибірки задається функцією:

$$\int (y_{1,} y_{2,} \ldots y_{n,} \Theta) = \prod_{i=1}^{n} \int y_i, \Theta), \tag{1.10}$$

де $y_1,\ldots,y_n$ - спостереження; Θ - вектор значень параметрів.

Якщо поставити задачу, за якої вірогідність отримання вибірки $(y_1,\ldots,y_n)$ є максимальною, то густина розподілу цієї вірогідності буде задана тією ж функцією в якій величини $(y1,\ldots,yn)$ розглядаються як постійні, а параметри Θ - як змінні. Отже, функцію можна називати функцією вірогідності вибірки. Метою є пошук параметрів Θ, максимізуючих функцію.

1.8 Методи кореляційного та регресійного аналізу

Методи побудовані на принципі максимальної правдоподібності та належать до параметричних, тобто до традиційних методів статистики. Формалізовані методи можуть непогано наближати стійкі тенденції в характері навантажень, але вони погано оцінюють якісні зміни в характері навантажень . Такі зміни можуть бути ефективно передбачені за допомогою залучення експертних оцінок спеціалістів . При прогнозуванні перспективних показників режиму експертним шляхом за основу беруть дійсні графіки навантаження, а потім наближено враховується вплив структурних зрушень у галузях економіки, клімату і т.п.

1.9 Експертні методи прогнозування

Експертні методи прогнозування (МП) базуються на основі експертної інформації, де експертом може виступати як одна людина, так і група людей. Методи індивідуальних експертних оцінок базуються на використанні в якості джерел інформації одного експерта. Найпоширенішими методами індивідуальних експертних оцінок є метод психоінтелектуальної генерації ідей та метод інтерв'ю.

Метод будується на виявленні загальної об'єктивної оцінки експертної групи шляхом обробки індивідуальних, незалежних оцінок, винесених експертами, які входять до групи. Групова експертиза є потужним засобом для обробки слабо-формалізованих даних, дозволяє використовувати найбільш переконливі ствердження спеціалістів - експертів, та використовувати їх для підготовки науково обгрунтованих рішень. Розвитком методу колективної експертної оцінки є:

- метод експертних комісій - складається із сумісної роботи об'єднаних у комісію експертів, які розробляють документ про перспективи розвитку об'єкта прогнозування.

- метод «Дельфі»- побудований на виявленні узгодженої оцінки експертної групи шляхом їх автономного опитування в кілька турів, які передбачають повідомлення експертам результатів попереднього туру.

- метод колективної генерації ідей - побудований на стимуляції творчої діяльності експертів шляхом сумісного обговорення конкретної проблеми, регламентованого визначеними правилами. Сюди відносять метод відносної оцінки та метод "мозкових" атак.

- морфологічний аналіз - оснований на побудові матриць характеристик об'єкта прогнозування та їх можливих значень із наступним перебором та оцінкою всіх можливих варіантів сполучень цих значень. Суттєвим недоліком є відсутність впевненості в урахуванні всіх важливих факторів та варіантів значень факторів.

Отже, застосування такого методу для прогнозування графіків електричного навантаження досить обмежене.

- аналітичний метод полягає в отриманні експертних оцінок шляхом логічного аналізу прогнозної моделі. Розвитком аналітичного методу є:

- метод евристичного прогнозування - складається з побудови та наступного урізання дерева пошуку експертної оцінки з використання будь-якої евристики;

- метод побудови прогнозного сценарію - базується на встановленні логічної послідовності стану об'єкта прогнозування та прогнозного фону в часі та за різних умов для визначення мети розвитку цього об'єкта. Завданням сценарного методу є встановлення ймовірного режиму електроспоживання через встановлення логічної послідовності подій, для відображення процесу переходу системи з попереднього стану в наступний. При цьому експерт або група експертів повинні відібрати лише ту мінімально необхідну інформацію, яка належить до вирішення конкретної вузькоспеціалізованої проблеми, із урахуванням об'єктивних закономірностей розвитку. З іншого боку, має бути дуже детально показано, якими можливостями володіє об'єкт для управління ходом процесу, та перераховано всі можливі варіанти розвитку.

Проведений аналіз показує, що будь-яке завдання прогнозування спирається на складні математичні або емпіричні (інтуїтивні) методи пошуку закономірностей в даному тимчасовому процесі. Експерти підприємства по складанню прогнозу такі залежності виявляють поступово, за місяці і роки роботи; експерт вважається тим більше коштовний, чим він більше знає специфіку підприємства. Не слід також упускати з вигляду, що причини цих закономірностей можуть змінюватися з часом, корінним чином впливаючи на подальший розвиток даного процесу. Так глобальні тенденції до зміни виробничого процесу підприємства можуть за порівняно короткий період буквально перекреслити висновки експерта і відправити "до архіву" більшість методів прогнозу, що застосовувалися раніше.

Практика показує, що для прогнозування споживання електричної енергії не існує загального, єдиного методу: кожне виробництво містить індивідуальні технологічні цикли, які, підсумовуючись, утворюють унікальний часовий процес. Проте у всіх виробничих циклах вжитку енергії можна знайти загальні межі, тим самим утворюючи методичну базу для виконання точного прогнозу.

2 ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ ТОВ «ЕКСІДА»

2.1 Огляд структури електроспоживання промислового підприємства ТОВ «Ексіда»

Центр упаковочних рішень «Exida», організований з метою запуску серійного виробництва упаковочного обладнання, на даний момент колектив компанії гідно справляється з поставленою місією. Компанія динамічно вдосконалюється і збагачує номенклатуру пропонованого асортименту, захоплюючи при цьому все більше і більше ринкових сегментів, а продукція підприємства має великий і заслужений попит на території України.

ТОВ «Ексіда» є лідером у сфері продажу пакувального обладнання та пакувальних матеріалів, а також продажу харчового обладнання, поставок різної спеціалізованої техніки для складу, раціонів та переговорних пристроїв, банківської техніки та товарів для активного відпочинку.

Для оперативності та надійності фасування в тару будь-якої категорії продукції застосовують пакувальне обладнання. Спеціалізований пакувальний пристрій став невід'ємною приналежністю практично у всіх галузях виробничих підприємств, що діють, що випускають свою брендовану продукцію або займаються транспортуванням, складуванням великих обсягів товарів.

Пакувальне обладнання від «Exida» встановлено та успішно експлуатується підприємствами різної інтенсивності виробничого процесу, форм власності практично по всій Україні. Серед постійних клієнтів є й індивідуальні підприємці, які здійснюють свою діяльність у таких містах як: Київ, Харків, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Львів та відомі гіганти ринку України.

Компанія займається серійним виробництвом пакувального обладнання:

- виготовлення та запаювання пакетів;

- обладнання, що датує;

- вакуумні пакувальники;

- розмотувачі скотчу та стретч плівки;

- заклейники коробів скотчем;

- палетопакувальники;

- стрічкообв'язувальні стрепінг машини;

- термопакувальне обладнання;

- мішкозашивальні машини.

Пакувальна сировина продукту є одним з важливих факторів, що визначає її збереження в процесі транспортування, зберігання та впізнаваності бренду.

Пакувальний інвентар застосовується у всіх напрямках, де є його потреба:

- захист продукції від механічних впливів при зберіганні на складі або транспортуванні – захисні куточки та скоби пакувальні;

- захист товарів від впливів несприятливих обставин довкілля: пил, бруд, волога - плівка харчова ПВХ стретч, плівка термозбіжна;

- захист продукту від несанкціонованого вторгнення (захист від розтину) сейф-пакети;

- раціональність використання території складських приміщень та транспортних засобів – харчові лотки та ін;

- можливість надати товару привабливий, свіжий і вільно відомий вид - пакувальний скотч з логотипом компанії, вакуумні пакети, кур'єрські пакети.

Каталог товарів для пакування та її виробництва налічує понад 10000 позицій, від інвентарю до найскладнішого обладнання. Асортимент на постійній основі поповнюється новими товарами, це вакуумні пакети, харчові лотки, пакувальний скотч з логотипом і двосторонній, сталеві стрічки, захисні куточки та скоби пакувальні, харчові плівки ПВХ, сейф-пакети та кур'єрські пакети.

Компанія «Exida» досить багато уваги та часу приділяє оптимізації систем свого виробництва, удосконаленню послуг реалізації лінійки продукції. Виходячи з

цього, продаж всього представленого асортименту здійснюється за виваженими цінами за жорсткого відбору якості. Весь товар сповна відповідає чинним нормативам та стандартам безпеки та якості.

Колектив з постійною готовністю сприяє покупцю у виборі пакувального обладнання та матеріалів, укомплектуванні супутніх товарів, всього асортименту, заявленого в каталозі. Орієнтуючись на індивідуальні вимоги будь-якого клієнта, співробітники Exida готові виконати замовлення будь-яких обсягів за особливими параметрами, що відрізняються від стандартних технічних форматів.

2.2 Прогнозування електроспоживання підприємства методом формових відображень

Графіки електричних навантажень (ГЕН) створюються для окремих галузей та підприємств з урахуванням їхнього майбутнього розвитку. Протягом тривалого часу в електроенергетичній науці було розроблено безліч методів прогнозування ГЕН. Більшість із цих методів спрямована на оперативне та короткострокове прогнозування, з глибиною в кілька годин до кількох місяців. Окрему категорію складають методи для довгострокового прогнозування ГЕН, де глибина може бути розрахована на кілька років або десятиліть. Ці методи, на відміну від інших, не беруть до уваги часові ряди та виявлені залежності, базуючись на формових відображеннях.

У періоди кризи, коли спостерігається падіння виробництва та відповідне зменшення електроспоживання, основним фактором, що впливає на часову залежність електроспоживання, є зниження інтенсивності використання обладнання. Це може проявлятися в скороченні робочих змін та зменшенні кількості обладнання, яке залишається в експлуатації. На енергоємних

виробництвах, де неможливе скасування змін, зменшення виробництва відбувається через зміну завантаження обладнання та перехід на режим часткового завантаження. Це дає можливість перерозподілити навантаження між змінами доби, допомагаючи управляти електроспоживанням під час адміністративних обмежень і оптимізувати витрати на електроенергію.

Період повоєнного відновлення національної економіки, коли спостерігається зростання електроспоживання, характеризується інтенсифікацією виробництва з мінімальним введенням нових потужностей. Процеси відновлення та падіння виробництва визначаються схожими економічними чинниками, тому графіки електроспоживання в періоди зростання мають відповідати графікам падіння із таким самим електроспоживанням. Часові проміжки, спричинені аварійними відключеннями, можуть бути виявлені та відкориговані за допомогою методів статистичного аналізу.

Таким чином, в методі МФВ (метод формових відображень) період падіння виробництва є репрезентативним, оскільки він відображає суттєві зміни у структурі споживання електричної енергії, що виникають через економічні коливання. Враховуючи, що в цьому методі основна увага зосереджена на змінах електроспоживання в залежності від економічних факторів, він дозволяє точно прогнозувати споживання енергії навіть у складних економічних умовах. Тривалість ретроспективного та перспективного періодів, які використовуються в методі, не є співмірними. Зокрема, ретроспективний період може тривати близько 10 років для аналізу історії споживання енергії в країні, в той час як перспективний період прогнозування може досягати 25-30 років або навіть більше. Це дає змогу виявити довгострокові тенденції в енергоспоживанні та забезпечити високу точність прогнозів.

Зокрема, для України цей підхід дозволяє прогнозувати енергоспоживання на тривалий період навіть в умовах значних економічних та політичних змін, що характерно для країни. Це досягається завдяки можливості методики адаптуватися

до змін у макроекономічній ситуації та специфічним умовам енергетичного ринку України. Точність прогнозування, яку забезпечує метод МФВ, є значною перевагою, адже навіть в розвинених країнах досягти такої точності на довгострокову перспективу є складним завданням через численні змінні фактори, що впливають на енергоспоживання.

