

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Хаб`юк Владислав Юрійович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Порівняльний аналіз методів визначення допоміжних потреб в електроенергії
теплових електростанцій
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

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

Хаб`юк В.Ю.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко Л.Г.

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Хаб`юк В.Ю. Порівняльний аналіз методів визначення допоміжних потреб в електроенергії теплових електростанцій. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Визначення допоміжних потреб в електроенергії (ДПЕ) теплових електростанцій (ТЕС) є важливим етапом проектування та експлуатації, оскільки їхня точна оцінка безпосередньо впливає на економічну ефективність виробництва та надійність електропостачання. Існує кілька методів визначення ДПЕ, кожен з яких має свої переваги та недоліки.. У кваліфікаційній роботі проведено аналіз переваг та недоліків кожного методу дозволяє обрати найбільш ефективний підхід для забезпечення надійної та економічної роботи електростанції.

Ключові слова: власні потреби теплових електричних станцій, аналітичний метод, статистичний метод, ТЕС.

ABSTRACT

Khabiuk V.Yu. Comparative analysis of methods for determining auxiliary power consumption in thermal power plants. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

Determining the auxiliary power consumption (APC) of thermal power plants (TPPs) is an important stage in design and operation, as its accurate assessment directly affects the economic efficiency of production and the reliability of power supply. There are several methods for determining APC, each of which has its own advantages and disadvantages. The analysis of the advantages and disadvantages of each method, carried out in the qualification work, allows choosing the most effective approach to ensure reliable and economical operation of the power plant.

Keywords: auxiliary power consumption of thermal power plants, analytical method, statistical method, TPP.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМА ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	6
1.1 Власні потреби теплових електричних станцій	6
1.2 Система електропостачання власних потреб теплових електростанцій	8
1.3 Необхідність прогнозування електроспоживання потреб теплових електричних станцій	11
Висновок по розділу 1	12
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	13
2.1 Розрахунок витрат електроенергії на потреби теплоелектроцентралей з урахуванням нормативно-технічної документації з використання палива	13
2.2 Методи короткострокового прогнозування на вирішення завдань в електроенергетиці	15
2.3 Статистичні методи	15
2.4 Методи штучного інтелекту	17
2.5 Застосування штучних нейронних мереж для короткострокового прогнозування електроспоживання	20
2.6 Порівняння методів прогнозування електроспоживання в електроенергетиці.	26
Висновки по розділу 2	27
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВОВИХ ФАКТОРІВ ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	29
3.1 Виявлення залежності між генерацією активної потужності на електростанції та електроспоживанням власних потреб	29
3.2 Вплив температури зовнішнього повітря на величину електроспоживання ВП ТЕЦ	31
Висновки по розділу 3	32
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35

ВСТУП

Актуальність порівняльного аналізу методів визначення допоміжних потреб в електроенергії теплоелектростанцій (ТЕС) є важливим аспектом для підвищення ефективності та надійності їх роботи. Ключові моменти, що підкреслюють цю **актуальність**:

1. Зростаючий попит на електроенергію: в умовах зростання потреб у електроенергії, що зумовлене розвитком промисловості та підвищенням стандартів життя, ТЕС повинні оптимізувати свої витрати та покращити показники ефективності.

2. Екологічні вимоги: з огляду на нові екологічні норми та вимоги до викидів забруднюючих речовин, аналіз та оптимізація допоміжних потреб у електроенергії допоможуть зменшити негативний вплив на довкілля.

3. Технічний прогрес: розвиток технологій та нових рішень (наприклад, використання відновлювальних джерел енергії, автоматизація процесів) вимагає постійного оновлення методів визначення допоміжних потреб, щоб залишатись конкурентоспроможними.

4. Економічна ефективність: визначення точних допоміжних потреб дозволяє знизити витрати на паливо, зменшуючи витрати на виробництво електроенергії та підвищуючи рентабельність діяльності ТЕС.