Ключовою перевагою методу МФВ є те, що час в аналізі виступає лише як параметр, і основна увага приділяється індексу річного електроспоживання. Використання індексу річного споживання енергії як нового аргументу дозволяє точно врахувати різноманітні економічні та соціальні фактори, що змінюють попит на електричну енергію. Важливою частиною методу є те, що ретроспективний період починається з року максимального рівня електроспоживання в минулому, що забезпечує коректну базу для подальших прогнозів. Такий підхід дозволяє виявити найвищі точки споживання енергії, після яких можуть розпочинатися як зниження, так і стабілізація споживання, а також відображає вплив зовнішніх та внутрішніх факторів, таких як економічні кризи, технічний прогрес чи зміни в енергетичній політиці.

Таким чином, метод МФВ є потужним інструментом для точного прогнозування електроспоживання на довгострокову перспективу, що дає змогу не лише ефективно планувати енергетичні ресурси, але й вчасно виявляти потреби в інвестиціях та вдосконаленні енергетичної інфраструктури.

2.3 Розрахунок електроспоживання підприємства ТОВ «Ексіда» з урахуванням динаміки його розвитку

При використанні методу МФВ до вихідних даних, окрім зазначених величин, включають річні графіки електричних навантажень (ГЕН) підприємства для

кожного року ретроспективного періоду з відповідним індексом року, а також загальне електроспоживання підприємства за ретроспективний і перспективний періоди моделей. У випадку застосування методу формових відображень вихідними даними є графіки споживання електричної енергії підприємством протягом років. Цей графік складається з двох періодів: ретроспективного [J, 0] та перспективного [0, J], де J означає максимальний рік прогнозування (додаток А). Головною ознакою методу МФВ є те, що початок ретроспективного періоду J збігається з роком, коли спостерігалося максимальне електроспоживання в минулому.

$$W_j\ (\underline{J}) = \max\left[Wj(\ \underline{j}\ )\right], \tag{2.1}$$

де j - всі роки минулого періоду, для яких існує статистика $Wj(j)$.

Для прогнозування обсягів споживання електричної енергії на перспективний період використовується бізнес-план розвитку підприємства та дані про питомі показники електроспоживання за попередні роки. Розрахунок проводиться за наступною формулою:

$$W_j(J) = W_{num\underline{j}} \cdot П\ , \tag{2.2}$$

де $П$ – обсяг планованої продукції згідно Бізнес планом , шт;

$W_{num\underline{i}}$ – питоме електроспоживання , кВт·год / шт.

$$W_{\text{пит}\underline{j}} = \frac{1}{N_{\underline{j}}} W\underline{j}\ , \tag{2.3}$$

де $N_{\underline{i}}$ – обсяг виробленої продукції в ретроспективному періоді в j році, шт;

$W_{\underline{i}}$ – обсяг спожитої електроенергії в ретроспективному періоді в j році, кВт·год.

Первинні відомості приведені до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 − Обсяги виробленої продукції та спожитої електроенергії

Роки	Обсяг	
	виробленої продукції , шт	спожитої електроенергії , кВт·год
2018	544612	7079,956
2019	119697	1556,061
2020	744518	9678,734
2021	669515	8703,695
2022	769468	10003,084
2023	869421	11302,473

Розрахуємо питоме електроспоживання за формулою 2.2.

$$W_{2015} = 1/\ 38610284 \cdot\ 94897 = 0{,}013 \text{ кВт·год / шт.}$$

Подальші розрахунки робимо аналогічно і результати вносимо в таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Питоме електроспоживання виробництва на одиницю продукції

Роки	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Питоме електроспоживання, кВт·год / шт	0,0121	0,0144	0,0167	0,019	0,021	0,024

Середнє питоме електроспоживання виробництва на одиницю продукції знайдемо за формулою:

$$\overline{W}_{num} = \frac{1}{Q}\sum W_{num_j}, \tag{3.4}$$

де Q – кількість розглянутих років.

$$\overline{W}_{\text{пит}} = 1/6 \cdot 0{,}07543 = 0{,}0136 \text{ кВт·год / шт.}$$

Згідно з Бізнес планом розвитку підприємства, зможемо розрахувати споживання електричної енергії підприємством на перспективний період до 2030 року згідно формули 3.2

$W_{2025} = 0{,}013 \cdot 1200000 = 15600$ кВт·год,
$W_{2026} = 0{,}013 \cdot 1400000 = 18200$ кВт·год,
$W_{2027} = 0{,}013 \cdot 1600000 = 20800$ кВт·год,
$W_{2028} = 0{,}013 \cdot 1800000 = 23400$ кВт·год,
$W_{2029} = 0{,}013 \cdot 2000000 = 26000$ кВт·год,
$W_{2030} = 0{,}013 \cdot 22000000 = 28600$ кВт·год,

Розрахункові данні споживання електричної енергії у перспективний період, а також статистичні данні споживання електричної енергії у ретроспективний період зведемо у таблицю 2.3 , та побудуємо графік споживання електроенергії по роках.

Таблиця 3.3 – Споживання підприємством електричної енергії 2025 - 2030 рр.

Роки ретроспективного періоду	Електроспоживання , кВт·год
2025	15600
2026	18200
2027	20800
2028	23400
2029	26000
2030	28600

2.4 Алгоритм визначення графіків електричного споживання підприємством на довгострокову перспективу

При прогнозуванні графіків електричного навантаження підприємства на тривалий термін, згідно з методом формових відображень (МФВ), розробимо алгоритм дій.

1. Метод формових відображень базується на простій екстраполяції з використанням рівняння часового тренду. Він передбачає збереження існуючих тенденцій, що спостерігалися в минулому (ретроспективному періоді), і в майбутньому. Тому, обчислюючи індекси річного споживання електроенергії підприємством, ми створюємо основу для перспективного прогнозування.

Індекс – це відносний показник, що описує зміну обсягів споживання електроенергії підприємством з плином часу.

Розраховуємо індекси річного споживання електроенергії за роки минулого періоду, використовуючи формулу 3.5, та для майбутнього періоду за відповідною формулою:

$$a_{\underline{j}} = \frac{W_{\underline{j}}}{W_0} \quad , \tag{2.5}$$

$$a_j = \frac{W_j}{W_0} \quad , \tag{2.6}$$

де W_0 – об'єм спожитої електричної енергії у базовий рік , кВт·год;

W_j - об'єм електричної енергії, який прогнозується для споживання у перспективний період , кВт·год;

$W_{\underline{j}}$ – об'єм спожитої електричної енергії у ретроспективний період , кВт·год.

Відповідно до Постанови НКРЕ, базовим роком вважається рік, що безпосередньо передує тому, для якого створюється нормативна характеристика технологічних витрат електроенергії в електричних мережах. Цей рік також слугує основою для прогнозування структури балансу електроенергії на поточний рік. Оскільки метод формових відображень призначений для довгострокового прогнозування, у розрахунках за базовий рік було обрано 2020 рік, як період стабільної діяльності підприємства. Розрахунок індексів річного споживання електроенергії за роки ретроспективного періоду здійснюється за формулою 2.5.

$$a_{2015} = \frac{876452}{586984} = 1{,}34.$$

Для років ретроспективного періоду: 2026, 2027, 2028, 2029, 2030 робимо аналогічні розрахунки та рішення зводимо у таблицю 2.4. Визначаємо індекси річного електроспоживання за роками перспективного періоду за формулою 2.6:

$$a_{2022} = \frac{686210}{662930} = 1{,}02\ .$$

Для років прогнозованого періоду: 2025 − 2030 робимо аналогічні розрахунки, та рішення зводимо у таблицю 2.4.

2. Енергоспоживання не є постійною величиною, а залежить від особливостей виробничого процесу, типу та виду електроприймачів, пори року та часу доби. Відповідно, змінюється і режим функціонування трансформаторної підстанції. Коливання навантажень описуються графіками, що демонструють зміну споживаної потужності залежно від часу доби.

Таблиця 2.4 – Індекси річного електроспоживання

Роки	Індекси річного електроспоживання	
	ретроспективний період	перспективний період
1	2	3
2018	1,43	
2019	0,75	
2020	0,60	
2021	0,93	
2022	1,03	
2020	1(базовий рік)	
2025		1,02
2026		1,04
2027		1,10
2028		1,67
2029		1,76
2020		1,86

Добовий графік навантаження, його форма та коефіцієнт заповнення, а також максимальні значення навантажень можуть варіюватися в широких межах. Для аналізу складаються орієнтовні графіки активної потужності.

Далі буде визначено форми річних графіків енергоспоживання для кожного року ретроспективного періоду.

$$F_{\underline{j}}(t) = \frac{P_{\underline{j}}(t)}{P_{\underline{j}}^{\max}}, \qquad (23.7)$$

де $P_{\underline{j}}(t)$ − річна потужність підприємства в j – ому році , ретроспективного періоду , кВт;

P_i^{max}– максимальне значення потужності підприємства у ретроспективному періоді, кВт;

t – місяці поточного року.

Щоб визначити форму річних графіків електричного навантаження підприємства, потрібні статистичні дані про потужність підприємства за ретроспективний період. Ці дані подано у зведеній таблиці 2.5.

Таблиця 2.5– Потужність підприємства ретроспективного періоду

Місяць	Потужність підприємства , кВт					
січень	2025	2026	2027	2028	2029	2030
лютий	2054,52	1350,18	1353,06	1953,72	2753,4	2054,52
березень	1288,62	1514,88	1762,92	2127,24	2346,3	1288,62
квітень	1404,72	1181,16	1970,28	2225,88	2209,3	1404,72
травень	1508,58	783	1678,32	2070,18	1783,8	1508,58
червень	1749,24	672,66	1756,62	2299,14	1756,0	1749,24
липень	1304,46	997,38	1778,04	1928,34	1729,8	1304,46
серпень	1446,3	870,12	1616,22	1922,76	1577,8	1446,3
вересень	1213,56	1158,48	1686,24	1876,14	1920,2	1213,56
жовтень	1457,1	1358,64	1834,02	1767,6	1850,5	1457,1
листопад	1595,7	1332,54	1526,22	1609,38	2030,2	1595,7
грудень	3245,58	1475,64	1346,58	2079,54	1731,6	1794,78
$\sum$ *річ.*	3504,96	18024,3	14115,42	38082,96	21511	21752,46

За допомогою формули 3.7 визначаємо форми річних графіків електричного навантаження для кожного року ретроспективного періоду щомісячно:

$$F_{2015}\text{ (січень)} = 182{,}61/\ 202,\ 8 = 0{,}9.$$

$$F_{2015}\text{ (лютий)} = 137{,}11/\ 202{,}8 = 0{,}68.$$

Наступні розрахунки виконуємо аналогічно, та результати заносимо до таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Форми річних ГЕН

Місяці	Форми річних ГЕН					
	2025	2026	2027	2028	2029	2030
січень	0,864	0,96	0,8352	0,624	0,81504	0,96
лютий	0,6528	0,6048	0,9408	0,816	0,888	0,912
березень	0,5664	0,6528	0,7296	0,912	0,92928	0,768
квітень	0,6528	0,7008	0,48	0,7776	0,864	0,72
травень	0,6432	0,816	0,4128	0,8064	0,96	0,7104
червень	0,7008	0,6048	0,6144	0,8256	0,80544	0,7008
липень	0,7392	0,672	0,5376	0,7392	0,80256	0,6432
серпень	0,7296	0,5664	0,72	0,7776	0,78336	0,672
вересень	0,6144	0,6816	0,8448	0,8448	0,73824	0,7392
жовтень	0,96	0,7488	0,8256	0,7008	0,672	0,7104
листопад	0,8544	0,6912	0,8352	0,96	0,72288	0,72
грудень	0,9216	0,7104	0,96	0,9216	0,792	0,6912

3. Нерівності визначення квазіформ генеральних енергетичних навантажень (ГЕН) базуються на формах річних графіків електронавантаження підприємства, відображених у додатку [Б]. Прогнозовані графіки споживання електроенергії для кожного року майбутнього періоду є пропорційними графікам попередніх років, де коефіцієнт пропорційності відповідає індексам річного електроспоживання.
Відповідно, для кожного прогнозного року періоду необхідно визначити нерівності за такими формулами:

$$a_{\underline{j}+1} \le a_j \le a_{\underline{j}}, \tag{2.8}$$

або $$a_j > a_{\underline{j}}. \qquad (2.9)$$

Всі вірогідні нерівності зведені у таблицю 2.7.

4. Квазіформи генеральних енергетичних навантажень (ГЕН) підприємства

Для кожного прогнозного року перспективного періоду визначаються квазіформи електронавантаження — це умовні моделі графіків електричного навантаження підприємства, які формуються на основі ретельно опрацьованих даних ретроспективного періоду.

Розрахунок квазіформ здійснюється з урахуванням нерівностей, які деталізують співвідношення між параметрами електроспоживання, такими як середньодобове та пікове навантаження, тривалість роботи устаткування на різних рівнях потужності, а також коефіцієнти використання встановленої потужності. Ці нерівності зведені у таблиці 3.7, яка містить всі необхідні коефіцієнти пропорційності, що характеризують енергоспоживання підприємства за ретроспективний період.

Для кожного року перспективного періоду, у якому виконується залежність (3.8), квазіформи ГЕН підприємства розраховуються за наведеною формулою:

$$F_j^*(t) = F_{\underline{j}+1} + \left[F_{\underline{j}}(t) - F_{\underline{j}+1}(t) \right] \frac{a_j - a_{\underline{j}+1}}{a_{\underline{j}} - a_{\underline{j}+1}} \ , \qquad (2.10)$$

Для років, для яких справедлива залежність (2.9) , квазіформи галузевих ГЕН обчислюються за формулою:

$$F_j^*(t) = F_{\underline{J}}(t) + \left[F_{\underline{J}}(t) - F_{\underline{J}+1}(t) \right] \times \frac{a_j - a_{\underline{J}}}{a_{\underline{J}} - a_{\underline{J}+1}} \exp\left(- \frac{a_j - a_{\underline{J}}}{a_{\underline{J}} - a_{\underline{J}+1}} \right). \qquad (2.11)$$

Квазіформи ГЕН для наступних прогнозуємих місяців та років розраховуємо аналогічно, та результати вносимо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.7 – Нерівності для визначення квазіформ ГЕН

Рік	Умови нерівностей			
	$a_{\underline{j}+1} \le a_j \le a_{\underline{j}}$		$a_j > a_{\underline{j}}$	
1	2	3	4	5
2025	$a_{2016} \le a_{2025} \le a_{2015}$ $a_{2017} \le a_{2025} \le a_{2016}$ $a_{2018} \le a_{2025} \le a_{2017}$ $a_{2019} \le a_{2025} \le a_{2018}$ $a_{2020} \le a_{2025} \le a_{2019}$	$0,75 \le 1,28 \le 1,43$ $0,60 \le 1,28 \not\le 0,75$ $0,93 \le 1,28 \not\le 0,60$ $1,03 \le 1,28 \not\le 0,93$ $1 \le 1,28 \not\le 1,03$	$a_{2025} > a_{2018}$ $a_{2025} > a_{2017}$ $a_{2025} > a_{2019}$ $a_{2025} > a_{2020}$	1,28>0, 1,28>0,6093 1,28>1 1,28>1,03
2026	$a_{2016} \le a_{2016} \le a_{2015}$ $a_{2017} \le a_{2016} \le a_{2016}$ $a_{2018} \le a_{2016} \le a_{2017}$ $a_{2019} \le a_{2016} \le a_{2018}$ $a_{2010} \le a_{2016} \le a_{2019}$	$0,75 \le 1,35 \le 1,43$ $0,60 \le 1,35 \not\le 0,75$ $0,93 \le 1,35 \not\le 0,60$ $1,03 \le 1,35 \not\le 0,93$ $1 \le 1,35 \not\le 1,03$	$a_{2016} > a_{2017}$ $a_{2016} > a_{2018}$ $a_{2016} > a_{2019}$ $a_{2016} > a_{2020}$	1,35>0,60 1,35>0,93 1,35>1,03 1,35>1
2027	$a_{2016} \le a_{2017} \le a_{2015}$ $a_{2017} \le a_{2017} \le a_{2016}$ $a_{2018} \le a_{2017} \le a_{2017}$ $a_{2019} \le a_{2017} \le a_{2018}$ $a_{2020} \le a_{2017} \le a_{2019}$	$0,75 \le 1,45 \not\le 1,43$ $0,60 \le 1,45 \not\le 0,75$ $0,93 \le 1,45 \not\le 0,60$ $1,03 \le 1,45 \not\le 0,93$ $1 \le 1,45 \not\le 1,03$	$a_{2017} > a_{2015}$ $a_{2017} > a_{2016}$ $a_{2017} > a_{2017}$ $a_{2017} > a_{2018}$ $a_{2017} > a_{2019}$ $a_{2017} > a_{2020}$	1,45> 1,43 1,45> 0,75 1,45> 0,60 1,45>0,93 1,45> 1,03 1,45>1
2028	$a_{2016} \le a_{2018} \le a_{2015}$ $a_{2017} \le a_{2018} \le a_{2016}$ $a_{2018} \le a_{2018} \le a_{2017}$ $a_{2019} \le a_{2018} \le a_{2018}$ $a_{2020} \le a_{2018} \le a_{2019}$	$0,75 \le 1,67 \not\le 1,43$ $0,60 \le 1,67 \not\le 0,75$ $0,93 \le 1,67 \not\le 0,60$ $1,03 \le 1,67 \not\le 0,93$ $1 \le 1,67 \not\le 1,03$	$a_{2018} > a_{2015}$ $a_{2018} > a_{2016}$ $a_{2018} > a_{2017}$ $a_{2018} > a_{2018}$ $a_{2018} > a_{2019}$ $a_{2018} > a_{2020}$	1,67> 0,43 1,67> 0,75 1,67> 0,60 1,67>0,93 1,67> 1,03 1,67>1
2029	$a_{2016} \le a_{2019} \le a_{2015}$ $a_{2017} \le a_{2019} \le a_{2016}$ $a_{2018} \le a_{2019} \le a_{2017}$ $a_{2019} \le a_{2019} \le a_{2018}$ $a_{2020} \le a_{2019} \le a_{2019}$	$0,75 \le 1,76 \not\le 1,43$ $0,60 \le 1,76 \not\le 0,75$ $0,93 \le 1,76 \not\le 0,60$ $1,03 \le 1,76 \not\le 0,93$ $1 \le 1,76 \not\le 1,03$	$a_{2019} > a_{2015}$ $a_{2019} > a_{2016}$ $a_{2019} > a_{2017}$ $a_{2019} > a_{2018}$ $a_{2019} > a_{2019}$ $a_{2019} > a_{2020}$	1,76> 0,43 1,76> 0,75 1,76> 0,60 1,76>0,93 1,76> 1,03 1,76>1
2030	$a_{2016} \le a_{2020} \le a_{2015}$ $a_{2017} \le a_{2020} \le a_{2016}$ $a_{2018} \le a_{2020} \le a_{2017}$ $a_{2019} \le a_{2020} \le a_{2018}$ $a_{2020} \le a_{2020} \le a_{2019}$	$0,75 \le 1,86 \not\le 1,43$ $0,60 \le 1,86 \not\le 0,75$ $0,93 \le 1,86 \not\le 0,60$ $1,03 \le 1,86 \not\le 0,93$ $1 \le 1,86 \not\le 1,03$	$a_{2020} > a_{2015}$ $a_{2020} > a_{2016}$ $a_{2020} > a_{2017}$ $a_{2020} > a_{2018}$ $a_{2020} > a_{2019}$ $a_{2020} > a_{2020}$	1,86> 1,43 1,86> 0,75 1,86> 0,60 1,86>0,93 1,86> 1,03 1,86>1

Таблиця 2.8 – Квазіформи ГЕН перспективного періоду

Місяць	Квазіформи ГЕН 2022 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна
1	2	3	4	5	6	7
січень	0,9408	0,9898	0,7742	0,7056	0,8918	0,756±0,73%
лютий	0,637	0,5782	0,9114	0,8624	0,9114	0,696±2,2%
березень	0,63112	0,6566	0,8134	0,9408	0,8918	0,703±1,9%
квітень	0,6958	0,7448	0,5978	0,8232	0,833	0,654±1,4%
травень	0,7644	0,882	0,5684	0,8722	0,8918	0,711±1,9%
червень	0,6566	0,6174	0,7056	0,833	0,784	0,634±1,3%
липень	0,7154	0,7056	0,6272	0,7742	0,7644	0,638±0,87%
серпень	0,6468	0,5586	0,7546	0,7938	0,7644	0,718±1,51%
вересень	0,6664	0,6762	0,8624	0,8232	0,7546	0,772±2,29%
жовтень	0,8526	0,7546	0,7938	0,7056	0,6958	0,776±0,92%
листопад	0,7742	0,686	0,9016	0,8918	0,735	0,814±1,29%
грудень	0,8134	0,6958	0,9702	0,8918	0,7742	0,846±1,38%
Місяць	Квазіформи ГЕН 2023 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна
січень	0,957	0,793	0,734	0,813	0,997	0,859±1,42%

Продовження таблиці 2.8

лютий	1,07	0,809	0,677	0,839	1,000	0,879±1,9%
березень	0,594	0,944	0,860	0,923	0,950	0,854±1,89%
квітень	0,745	0,813	0,953	0,979	0,800	0,860±1,25%
травень	0,766	0,586	0,823	0,910	0,750	0,767±1,67%
червень	0,980	0,544	0,862	1,01	0,740	0,827±2,5%
липень	1,07	0,809	0,677	0,839	1,000	0,879±1,9%
серпень	0,662	0,771	0,821	0,822	0,707	0,757±1,01%
вересень	0,680	0,880	0,847	0,769	0,764	0,788±1,07%
жовтень	0,874	0,814	0,726	0,691	0,788	0,779±1%
листопад	0,792	0,916	0,919	0,754	0,792	0,835±0,99%
грудень	0,834	0,986	0,920	0,850	0,732	0,864±1,19%
Місяць	Квазіформи ГЕН 2024 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна
січень	0,673	0,717	0,864	0,865	0,755	0,775±1,23%
лютий	0,730	0,634	0,803	0,875	0,726	0,754±1,3%
березень	0,662	0,771	0,821	0,822	0,707	0,757±1,01%
квітень	0,680	0,880	0,847	0,769	0,764	0,788±1,07%
травень	0,874	0,814	0,726	0,691	0,788	0,779±1%
червень	0,792	0,916	0,919	0,754	0,792	0,835±0,99%
липень	0,834	0,986	0,920	0,850	0,732	0,864±1,19%
серпень	0,673	0,717	0,864	0,865	0,755	0,775±1,23%

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7
вересень	0,746	0,880	0,845	0,769	0,770	0,802±0,77%
жовтень	0,667	0,817	0,721	0,691	0,742	0,728±0,78%
листопад	0,632	0,913	0,923	0,754	0,752	0,795±1,67%
грудень	0,627	0,987	0,918	0,849	0,721	0,820±1,9%
Місяць	Квазіформи ГЕН 2025 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна
січень	0,915	0,812	0,671	0,849	1	0,849±1,56%
лютий	0,638	0,946	0,858	0,925	0,950	0,863±1,64%
березень	0,667	0,810	0,952	0,968	0,800	0,839±1,59%
квітень	0,723	0,582	0,820	0,900	0,750	0,755±1,69%
травень	0,823	0,538	0,857	1	0,740	0,792±2,32%
червень	0,915	0,812	0,671	0,849	1	0,849±1,56%
липень	0,638	0,946	0,858	0,925	0,950	0,863±1,64%
серпень	0,667	0,810	0,952	0,968	0,800	0,839±1,59%
вересень	0,760	0,880	0,865	0,769	0,770	0,809±0,78%
жовтень	0,621	0,824	0,726	0,697	0,740	0,722±0,83%
листопад	0,597	0,960	0,966	0,753	0,750	0,805±2,12%
грудень	0,581	0,989	0,941	0,832	0,720	0,813±2,2%