5. Проблеми стабільності енергосистеми: для забезпечення стабільності національних енергосистем важливо, щоб ТЕС могли точніше прогнозувати свої потреби у допоміжній потужності, що сприяє зменшенню ризиків в енергетичних системах.

Мета роботи є проведення порівняльного аналізу методів визначення допоміжних потреб в електроенергії теплових електростанцій що дозволяє оцінити переваги і недоліки різних підходів, що може сприяти оптимізації споживання енергії та зниженню витрат. Вибір методу визначення допоміжних потреб залежить від конкретних умов експлуатації електростанції, доступних ресурсів та необхідної точності прогнозування.

Предмет дослідження. Дослідження методів визначення допоміжних потреб в електроенергії теплових електростанцій (ТЕС) що є важливим аспектом для зниження витрат і підвищення ефективності генерації електричної енергії.

Методи дослідження. Дослідження проводились з використанням положень теоретичних основ електротехніки, теоретичних основ релейного захисту, методів математичного моделювання.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

1. Хаб'юк В. Ю., Первов В. В.
ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ
КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.
ЛІНІЙНА МЕРЕЖА «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» ПОЛІСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ 31 жовтня 2024 року м. Житомир.

2. Хаб'юк В. Ю.
РОЗРАХУНОК ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ
ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ НА ОСНОВІ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ
ДОКУМЕНТАЦІЇ З ПАЛИВОВИКОРИСТАННЯ НАУКОВІ
ЧИТАННЯ за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських
наукових робіт з галузей знань і спеціальностей НАДІЙНОСТІ
ЕНЕРГОСИСТЕМИ 23 квітня 2025 р. м. Житомир.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМА ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

1.1 Власні потреби теплових електричних станцій

Під власними потребами ТЕЦ розуміється комплекс, до якого входять механізми для обслуговування та автоматизації робіт основного й допоміжного обладнання електростанції, приводні двигуни цих механізмів, джерела живлення, внутрішньостанційна електромережа та розподільчі пристрої, опалення, освітлення та побутові потреби [1].

Механізми, установки та апарати власних потреб поділяються: – на індивідуальні: котлів та турбоагрегатів;

- під-групові;
- загально-групові;
- загально-станційні» [2]

До електричних власних потреб котлів належать наступні споживачі електроенергії:

- механізми систем паливоподачі, підготовки палива:
 - механізми пристроїв прийому та зберігання палива;
 - механізми, що забезпечують регулювання та подачу газу в котел (компресори);
- механізми систем уловлювання золи, видалення золи й шлаків;
- механізми, що забезпечують тягу та продувку:
 - вентилятори дуття подають з повітрязбірника повітря, необхідне для горіння палива;
 - димососи відсмоктують газоподібні продукти згоряння котла для їх видалення через димову трубу;
 - вентилятори рециркуляції гарячого повітря;
 - димососи рециркуляції димових газів;
- механізми, що забезпечують роботу водно-парового тракту:

- бустерні насоси забезпечують необхідний кавітаційний запас для високо-обертових насосів;
- живильні насоси подають живильну воду в котел; – насоси рециркуляції середовища прямоточних котлів;
- насоси циркуляції середовища котлів із примусовою циркуляцією;
- механізми установок з хімічного очищення та знесолення води (пропорційна до добавки води, що поповнює внутрішньостанційні втрати пари та конденсату);
- механізми установок для очищення промивних стічних вод, конденсату підігрівачів мазуту та інших забруднених вод (за винятком очищення конденсату, що повертається зовнішніми споживачами);
- механізми, що забезпечують підтримання котлів у консервації та резерві;
- механізми, що забезпечують пуск котла;
- механізми, що використовуються для поточного та середнього ремонту котельного обладнання;
- механізми системи опалення, вентиляції та кондиціонування котельного обладнання;
- механізми системи опалення, вентиляції, кондиціонування та інші механізми теплофікаційної установки, робота яких не залежить від часу роботи останньої;
- установки для освітлення котлів та теплофікаційної установки;
- засоби вимірювання, електроприводи арматури, система управління та захисту;
- інші системи власних потреб котла: дренажні насоси, насоси технічного та пожежного водопостачання; приводи топкових механізмів, регенеративних обертових повітря-підігрівачів та ін.» [2].