Продовження таблиці 2.8

Місяць	Квазіформи ГЕН 2026 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна
січень	0,722	0,609	0,774	0,836	0,670	0,722±1,32%
лютий	0,643	0,764	0,810	0,816	0,700	0,747±1,08%
березень	0,688	0,880	0,873	0,769	0,770	0,796±1,09%
квітень	0,849	0,829	0,728	0,700	0,740	0,796±0,92%
травень	0,714	0,573	0,816	0,900	0,750	0,751±1,75
червень	0,645	0,700	0,858	0,839	0,730	0,754±1,31%
липень	0,710	0,615	0,777	0,836	0,670	0,722±1,3%
серпень	0,616	0,766	0,810	0,816	0,700	0,742±1,22%
вересень	0,700	0,880	0,868	0,769	0,770	0,797±1,02%
жовтень	0,813	0,826	0,727	0,700	0,740	0,761±0,79%
листопад	0,746	0,904	0,974	0,753	0,750	0,825±1,35%
грудень	0,773	0,989	0,946	0,825	0,720	0,851±1,44%
Місяць	Квазіформи ГЕН 2027 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна
січень	0,969	0,818	0,663	0,849	0,999	0,860±1,68%
лютий	0,646	0,949	0,855	0,925	0,950	0,865±0,72%
березень	0,652	0,805	0,951	0,968	0,800	0,830±1,68%

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7
квітень	0,714	0,573	0,816	0,900	0,750	0,751±1,75
травень	0,793	0,526	0,850	0,999	0,740	0,782±2,38%
червень	0,661	0,692	0,859	0,839	0,730	0,756±1,28%
липень	0,722	0,609	0,774	0,836	0,670	0,722±1,32%
серпень	0,643	0,764	0,810	0,816	0,700	0,747±1,08%
вересень	0,688	0,880	0,873	0,769	0,770	0,796±1,09%
жовтень	0,849	0,829	0,728	0,700	0,740	0,796±0,92%
листопад	0,773	0,900	0,984	0,753	0,750	0,832±1,36%
грудень	0,809	0,990	0,951	0,825	0,720	0,859±1,39%
Місяць	Квазіформи ГЕН 2028 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна
січень	0,897	0,827	0,656	0,849	0,999	0,846±1,59%
лютий	0,681	0,955	0,852	0,925	0,950	0,873±1,42%
березень	0,587	0,797	0,951	0,968	0,800	0,821±2,01%
квітень	0,679	0,560	0,813	0,900	0,750	0,740±1,89%
травень	0,665	0,510	0,845	0,999	0,740	0,752±1,64%
червень	0,733	0,683	0,859	0,839	0,730	0,769±1,07%
липень	0,772	0,601	0,772	0,836	0,670	0,730±1,38%
серпень	0,765	0,762	0,810	0,816	0,700	0,771±0,65%
вересень	0,638	0,880	0,877	0,769	0,770	0,787±1,36%

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7
жовтень	1,00	0,835	0,729	0,700	0,740	0,801±1,65%
листопад	0,895	0,895	0,993	0,753	0,750	0,857±1,31%
грудень	0,966	0,992	0,956	0,825	0,720	0,892±1,4%
Місяць	Квазіформи ГЕН 2029 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна
січень	0,875	0,842	0,651	0,849	0,999	0,843±1,6%
лютий	0,692	0,964	0,850	0,925	0,950	0,876±1,3%
березень	0,568	0,784	0,950	0,968	0,800	0,814±2,13%
квітень	0,668	0,539	0,840	0,900	0,750	0,740±2,08%
травень	0,625	0,482	0,860	0,999	0,740	0,741±1,92%
червень	0,755	0,668	0,770	0,839	0,730	0,752±0,89%
липень	0,787	0,586	0,810	0,836	0,670	0,738±1,55%
серпень	0,802	0,758	0,880	0,816	0,700	0,791±0,92%
вересень	0,623	0,880	0,730	0,769	0,770	0,754±1,32%
жовтень	1,05	0,844	0,999	0,700	0,740	0,867±1,92%
листопад	0,932	0,886	0,960	0,753	0,750	0,856±1,25%
грудень	1,02	0,995	0,959	0,825	0,720	0,904±1,52%
Місяць	Квазіформи ГЕН 2030 відносно років					
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Вірогідна

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7
січень	0,870	0,847	0,650	0,849	0,999	0,843±1,68%
лютий	0,695	0,966	0,850	0,925	0,950	0,877±1,37%
березень	0,563	0,780	0,950	0,968	0,800	0,812±2,2%
квітень	0,655	0,532	0,810	0,900	0,750	0,729±1,29%
травень	0,616	0,473	0,840	0,999	0,740	0,734±2,9%
червень	0,760	0,663	0,859	0,839	0,730	0,770±1,13%
липень	0,791	0,582	0,770	0,836	0,670	0,730±1,51%
серпень	0,811	0,756	0,810	0,816	0,700	0,779±0,69%
вересень	0,619	0,880	0,879	0,769	0,770	0,783±1,47%
жовтень	1,065	0,846	0,730	0,700	0,740	0,816±1,98%
листопад	0,941	0,884	0,999	0,753	0,750	0,865±1,39%
грудень	1,025	0,996	0,959	0,825	0,720	0,905±1,53%

Визначення квазіформ ГЕН та метод вірогідності складних подій.

Для кожного прогнозного року в періоді з 2020 до 2030 року, відповідно до нерівностей (2.10) та (2.11), були визначені квазіформи генеральних енергетичних навантажень (ГЕН). Для кожного місяця кожного року розроблено п'ять можливих варіантів квазіформ графіків електронавантаження залежно від методики розрахунку.

Для визначення остаточного прогнозного графіка електронавантаження потрібно обрати лише одну з можливих квазіформ. У цій роботі вперше застосовано метод вірогідності складних подій, що базується на теорії ймовірностей. Складні

події розглядаються як серія експериментів із комбінацією усіх можливих результатів.

Для врахування усіх варіантів створюється «дерево ймовірностей», яке відображає послідовність експериментів та результати. Експерименти позначаються кружками, а кожен можливий результат — гілкою, що виходить із кружка.

Для подальших обчислень обирається єдина, найбільш імовірна квазіформа. Задачу вирішено за правилом симетрії ймовірностей:

$$F^*_{\text{січень2021}} = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} F^*_{\text{січень2021}}, , \tag{2.12}$$

$$F^*_{\text{сер2021}} = \frac{1}{5}(0{,}96 + 1{,}01 + 0{,}79 + 0{,}72 + 0{,}91) = 0{,}878.$$

Остаточні розрахунки виконуються аналогічно попереднім етапам, а отримані результати представлені у таблиці 2.8.

У роботі вперше розраховано ймовірність похибки результатів за допомогою методу математичної статистики — розподілу Стьюдента.

Розподіл Стьюдента є результатом сумування кількох нормально розподілених випадкових величин. Зі збільшенням кількості таких величин підвищується ймовірність, що їх сума набуде нормального розподілу. Кількість величин, що сумуються, визначає ключовий параметр цього розподілу — ступінь свободи.

Розподіл Стьюдента дозволяє оцінити відхилення середнього значення, обчисленого для вибірки, від середнього значення всієї сукупності. Це забезпечує можливість визначення ймовірної похибки результату.

Розрахуємо квазиформу ГЕН для січня 2025 року згідно метода розподілу Стьюдента:

а) визначимо середнє арифметичне значення квазіформи ГЕН січня 2025 року за формулою:

$$F^*_{сер} = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} F^*_{січень},, \tag{2.13}$$

$$F^*_{сер} = \frac{1}{5}(0,96 + 1,01 + 0,79 + 0,72 + 0,91) = 0,878.$$

б) для розрахунку випадкових відхилень квазіформ від середнього арифметичного значення генеральної енергетичної навантаженості (ГЕН) використовується така формулі:

$$p_i = F^*_i - F^*_{сер}. \tag{2.14}$$

Згідно з формулою 3.14 розрахуємо випадкові відхилення квазиформ від середнього арифметичного значення квазіформи ГЕН січня 2025 року:

$p_{\text{січень1}} = 0,96 - 0,878 = 0,082;$
$p_{\text{січень 2}} = 1,01 - 0,878 = 0,132;$
$p_{\text{січень 3}} = 0,79 - 0,878 = - 0,088;$
$p_{\text{січень4}} = 0,72 - 0,878 = - 0,158;$
$p_{\text{січень5}} = 0,91 - 0,878 = - 0,032.$

Розрахунки випадкових відхилень та їх квадратів зводимо до таблиці 3.9

Таблиця 2.9 – Випадкові відхилення квазиформ ГЕН

Відхилення квазиформ	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022
p_i	0,082	0,132	-0,088	-0,158	-0,032
p_i^2	0,0067	0,017	0,0077	0,025	0,001

Квазиформа ГЕН січня 2021 року, порівняно з ретроспективним періодом 2028-2029 років, суттєво відрізняється від середнього значення порівняно з іншими. Тому потрібно перевірити, чи не є це помилкою (при $p_3 > 3\delta$ воно є промахом і при обробці результатів не враховується).

в) середнє квадратичне відхилення (δ) без урахування p_3 визначається згідно з формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{4} p_i^2\right)}, \tag{2.14}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{3}\left(0,0067 + 0,017 + 0,025 + 0,001\right)} = 0,13,$$

так як p_3=0,088 $\not\geq 3 \cdot 0,13$, то ця квазиформа ГЕН не є промахом , тому середнє квадратичне відхилення форм ГЕН складе:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{5}\left(0,0067 + 0,017 + 0,0077 + 0,025 + 0,001\right)} = 0,11.$$

г) знайдемо середню квадратичну похибку середнього арифметичного згідно формули:

$$\delta_{F_{ñåð}} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}, \tag{2.15}$$

$$\delta_{F_{\text{ñåð}}} = \frac{0,11}{\sqrt{5}} = 0,049$$

д) імовірна похибка форми графіка електричного навантаження знайдемо за формулою:

$$\delta_F = \frac{\Delta F}{F_{сер}} \cdot 100\%, \tag{2.16}$$

$$\Delta F = t_n \cdot \delta_{F_{сер,}} \tag{2.17}$$

де t_n – коефіцієнт Стьюдента , табличне значення , який знаходимо за таблицею на перехресті числа ступенів свободи та вірогідністю середнє квадратичного відхилення p=0,1, t_n = 0,13.

Імовірна похибка форми графіка електричного навантаження, згідно з формулою 2.16, буде дорівнювати

$$\Delta F = 0,13 \cdot 0,049 = 0,0064.$$

$$\delta_F = 0,0064 / 0,878 \cdot 100\% = 0,73\%.$$

Форма графіка електричного навантаження за січень 2021 року, згідно з формулою, складе :

$$F = F_{сер} \pm t_n \cdot \delta_{F_{сер}}, \tag{2.18}$$

$$F_{\text{січень 2021}} = 0,878 \pm 0,73\%.$$

Для кожного місяця перспективного року аналогічно розраховуємо

квазіформи ГЕН з імовірністю похибки, і розрахункові дані вносимо до таблиці 2.8.

5. Форми прогнозованих ГЕН перспективного періоду визначаються таким чином. Розрахункові значення прогнозованного графіка електричного навантаження зведемо у таблиці 2.10:

$$F_i^{прогноз}(t) = \frac{F_i^*(t)}{F_i^{*\max}}, , \tag{2.19}$$

$$F_{2012}^{прогноз}(січень) = \frac{F_i^*(січень)}{F_i^{*\max}} = \frac{0,859}{0,868} = 0,989.$$

Таблиця 2.10 – Прогнозовані ГЕН

Місяць	Прогнозовані ГЕН									
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
січень	0,978	0,981	0,989	0,973	0,983	0,938	0,923	0,921	0,920	0,978
лютий	0,989	0,989	0,961	0,989	0,989	0,968	0,958	0,958	0,958	0,989
березень	0,969	0,982	0,967	0,961	0,949	0,910	0,890	0,887	0,885	0,969
квітень	0,878	0,890	0,863	0,865	0,858	0,821	0,810	0,797	0,797	0,878
травень	0,931	0,961	0,931	0,908	0,894	0,834	0,811	0,802	0,797	0,931
червень	0,883	0,858	0,831	0,864	0,864	0,853	0,823	0,842	0,841	0,883
липень	0,857	0,833	0,802	0,828	0,826	0,809	0,807	0,798	0,797	0,857
серпень	0,862	0,832	0,803	0,851	0,854	0,854	0,865	0,852	0,852	0,862
вересень	0,898	0,920	0,910	0,914	0,910	0,872	0,825	0,855	0,854	0,898
жовтень	0,887	0,836	0,812	0,872	0,879	0,888	0,948	0,892	0,893	0,887
листопад	0,951	0,912	0,906	0,945	0,951	0,950	0,937	0,945	0,945	0,951
грудень	0,984	0,941	0,915	0,975	0,982	0,989	0,989	0,989	0,989	0,984

6. Коефіцієнт заповнення графіка електричного навантаження підприємства.

Головним показником графіка електроспоживання є коефіцієнт заповнення графіка електричного навантаження підприємства. Для кожного розрахункового року обчислюємо прогнозовані коефіцієнти заповнення ГЕН відповідно до прогнозованих графіків електричного навантаження за період Т = 12 місяців, за формулою:

$$k_j^{зап} = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{J} F_J^{прогноз}(t),, \tag{2.20}$$

$$k_{2011}^{зап} = \frac{1}{12}\left(1+0,907+0,915+0,859+0,925+0,836+0,836+0,818+0,879+0,884+0,927+0,964\right) = 0,896.$$

Остаточні розрахунки коефіцієнта заповнення ГЕН для прогнозованих років проводимо аналогічно , та зводимо їх у таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Коефіцієнти заповнення ГЕН прогнозованих років

Роки	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
$K^{зап}$	0,923	0,911	0,891	#ЗНАЧ!	0,912	0,890	0,882	0,878	0,877	0,923

7. Максимально прогнозована потужність підприємства.

Для кожного розрахункового року обчислюємо максимальні значення потужності підприємства відповідно від коефіцієнту заповнення річного ГЕН та кількості робочих днів за формулою :

$$P_j^{\max прогноз} = \frac{W_j}{k_j^{зап} \cdot T}, \tag{2.21}$$

де T кількість робочих днів в даному році, $j = \overline{1,J}$.

$$P_{2011}^{\max прогноз} = \frac{676189}{0,896 \cdot 250} = 3004,15. \text{ кВт.}$$

Наступні розрахунки для кожного року перспективного періоду виконуються аналогічно, з урахуванням кількості робочих днів, і результати зводяться до таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Максимальні значення прогнозованих ГЕН

Роки	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
$P_j^{\max прогноз}$ кВт	3004	2907	3122	3612	3736	3824	4339	4983	5213	5526

8. Прогнозування потужності підприємства. Обчислюємо прогнозовану потужність підприємства відповідно до максимального прогнозованого значення потужності та форми ГЕН за формулою:

$$P_j^{прогноз} = P_j^{\max прогноз} \cdot F_j^{прогноз}(t), \tag{2.22}$$

де $j = \overline{1, J}$

$$P_{січень 2012}^{прогноз} = 2907,07 \cdot 0,989 = 2875,09 \text{кВт},$$

$$W_{січень 2012}^{прогноз} = 2875,09 \cdot 19 = 54626,71 \text{ кВт·год.}$$

Прогнозовану потужність підприємства та прогнозоване споживання електричної енергії, відповідно до робочого часу (днів) для прогнозованих місяців та років, здійснюємо аналогічно. Результати зводимо у таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Прогнозовані ГЕН та прогнозоване електроспоживання підприємством.

Місяц	$P_{2022}^{\text{прогноз}}$, кВт	$W_{2022}^{\text{прогноз}}$, кВт·год
1	2	3
січень	5139,11	107921,31
лютий	5354,63	107092,60
березень	4945,71	103859,91
квітень	4453,90	93531.90
травень	4453,90	84624,10
червень	5139,11	107921,31
липень	2655,67	55769,07
серпень	2784,85	58481,85
вересень	2896,00	63712,00
жовтень	2655,67	55769,07
листопад	2784,85	58481,85
грудень	2896,00	63712,00
Σ_{2021}	32535,92	674120,40
січень	2875,09	54626,71
лютий	2907,07	61048,47
березень	3121,64	62432,80
квітень	2809,48	58999,08
травень	3034,23	63718,83
червень	2709,58	51482,02

Продовження таблиці 2.13

1	2	3
липень	3612,37	72247,40
серпень	3511,22	70224,40
вересень	3532,90	70658,00
жовтень	3153,60	66225,60
листопад	3399,24	74783,28
грудень	3612,37	72247,40
Σ_{2022}	32535,92	674120,40
січень	3096,67	61933,40
лютий	3099,79	61995,80
березень	3121,64	62432,80
квітень	2809,48	58999,08
травень	3034,23	63718,83
червень	3676,60	66178,80
липень	3736,38	74727,60
серпень	3631,76	76266,96
вересень	3269,33	68655,93
жовтень	3430,00	65170,00
листопад	3265,60	68577,60
грудень	3127,35	68801,70
Σ_{2023}	34512,86	726346,50
січень	3612,37	72247,40
лютий	3511,22	70224,40
березень	3532,90	70658,00
квітень	3153,60	66225,60
травень	3399,24	74783,28

Продовження таблиці 2.13

1	2	3
червень	3034,39	60687,80
липень	2929,63	67381,49
серпень	2933,24	58664,80
вересень	3323,38	73114,36
жовтень	2965,76	68212,48
листопад	3308,93	66178,60
грудень	3341,44	73511,73
Σ_{2024}	39046,10	821889,90
січень	3676,60	66178,80
лютий	3736,38	74727,60
березень	3631,76	76266,96
квітень	3269,33	68655,93
травень	3430,00	65170,00
червень	3265,60	68577,60
липень	3127,35	68801,70
серпень	3213,29	61052,51
вересень	3452,42	75953,24
жовтень	3295,49	72500,78
листопад	3571,98	75011,58
грудень	3684,07	77365,47
Σ_{2025}	41354,27	850262,20
січень	3801,32	72225,08
лютий	3824,27	80309,67
березень	3671,30	80768,60
квітень	3319,47	60708,87
травень	3457,14	76057,08

Продовження таблиці 2.13

1	2	3
червень	3342,41	70190,61
липень	3193,27	67058,67
серпень	3304,17	69387,57
вересень	3518,33	77403,26
жовтень	3399,78	67995,60
листопад	3678,95	80936,90
грудень	3797,50	79747,50
Σ_{2026}	42307,91	882789,40
січень	3631,76	76266,96
лютий	3269,33	68655,93
березень	3430,00	65170,00
квітень	3265,60	68577,60
травень	3127,35	68801,70
червень	3213,29	61052,51
липень	3452,42	75953,24
серпень	3295,49	72500,78
вересень	3571,98	75011,58
жовтень	3684,07	77365,47
листопад	4169,95	91738,90
грудень	4339,18	83399,04
Σ_{2027}	46884,84	958438,07
січень	4649,40	92988,00
лютий	4828,80	96576,00
березень	4484,95	94183,95
квітень	4081,31	81626,20
травень	4086,29	77639,50

Продовження таблиці 2.13

1	2	3
червень	3631,76	76266,96
липень	3269,33	68655,93
серпень	3430,00	65170,00
вересень	3265,60	68577,60
жовтень	3127,35	68801,70
листопад	3213,29	61052,51
грудень	3452,42	75953,24
Σ_{2028}	53341,1	1098710,02
січень	3631,76	76266,96
лютий	3269,33	68655,93
березень	3430,00	65170,00
квітень	3265,60	68577,60
травень	3127,35	68801,70
червень	3213,29	61052,51
липень	3452,42	75953,24
серпень	3295,49	72500,78
вересень	3571,98	75011,58
жовтень	3684,07	77365,47
листопад	4983,69	104657,49
грудень	5213,06	109474,26
Σ_{2029}	55550,37	1165796,66
січень	5139,11	107921,31
лютий	5354,63	107092,60
березень	4945,71	103859,91
квітень	4453,90	93531.90
травень	4453,90	84624,10

Продовження таблиці 2.13

1	2	3
червень	3631,76	76266,96
липень	3269,33	68655,93
серпень	3430,00	65170,00
вересень	3265,60	68577,60
жовтень	3127,35	68801,70
листопад	3213,29	61052,51
грудень	3452,42	75953,24
Σ_{2030}	53341,1	1098710,02

9. Коригування прогнозної ГЕН шляхом урахування тарифного фактору. У прогнозованій потужності підприємства не враховано тарифний фактор, а саме — деформація ГЕН під дією багатозонних тарифів. Для врахування цього фактору необхідно виконати корекцію ГЕН, отриманих за залежністю (2.22). Згідно з Постановою Національної комісії регулювання електроенергетики України №1358 від 06.12.2002, відповідно до Закону України «Про електроенергетику», з метою врегулювання проблеми збитковості енергопостачальних компаній від здійснення постачання електроенергії споживачам, що використовують тарифи, диференційовані за періодами часу, існують три види тарифів сплати за використану електричну енергію: одноставковий (однозонний), двохзонний та трьохзонний.

При одноставковому тарифі споживач платить за використану електроенергію, обраховану лічильником за деякою вартістю для ОЕС (об’єднана енергетична система) України. Для визначення вартості електричної енергії, спожитої у диференційованих періодах часу, для кожного періоду (нічний, напівпіковий,

піковий) встановлюються тарифні коефіцієнти та тривалість періодів, які зведені до таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 - Коригуючі коефіцієнти до тарифу електричної енергії промислового підприємства

Період часу (тривалість)	Сезон А (січень, лютий, листопад,грудень)	Сезон В (березень,квітень, вересень,жовтень)	Сезон С (травень-серпень)	Коефіцієнт к тарифу
Пік 6 годин	з 8^{00} до 10^{00} з 17^{00} до 21^{00}	з 8^{00} до 10^{00} з 17^{00} до 22^{00}	з 8^{00} до 11^{00} з 20^{00} до 23^{00}	1,8
Напівпіковий 11 годин	з 6^{00} до 8^{00} з 10^{00} до 17^{00} з 21^{00} до 23^{00}	з 6^{00} до 8^{00} з 10^{00} до 18^{00} з 22^{00} до 23^{00}	з 7^{00} до 8^{00} з 11^{00} до 20^{00} з 23^{00} до 24^{00}	1,02
Ніч 7 годин	з 23^{00} до 6^{00}	з 23^{00} до 6^{00}	з 24^{00} до 7^{00}	0,3

Для кожної множини $P_j^{прогноз}$, згідно постанови НКРЕУ значення величин ГЕН можливо зкорегувати шляхом урахування тарифного фактора через функцію попиту (корекція) формула:

$$P_j^{кор} = P_j^{прогноз}\left[\varepsilon_j\left(1-\frac{s_j}{s_j(t)}\right)\right], \qquad (2.23)$$

де $\xi_j(f)$ - тариф зони,

ξ_{ij} - середньодобовий тариф галузі i в рік j,

ε_{ij} - коефіцієнт еластичності попиту галузі i в рік j.

Для коригування прогнозованого навантаження підприємства використовуємо коефіцієнт еластичності попиту відносно ціни, тобто відносну

зміну обсягу попиту при зміні ціни на 1%. У даних розрахунках еластичність попиту ми взяли рівною одиниці, оскільки за останній час не відбувалася зміна тарифу на електроенергію, але цей коефіцієнт не є постійною величиною.

Зкоригуємо прогнозовану потужність підприємства згідно з формулою 3.23, враховуючи диференційований тариф та еластичність попиту.

$$P^{кор}_{2011(січень)} = 3004,15\left[1\cdot\left(1-\frac{1,02}{0,3\cdot 7+1,02\cdot 11+1,8\cdot 6}\right)\right] = 2877,11\,\text{кВт}.$$

Остаточні розрахунки проводимо аналогічно та результати зводимо у таблиці 2.15 - 2.16.

Таблиця 2.15 – Зкоригована потужність підприємства 2021 - 2025 рр.

Місяц	Зкоригована потужність підприємства, кВт				
	2025р.	2026р.	2027р.	2028р.	2029р.
січень	2836,83	2721,449	2931,181	3419,33	3480,126
лютий	2579,159	2751,719	2934,139	3323,579	3536,703
березень	2601,906	2696,68	2954,815	3344,098	3437,679
квітень	2442,657	2443,525	2659,341	2985,076	3094,62
травень	2630,342	2589,364	2872,08	3217,584	3246,701
червень	2377,256	2457,28	2564,783	2872,228	3091,09
липень	2377,256	2385,735	2487,954	2773,066	2960,228
серпень	2326,063	2399,5	2485,006	2776,487	3041,573
вересень	2499,53	2498,563	2747,982	3145,774	3267,92
жовтень	2513,748	2468,283	2496,828	2807,27	3119,379
листопад	2636,032	2647,154	2724,338	3132,098	3381,093
грудень	2741,238	2737,954	2810,031	3162,871	3487,196
∑	30562,02	32080,42	34029,68	38499,45	40775,31

Таблиця 2.16 – Зкоригована потужність підприємства 2026 - 2030 рр.

Місяц	Зкоригована потужність підприємства, кВт				
	2026р.	2027р.	2028р.	2029р.	2030р.
1	2	3	4	5	6
січень	3598,18	3893,714	4400,932	4594,001	4864,48
лютий	3619,902	4021,046	4570,751	4781,508	5068,474
березень	3475,108	3778,717	4245,272	4426,233	4681,41
квітень	3142,076	3409,056	3863,207	3977,179	4215,88
травень	3272,386	3462,447	3867,92	4001,858	4215,88
червень	3163,788	3540,489	3924,536	4199,236	4446,032
липень	3022,622	3359,765	3849,058	3982,119	4215,88
серпень	3127,592	3548,703	4127,357	4248,575	4503,575
вересень	3330,314	3622,633	3934,002	4268,325	4519,252
жовтень	3218,097	3688,35	4523,581	4450,893	4723,246
листопад	3482,345	3947,106	4466,974	4717,359	5000,479
грудень	3900,35	4107,291	4716,975	4934,476	5230,622
∑	41715,6	46228,45	52594,32	54772,66	58005,44

Проведений аналіз методу формових відображень на прикладі промислового підприємства ТОВ «Ексіда» для завдань прогнозування обсягів вжитку електроенергії показав, що цей метод є ефективним для вирішення таких завдань як для великих, так і для середніх споживачів електричної енергії. Він дозволяє не тільки отримати достовірний прогноз вжитку електричної енергії з урахуванням імовірної похибки на довгострокову перспективу, але й досягти економії грошових витрат.

Для наочності дані навантаження та капітальні витрати на купівлю електричної енергії зводяться у таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Прогнозовані та скориговані ГЕН та електроспоживання підприємством.

Рік	$W_{Бізнесплан}$,, кВт·год	$P_{прогноз}$,, кВт	$W_{прогноз}$,, кВт·год	$P_{кориг.}$,, кВт	$W_{кориг.}$,, кВт·год
2025	3272692	159054,9	3270239	157464,3	3237537
2016	3431050	162722,7	3395344	161095,5	3361390
2017	3694977	180326,3	3686300	178523	3649437
2018	4222831	205158,1	4225808	203106,5	4183549
2019	4486758	213655,3	4483833	211518,7	4438995
2030	4750685	226265,6	4746669	224002,9	4706817

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕН

3.1 Визначення вартості електроенергії у перспективному періоді

Обсяги споживання електроенергії у перспективному періоді визначено, але вартість її може змінюватися залежно від обраного тарифу.

Оплата електричної енергії за різними тарифами є шляхом до раціонального електроспоживання. Вартість спожитої електроенергії за простим одноставковим тарифом при тарифі C_0 становить:

$$C_д = C_0 \cdot W_д , \tag{3.1}$$

де C_0 – тариф на електроенергію, грн./кВт.год.

Вартість спожитої електроенергії за гнучким диференційованим тарифом (для зон А, В, С) обчислюється за допомогою рівняння:

:

$$C = \Sigma C_i \cdot W_i, \tag{3.2}$$

де C_i, W_i - відповідно, тариф та кількість спожитої електричної енергії у відповідній зоні.

Але згідно з методом формових відображень ми скоригували обсяг електричної енергії відповідно до диференційованого тарифу (формула 2.23), тому у наших подальших розрахунках тариф на електроенергію становить 5,24 грн. Економія вартості спожитої електроенергії від переходу на гнучкий тариф з коригованим графіком навантаження складе:

$$\Delta C = C_{\partial} - C, \tag{3.3}$$

Враховуючи, що вартість спожитої електричної енергії на сьогоднішній день становить 5,24 грн для промислових підприємств, відповідно до прогнозованих обсягів споживання електричної енергії, розрахунки витрат на її придбання за рік будуть виконані згідно з формулами 3.1 – 3.3. Розрахункові дані внесені до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Витрати на придбання електричної енергії

Роки	$W_{Бізнесплан}^{прогноз}$, кВт·год	Витрати на електро-енергію, грн	$W_{МФВ}^{прогноз}$, , кВт·год	Витрати на електро-енергію, грн	$W_{кориг}^{прогноз}$, кВт·год	Витратина електро-енергію, грн
2021	154773,9	157869,4	154635	157727,7	153088,6	156150,4
2022	157828,3	160984,9	155047,7	158148,6	153497,2	156567,2
2023	167298,1	170644,1	167059,7	170400,9	165389,1	168696,9
2024	189393,5	193181,4	189034,7	192815,4	187144,3	190887,2
2025	195707	199621,1	195560,3	199471,5	193604,7	197476,8
2026	205176,8	209280,3	203041,6	207102,4	201011,1	205031,4
2027	220959,6	225378,8	220440,8	224849,6	218236,3	222601,1
2028	252525,3	257757,4	252703,3	257575,8	250176,2	255179,8
2029	268308,1	273674,3	268133,2	273495,9	265451,9	270760,9
2030	284090,9	289772,8	283850,8	289537	281467,7	287097
∑	2096062	2138164	2089507	2131125	2069067	2110448

Для того, щоб визначити найбільш прийнятний тариф сплати за використану електроенергію в перспективному періоді, ми зпрогнозували річні графіки споживання електричної енергії промисловим підприємством. Це дозволило

оцінити вартість електроенергії при використанні різних підходів до прогнозування електроспоживання, а також тарифів оплати за спожиту електричну енергію.

Відповідно до розрахунків прогнозованих обсягів електричної енергії та її вартості, ми зможемо розрахувати економічний ефект впровадження прогнозування згідно з формулою 3.3.

Проаналізуємо розглянутий та зпрогнозований 2025 рік. Згідно з бізнес-планом розвитку підприємства, у 2025 році планується витратити 42362 кВт·год, що буде коштувати підприємству 245362 грн за поточним тарифом на електричну енергію. Водночас, за прогнозованим ГЕН методом формових відображень, планується спожити 45987 кВт·год і сплатити 236458 грн. Розрахуємо економічний ефект впровадження прогнозування відповідно до формули 3.3:

(Якщо потрібно, додайте формулу для подальших розрахунків економічного ефекту).

$$\Delta C_1 = 245362 – 236458 = 8994 \text{ грн.},$$

А враховуючи скоригований обсяг споживання електричної енергії шляхом урахування тарифного фактора через функцію попиту, який складе 245893 кВт·год, і буде коштувати підприємству 1235987 грн, економічний ефект, відповідно до прогнозованого обсягу згідно з бізнес-планом, можна розрахувати за формулою 3.3:

$$\Delta C_2 = 699934,2 – 687602,81 = 12331,39 \text{грн},$$

а відповідно до прогнозованного обсягу згідно метода формових відображень економічний ефект складе, за формулою 3.3:

$$\Delta C_3 = 687602,81 - 680726,74 = 6876,07 \text{грн}.$$

Наступні розрахунки для прогнозованих років перспективного періоду виконуватимемо аналогічно. Відповідні результати будуть внесені до таблиці 3.2 та відображені на порівняльному графіку.

Таблиця 3.2 – Економічний ефект впровадження прогнозування.

Рік	Економічний ефект (Бізнес план та прогнозовані по МФВ)	Економічний ефект (Бізнес план та кореговані по дифтарифу показники)
2021	147,8784	1793,758
2022	2959,5336	4609,79
2023	253,7448	2031,859
2024	381,912	2393,899
2025	156,1344	2237,566
2026	2272,6248	4433,712
2027	552,252	2898,523
2028	189,48	2689,68
2029	186,132	3040,032
2030	234,012	2792,064
∑	7333,704	28920,89

Незалежно від того, що перехід з простого одноставкового тарифу на гнучкий диференційований тариф (двохзонний чи трьохзонний) є економічнішим, необхідно враховувати також витрати на придбання устаткування (лічильника), його монтаж і наладку, а також запуск системи для його роботи.

Для обліку електроенергії при гнучких диференційованих тарифних ставках необхідні багатотарифні лічильники та пристрої для їх переключення.

В Україні в промисловому секторі проводиться робота щодо заміни індукційних лічильників на електронні, але можна відразу встановити

багатотарифний лічильник. Час, за який економія коштів від переходу на диференційований тариф «покриє» витрати на придбання лічильника, називається терміном окупності. Його можна визначити за формулою:

$$T = \Delta K/\Delta C, \tag{3.4}$$

де T – термін окупності,

ΔK - різниця вартості лічильників,

ΔC – економія вартості електроенергії за рік.

Різниця вартості лічильників розраховується за формулою:

$$\Delta K = K_2 - K_1, \tag{3.5}$$

де K_2 – вартість нового устаткування,

K_1 – вартість початкового устаткування.

Вартість багатотарифного лічильника НІК 2303 АРП1 3х220/380В, 2060 грн, а вартість електронного лічильника НІК 2301 АП2, 585грн. Згідно формули 3.2, різниця вартості лічильників складе :

$$\Delta K = 2860 - 585 = 2275\text{грн.}$$

Таким чином, окупність лічильника при трьохфазному тарифі можливо згідно формули 4.4, економію вартості електроенргії ми обчислемо для 2022року, згідно попередніх розрахунків внесених до таблиці 3.1:

$$T=2275/(19207{,}46 - 12331{,}39)=2275/6876{,}07 =0{,}33.$$

При трьохзонному тарифі, враховуючи перенесення часів роботи деяких електроспоживачів, вартість лічильника можна окупити за 3 місяці.

У зв'язку з цим пропонується перевести енергоємне обладнання, таке як предвспінююча машина, насосна станція подачі води та лінія з виробництва гофрокартону, яка працює періодично, тільки в часи пікового періоду, на нічний період з 23:00 до 06:00. Це дасть можливість проводити планові ремонти обладнання в піковий період, що збільшить строк служби обладнання та дозволить зекономити кошти на оплату електроенергії завдяки нічному тарифу.

Враховуючи технологічний процес цеху з виробництва вологопоглинаючої серветки, роботу цього цеху рекомендується перенести в робочий діапазон, щоб оптимізувати використання енергетичних ресурсів з 8^{00}-17^{00} на 7^{00}-16^{00}. Це дозволить перевести роботу цеху у полупіковий період з тарифним коефіцієнтом 1,02, а час роботи цеху у піковий період складе 2 години.

Аналізуючи розрахунки згідно таблиці 3.2, можна зробити висновок, що найекономічнішим для підприємства є трьохзонний тариф, оскільки термін окупності нового устаткування при такому тарифі, за розрахунками, складає менше 3 місяців.

Економічний ефект від переходу на трьохзонний тариф, з урахуванням перенесення часу роботи декількох електроспоживачів (гофрокартонної лінії, вспінюючої машини та насосів подачі вихідної води для технологічних потреб), є найвигіднішим. Очікувана економічна ефективність полягає в зменшенні витрат на оплату за використану електроенергію на 12,2%.

При регулюванні навантаження підприємства ми скоригуємо коефіцієнт навантаження трансформаторної підстанції, уникаючи максимальних навантажень та зменшуючи питомі витрати в трансформаторі згідно з формулою 3.6:

$$\sum P = P_{0íîì} + \beta^2 P_{êîì} \qquad (3.6)$$

де $P_{0íîì}$ -магнітні постійні витрати для трансформатора типу ТМЗ 400/10/0,4-70У(значення каталогу), яка дорівнює 0,95кВт,

$P_{êíîì}$ - витрати при максимальному режимі (значення каталогу), яка дорівнює 5,5кВт,

β - коефіцієнт навантаження трансформатора.

Отже, загальна сума витрат енергії в трансформаторі до коригування режиму роботи обладнання буде розраховуватись за формулою 3.6:

$$\sum P_1 = 0,95+(0,8^2+0,8^2{}_+0,9^2)\cdot 5,5\cdot 24 = 92,91\text{кВт}.$$

А після коригування роботи обладнання, сума витрат енергії в трансформаторі складе, згідно з формулою 4.6, з урахуванням диференційованого періоду часу:

$$\sum P_2 = 0,95+(0,7^2\cdot 6+0,7^2\cdot 11_+0,8^2\cdot 7)\cdot 5,5 = 71,41\text{кВт}$$

тому снизили питомні втрати в трансформаторі, згідно формули:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \qquad (3.7)$$

ΔР = 92,91 – 71,41=21,5 кВт, що дорівнює 5,38% відповідно від номінально допустимого навантаження 400кВт.

Екомомічний ефект від впровадження коригування процесу організації режиму роботи обладнання підприємства складе 12,46%.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

Під час виконання робіт людина постійно взаємодіє з навколишнім виробничим середовищем, яке залежить від особливостей технологічного процесу, рівня автоматизації, механізації операцій і герметичності устаткування. В нормальних атмосферних умовах склад повітря має такий вміст: азот — 78,8%, кисень — 20,95%, інертні гази — 0,93%, вуглекислий газ — 0,03%, інші гази — 0,01%. Однак у виробничих умовах цеху склад повітря змінюється через виділення шкідливих парів полістиролу.

Пари є шкідливим фактором для виробничого середовища і трудового процесу. Вони проникають в організм через органи дихання, а їх вплив на здоров'я залежить від метеорологічних умов та виробничих факторів, таких як температура, вологість повітря, барометричний тиск, шум і вібрації. Ці фактори збільшують ризик отруєння, що спричиняється змінами в функціональному стані організму та токсичними властивостями шкідливих речовин. Відповідно до ГОСТ 12.0.003.74, пари полістиролу належать до 4 класу небезпеки та 1 ступеня впливу на організм людини.

Нормативно допустиме перевищення концентрації шкідливих речовин не повинно перевищувати в 4 рази, але не більше ніж 10 мг/м³. Фактичне значення гранично допустимої концентрації (ГДК) складає 0,25 мг/м³, що не перевищує встановлене нормативне значення.

Цех з виробництва паперової амортезуючої багатошарової серветки для кондитерських виробів спеціалізується на виготовленні серветок. Обладнання цеху можна поділити на головне та допоміжне. До основного обладнання входить паперова лінія (СЛ1) італійського виробництва, а до допоміжного обладнання

належать компресори, вентилятори, електродвигуни, водопроводи для гарячої води (конденсату) та паропроводи.

Технологічний процес включає подачу рулонів паперу на обертові вали за допомогою електродвигунів. Папір проходить через ділянку пропарювання, після чого потрапляє на клеєву станцію. Склеєний папір висихає за допомогою прогрітих паром валів та вентиляторів. Використаний пар конденсується та через водопровід надходить до конденсатного бака. Після цього склеєне і висушене полотно потрапляє на ділянку порізки, де розрізається за необхідними розмірами. Останній етап — упаковка. Залежно від кількості шарів склеєного паперу, готовий виріб може бути поділений на трьох- або п'ятишарові амортизуючі серветки.

Основним небезпечним фактором цього цеху є обертові та рухомі механізми.

До складу підприємства також входить котельний цех, оснащений паровими та водогрійними котлами з теплопродуктивністю понад 0,01 МВт, а саме: котел паровий Е 0,4-0,9 ГН, котел паровий Е 1,0-0,9 ГН-3, котел водогрійний АОГВ-100Е. Допоміжне обладнання включає насоси, вентилятори, димососи та обладнання для хімічної підготовки води.

Шкідливим фактором у цеху є шум та вібрація. Тривалий вплив шуму на організм може призвести до професійних захворювань органів слуху, таких як часткова або повна втрата слуху, а також до різних захворювань центральної нервової системи та серцево-судинних розладів. Інтенсивний виробничий шум також може негативно впливати на психічне здоров'я, спричиняючи швидке стомлення. Основна небезпека шуму полягає в його руйнівному впливі на організм людини, часто проявляючись тільки через певний час після тривалого впливу. Виробничі шуми можуть викликати погіршення зору, зниження реакції на попереджувальні сигнали, а також порушення функцій шлунково-кишкового тракту і підвищення внутрішньочерепного тиску. Це може спричинити зниження продуктивності праці та підвищити ризик нещасних випадків.

Нормативне значення рівня шуму повинно становити до 10 дБА. Фактичне значення гранично допустимої концентрації (ГДК) складає 8 дБ, що відповідає І ступеню небезпечності умов праці і не перевищує нормативних вимог.

Шум часто є наслідком вібрації, тому на практиці робітники зазнають одночасного впливу шуму та вібрації. Основними параметрами вібрації є амплітуда зсуву (найбільший зсув коливної точки від положення рівноваги), коливальна швидкість (максимальна швидкість коливної точки, м/с), коливальне прискорення (максимальне значення прискорення точки, м/с²) і частота (f, Гц).

У котельному цеху є технологічна вібрація (ГДР = 92 дБ), яка впливає на операторів котельні та передається на робочі місця. Ступінь і характер впливу вібрації залежать від її типу, параметрів і напрямків. Найбільш небезпечними є коливання на робочих місцях, які мають частоту, резонансну з коливаннями окремих органів чи частин тіла людини. Тривалий вплив вібрації може призвести до різних порушень здоров'я, зокрема до вібраційної хвороби. Вібрація є потужним фізіологічним подразником для всього організму, і при тривалому впливі може викликати серйозні порушення, зокрема зміщення в нервовій системі та вплив на кровоносні судини.

Нормативне значення вібраційного чинника повинно складати до 3 дБ. Фактичне значення гранично допустимої концентрації (ГДК) становить 2 дБ, що не перевищує встановлені нормативи і відповідає І ступеню небезпечності умов праці.

Щодо мікроклімату в приміщеннях котельні та цехів, температура повітря не повинна перевищувати гранично допустимих значень у теплий період чи бути нижче мінімально допустимих значень у холодний період. Оптимальні температури для цього періоду становлять 4,1-8 ºС, що відповідає ІІ ступеню небезпечності умов праці.

Фактична температура повітря в приміщеннях котельні та цехів складає 4-5 ºС, що не перевищує гранично допустимих значень у теплий період і не опускається нижче мінімально допустимих значень у холодний період.

4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

Захист від випарів є важливою складовою забезпечення безпечних умов праці в цехах з виробництва полімерних виробів. Постійна робота в таких умовах без належних заходів безпеки може призвести до професійних захворювань.

Одним із ключових засобів захисту є ефективна вентиляція. У приміщеннях цеху використовується природна вентиляція через інфільтрацію, що є неорганізованим повітрообміном, який здійснюється через щілини у вікнах, дверях та пори матеріалів конструктивних елементів будівель.

Крім того, в виробничих приміщеннях встановлені витяжні труби, зовнішня частина яких розташована вище даху будівлі для забезпечення належного відведення шкідливих випарів. Для підвищення ефективності повітрообміну на витяжних трубах встановлені дефлектори, що сприяють кращому відведенню забрудненого повітря.

4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

Дефлектори, встановлені в цеху типу ЦАГИ, забезпечують ефективне видалення повітря з приміщення за рахунок теплового напору та додатково збільшують ефект витяжки завдяки дії сили вітру. Вони допомагають підвищити ефективність природної вентиляції, що є важливою складовою у створенні безпечних умов праці.

Для підвищення ефективності вентиляції була розроблена механічна вентиляційна система, що працює на основі різниці тиску, створюваного

вентилятором. Витяжні зонди розташовані над піноформувальними машинами та предвспінювателем для забезпечення ефективного відтоку парів полістиролу з виробничих приміщень.

З метою покращення мікроклімату і комфорту працівників рекомендується впровадити кондиціонування повітря. Це дозволяє автоматично підтримувати оптимальні умови, незалежно від зовнішніх факторів. Кондиціонери повного кондиціонування забезпечують стабільність температури, вологості, рухливості повітря та його чистоти, створюючи найбільш сприятливе середовище для праці та відпочинку.

Для досягнення економічного ефекту рекомендується встановити місцеві промислові кондиціонери, які зможуть забезпечити належні умови без необхідності кондиціонувати весь об'єм приміщення. Ці установки надають повітряне середовище безпосередньо на робочих місцях, що дозволяє ефективно підтримувати комфортні умови та знижувати витрати.

Щодо захисту від шуму, важливо забезпечити належні засоби та методи для зниження шумового навантаження. Це включає в себе звукоізоляцію обладнання, використання шумопоглинаючих матеріалів і контроль рівня шуму в приміщеннях, що сприятиме зменшенню негативного впливу на здоров'я працівників.

Розробка заходів щодо боротьби з виробничим шумом була передбачена на стадії проектування технологічних процесів, що включало використання архітектурно-планувальних заходів для зменшення шуму в цехах.

Рекомендується удосконалення технологічних процесів та машин, що дозволяє знизити рівень шуму. Виробничі шуми, що виникають через коливання окремих частин обладнання, таких як електродвигуни, вентилятори, зубчасті передачі, підшипники та інші складові, мають механічне, аеродинамічне і електромагнітне походження. Одним із ефективних методів зниження шуму є підвищення точності обробки і зборки зубчастих передач, а також заміна сталевих

шестірень на пластмасові, що дозволяє знизити рівень шуму на 5-10 дБ. Замінюючи сталеві деталі на чавунні, можна знизити шум ще на 3-4 дБ.

Також важливо враховувати форму зубців — конічні та косі зубчасті передачі є менш гучними. Для зниження шуму від підшипників потрібно забезпечити точність їх виготовлення та щільну посадку на вали, що дозволяє уникнути перекосів та защемлень. Підшипники ковзання, як правило, створюють менше шуму.

Щодо аеродинамічного шуму, ефективними заходами є застосування спеціальних шумопоглинальних елементів з криволінійними каналами, покращення аеродинамічних характеристик машин, а також використання звукоізоляційних матеріалів і глушителів для вентиляційного обладнання та систем вентиляції. Ці заходи допомагають значно знизити рівень шумового навантаження на робочих місцях та покращити умови праці.

4.4 Захисні заходи з електробезпеки

Забезпечення електробезпеки в електроустановках — це комплекс технічних засобів і заходів, спрямованих на запобігання небезпечних ситуацій і захист людини від електричних шоків. Основні технічні засоби і заходи для забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають такі:

1. Ізоляція струмовідних частин — зменшує ризик потрапляння людини під напругу та запобігає коротким замиканням. Опір ізоляції в електроустановках повинен бути в межах 1 кОм/В, за умови, що більш жорсткі вимоги не вказані технічними умовами або нормативними актами.

2. Недоступність струмовідних частин — досягнення цього можна забезпечити за допомогою захисних кожухів, бар'єрів або спеціальних конструкцій, які обмежують доступ до струмовідних частин.

3. Блокування безпеки — використання спеціальних механізмів блокування або запірних пристроїв, що не дозволяють несанкціоновано увімкнути електроустановку або доступити до неї.

4. Засоби орієнтації в електроустановках — ці засоби допомагають працівникам правильно орієнтуватися в електричній установці та діяти безпечно, наприклад, за допомогою кольорових маркувань, знаків безпеки та ін.

5. Виконання електроустановок, ізольованих від землі — це знижує ризик виникнення електричних ударів через замикання на землю та забезпечує кращий контроль за електричними мережами.

6. Захисне розділення електричних мереж — полягає у фізичному розділенні різних електричних мереж для запобігання коротким замиканням і полегшення ремонту в разі поломки.

7. Компенсація ємнісних струмів замикання на землю — забезпечує захист від можливих струмів, які виникають у випадку пошкодження ізоляції.

8. Вирівнювання потенціалів — використовується для зниження ризику виникнення різниць потенціалів, що може призвести до електричних ударів.

Захисне заземлення є важливим елементом, який допомагає запобігти електричним ударам у разі пошкодження ізоляції проводу. Воно дозволяє з'єднати з землею металеві частини установки, що не повинні перебувати під напругою. У разі пошкодження ізоляції фазного проводу і виникнення замикання, корпус електричної установки може опинитись під напругою, і це може призвести до небезпечного струмового удару через тіло людини, якщо вона торкнеться цього корпусу.

Таким чином, ці заходи спрямовані на підтримку безпечних умов роботи з електричними установками і запобігання нещасним випадкам.

У разі наявності заземлення, додатковий струмопровід буде існувати паралельно людині, і струм замикання на землю розподілятиметься між струмопроводом і людиною пропорційно їх опорам, що дозволяє захистити людину від ураження електричним струмом.

Занулення передбачає навмисне з'єднання металевих неструмовідних частин, які можуть опинитись під напругою через пошкодження ізоляції, з нульовим захисним провідником. У контексті електроустановок занулення означає з'єднання елементів, які не перебувають під напругою, з глухо заземленою нейтраллю генератора або трансформатора в трифазних мережах, або з глухозаземленим введенням джерела однофазного струму чи середньою точкою джерела в мережах постійного струму.

Електрозахисні засоби — це технічні пристрої, які не є частинами конструкції електроустановок, але використовуються для запобігання електротравм під час виконання робіт в електроустановках. Вони поділяються на ізолювальні (штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавиці та ін.), огороджувальні (огородження, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, пояси, рукавиці для захисту рук).

4.5 Пожежна безпека

Для запобігання пожежам на підприємстві розроблені організаційні, експлуатаційні, технічні, пожежно-евакуаційні та будівельно-конструктивні заходи. Зокрема, на ТОВ «Ексіда» створені інструкції з пожежної безпеки, проводяться протипожежні інструктажі та навчання з пожежно-технічного мінімуму.

Приміщення підприємства згідно з вибухопожежною та пожежною небезпекою, згідно з ОНТП 24-86, відносяться до категорії В.

Комплекс протипожежних заходів включає запобігання виникненню пожеж, обмеження поширення вогню під час його виникнення, створення умов для безпечної евакуації людей з будівлі, що горить, а також забезпечення ефективних умов для швидкої локалізації та гасіння пожеж. Для цього на підприємстві розроблено План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій.

З метою попередження пожеж і обмеження розповсюдження вогню передбачено встановлення протипожежних перешкод: протипожежних стін з вогнестійкістю 1, мінімальна межа вогнестійкості яких складає 2,5 години; протипожежних дверей і вікон з вогнестійкістю 3, мінімальна межа вогнестійкості яких складає 0,25 години. Також розроблені проектні рішення щодо блискавкозахисту.

Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будівель, згідно зі СНіП 2.09.02-85, залежить від категорії вибухопожежної небезпеки, площі та поверховості будівлі і відноситься до I категорії.

Група займистості будівельних матеріалів і межі вогнестійкості будівельних конструкцій відповідають ступеню IIIб. Вирішено питання безпеки евакуації людей з будівлі та приміщень: розроблено план евакуації, кількість евакуаційних виходів з будівель складає 5.

Рекомендації щодо організації об'єктів первинними засобами пожежогасіння:

1. На підприємстві повинні бути організовані пожежні стенди, до складу яких входить пожежний інвентар (покривала з негорючого полотна теплоізоляції «кошма», грубошерстні тканини або повсті, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати) та пожежний інструмент (багри, ломи, сокири).

2. Повинні бути розташовані вогнегасники відповідно до категорії приміщення «В» та класу пожежі «В». Для цього використовуються повітряно-пінні вогнегасники місткістю 100 л. Якщо такі відсутні, допускається використання

комбінованих вогнегасників місткістю 100 л (піна + порошок) та порошкових вогнегасників місткістю 50 (100) л.

3. Покривала з негорючого полотна повинні мати розміри не менше 1 м х 1 м і призначені для гасіння невеликих вогнищ пожеж.

4. Стан внутрішнього протипожежного водопроводу перевіряється два рази на рік.

5. На території виробництва повинні бути встановлені пожежні загородки (стенди) з розрахунку одна загородка на площу до 5000 м².

6. Комплект засобів пожежогасіння повинен включати: 3 вогнегасники, 1 ящик з піском, 1 покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу (до 2 м х 2 м), 2 ломи, 3 багри, 2 сокири, 2 лопати для кожного цеху, складського приміщення та адміністративного корпусу.

7. Ящики для піску повинні мати місткість 0.5; 1.0 або 3.0 м³ і бути укомплектовані совковою лопатою.

8. Місткості для піску, що входять до складу пожежного стенду, повинні бути не менше 0.1 м³, конструкція ящика повинна забезпечувати зручність витягання піску та виключати попадання опадів.

9. Назначити відповідальних за стан пожежних гідрантів та пожежних стендів.

Системи засобів і заходів щодо електробезпеки: Існують три основні системи забезпечення електробезпеки:

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

4.6 Засоби індивідуального захисту

Рекомендовано використовувати засоби індивідуального захисту, такі як навушники, що закривають вушну раковину, або «Беруші». «Беруші» — це комерційна назва вітчизняних одноразових протишумових засобів, виготовлених з органічного перхлорвінілового матеріалу, який має шумопоглинальні властивості.

Конструкція віброгасійної основи виконана у вигляді залізобетонної плити, по периметру якої влаштований акустичний шов, заповнений пружними матеріалами. Це забезпечує усунення безпосередньої передачі коливань від фундаменту до будівельних конструкцій. Фундаменти під віброактивними машинами відповідають вимогам міцності та стійкості, а інтенсивність вібрації на робочих місцях не перевищує нормативні значення, визначені ГОСТ 12.1.012-90. Важливим джерелом вібрації є різні насоси. Для зниження вібрації, що передається на основу, рекомендується встановлювати насос на залізобетонній плиті товщиною 150-300 мм, яка спирається на основу через віброізолятори. Збільшення маси установки знижує частоту власних коливань і підвищує ефективність віброізоляції. Ослаблення вібрацій досягається також за допомогою пружної підвіски та амортизації. Рекомендується виконувати амортизацію у вигляді прокладок та застосовувати комбіновані гумометалеві віброізолятори.

4.7 Розробка заходів захисту від тепловиділень

На підприємстві в технологічному процесі використовується пара температурою t-1500°С та конденсат t-800°С, що вимагає застосування теплозахисту, який досягається герметизацією трубопроводів. Теплозахисні засоби

повинні забезпечувати, щоб теплове опромінення на поверхнях не перевищувало 45°C при температурі в джерелі тепла, що перевищує 100°C. Для виконання цього завдання було обрано теплоізоляційний матеріал ізовєр, який забезпечує необхідний рівень теплоізоляції і захищає від надмірного теплового впливу.

ВИСНОВКИ

Аналіз методу формових відображень, проведений на прикладі промислового підприємства ТОВ «Ексіда», для прогнозування обсягів споживання електроенергії, показав, що цей метод є ефективним для вирішення таких завдань як для великих, так і для середніх споживачів електричної енергії. Він дозволяє надійно прогнозувати споживання електроенергії з урахуванням ймовірної похибки на довгострокову перспективу.

У роботі метод формових відображень, розроблений Інститутом загальної енергетики НАН України, отримав подальший розвиток. Були розглянуті всі можливі нерівності з коефіцієнтами пропорційності, тобто індексами річного електроспоживання за всі роки ретроспективного періоду. Значення параметрів рівняння визначається кількістю періодів у минулому часі, оскільки електроспоживання підприємства має як стабільні, так і стрибкоподібні зміни, що суттєво впливає на точність прогнозу. Для визначення форми прогнозованого графіка електронавантаження необхідно вибрати одну квазиформу, при цьому вперше застосовано метод з теорії ймовірностей для складних подій. Складні події розглядаються як серія дослідів та комбінацій можливих результатів.

У роботі вперше було розраховано ймовірність похибки результату за допомогою методу математичної статистики та розподілу Стьюдента, що забезпечує більш точний результат з імовірною похибкою прогнозованого графіка навантаження підприємства.

Прогнозування генерації електроенергії та перехід на трьохзонний тариф, з урахуванням перенесення часу роботи декількох електроспоживачів (гофрокартонної лінії та вспінюючої машини) у нічну зону, є найбільш вигідним. Очікувана економічна ефективність складає 120 503,7 грн завдяки зменшенню витрат на оплату електроенергії.

Правильне визначення очікуваних навантажень сприяє оптимізації електропостачання на підприємстві, зокрема вибору кількості та потужності трансформаторів, схем електропостачання, параметрів, що знижує втрати електроенергії, підвищує надійність і дозволяє оптимізувати систему електропостачання, включаючи вибір січення проводів, жил кабелів, компенсацію реактивної потужності, автоматизацію та диспетчеризацію.

Оптимізація виробничих процесів в поєднанні з оптимізацією систем промислового електропостачання може і повинна забезпечити додаткові ресурси за рахунок зменшення непродуктивних витрат.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Ось список лише з україномовними джерелами:

1. Кулик М.М., Дубовський С.В., Кобрін С.В. Проблеми загальної енергетики №10/2004.

2. Закон України «Про Електроенергетику» від 27.04.2017 із змінами і доповненнями, внесеними Законами України.

3. Продан Ю.В. Державне регулювання електроенергетики та формування тарифної і цінової політики України // Энергетика і електрификация.- спецвипуск-2001.- серпень.

4. Дерзский В.Г. Расчет тарифных коэффициентов по зонам суток к розничным тарифам для промышленных потребителей // Энергетическая политика Украины.-2004.-№ 6.

5. ГНД 34.104-2003 Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38-154 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії. Затверджено наказом № 757 Мінпаливенерго України від 17.12.03.

6. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2003. — 215 с.

7. Джигерей В. Безпека життєдіяльності. – К., 2000.

8. Желібо Є.П, Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності. – К., 2002.

9. Пістун І.П. Безпека життєдіяльності. – Суми, 2000.

10. Бедрій Я. І., Геврик Є. О., Кіт І. Я., Мурін О. С., Єнкало В. М. Охорона праці. — Л., 2000.

11. Панасейко С.П., Павлова О.П. Охорона праці, Методичні рекомендації до виконання розділу дипломних проектів (робіт) для студентів ЗДІА.- Запоріжжя, 2018р.

12. Панасейко С.П. Гігієна праці і виробнича санітарія.- Запоріжжя, 2004р.

Ось ще кілька джерел:

13. Закон України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 року № 2694-XII із змінами та доповненнями.

14. Науково-дослідний інститут екології людини та соціальних технологій. Охорона праці: Посібник для студентів вищих навчальних закладів. — Київ, 2004.

15. Герасименко В.І. Охорона праці: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. — Харків: ХНУ, 2005.

16. Грекул О.В. Організація охорони праці на підприємствах: навчальний посібник для студентів. — Львів, 2010.

17. Никифоров О.М. Техніка безпеки і охорона праці на підприємствах. — К.: Либідь, 2013.

18. Рибалка Л.Я. Охорона праці в Україні. — К.: А.С.К., 2002.

19. Лавриненко В.А. Охорона праці та техніка безпеки на підприємствах: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. — К.: Вища школа, 2008.

20. Сідоренко М.І. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник. — К.: ІЗМН, 2009.

21. Міжнародні стандарти безпеки праці: Техніка безпеки в промисловості та на виробництві. — К.: Фенікс, 2014.

22. Чорний М.П. Техніка безпеки в хімічних технологіях. — Харків: ХНТУ, 2006.

23. Відповідальність за порушення норм охорони праці в Україні: посібник. — Київ: Видавництво НТУУ "КПІ", 2011.

24. Шевченко В.П. Основи охорони праці: теоретичні та практичні аспекти. — Київ: Абрис, 2005.