1.2 Система електропостачання власних потреб теплових електростанцій

Система електропостачання ВП являє собою сукупність механізмів, що забезпечують процес безперебійного постачання електроенергією приймачів з великою сумарною потужністю. Приблизна витрата електроенергії на власні потреби ТЕЦ залежить від виду палива та від початкового тиску пари [3]:

- 6-8% за початкового тиску пари 3,5-9 МПа та основного палива – газ;
- 7-8,5% за початкового тиску пари 3,5-9 МПа та основного палива – вугілля;
- 8,5-10,5% за початкового тиску пари 13-24 МПа та основного палива – газ;
- 9-11% за початкового тиску пари 3,5-9 МПа та основного палива – вугілля.

Сумарна витрата електроенергії на власні потреби електростанції визначається за показаннями лічильників трансформаторів власних потреб. Якщо лічильники встановлені на стороні нижчої напруги трансформаторів, то до їх показань додаються втрати електроенергії в трансформаторах, визначені розрахунковим шляхом.

Електроспоживання електроприймачами ВП залежить від продуктивності механізмів електричної станції в цілому [4]. Регулювання роботи системи власних потреб здійснюється у зв'язку зі змінами навантаження електричної станції, а також із нормуванням продуктивності котлів та робочої потужності турбін.

Продуктивність котла регулюється кількістю поданої живильної води, поданого палива, зміною тяги та повітря. У зв'язку з цим необхідно впливати на живильні насоси, дуттєві вентилятори, димососи, які повинні відповідати нормам надійної та економічної зміни продуктивності. При зміні навантаження турбіни необхідно також змінювати продуктивність конденсаційних, циркуляційних, зливних насосів.

До складу системи власних потреб входять насоси тепломережі та циркуляційні насоси турбін, які змінюють продуктивність відповідно до температури навколишнього середовища.

У системі власних потреб електростанцій існують механізми, регулювання продуктивності яких не потрібне. Вони працюють з постійною продуктивністю або періодично вмикаються на номінальну потужність. До складу даних механізмів входять механізми приготування та транспорту палива, насоси хімічної водоочистки, компресори, насоси масляного господарства [5].

Основними електроприймачами є електродвигуни. Частка електроспоживання синхронними та асинхронними електродвигунами становить від 65% до 98%. Навантаження електродвигунів не регулюється і досягає $\frac{2}{3}$ сумарної потужності.

Живильні насоси є найбільш потужними та відповідальними споживачами власних потреб електростанцій [5]. У блока 300 МВт на надкритичні параметри пари його потужність становить 12 МВт, у блока 800 МВт – близько 28 МВт і у блока 1200 МВт – 42 МВт. Тому до регулювання продуктивності живильних насосів і типу приводного двигуна висуваються особливо високі вимоги щодо надійності та економічності.

Для агрегатів потужністю до 200 МВт використовують живильні насоси з електроприводом. Привід основних живильних насосів у блоків 300 МВт і вище здійснюється від парової турбіни потужністю 12,5 МВт із частотою обертання 5000–6000 об/хв» [6].

Для електропостачання споживачів ВП електростанцій використовуються генератори та енергосистема. Для електропостачання споживачів власних потреб електростанцій здійснюється відбір потужності на генераторній напрузі. Живлення розподільних пристроїв власних потреб здійснюється від трансформаторів (струмообмежувальних реакторів), які працюють роздільно. Роздільна робота трансформаторів сприяє обмеженню

струмів короткого замикання та зменшенню їх впливу на мережі, що підключаються до інших секцій

Розподільчий пристрій ВП виконується з однією секціонованою системою збірних шин і складається з набору шаф комплектного розподільчого пристрою різного виконання [7].

Для живлення споживачів ВП використовуються два класи напруги: 6-10 кВ – для живлення потужних електродвигунів потужністю 200 кВт і вище, а також 0,4 кВ – для живлення споживачів меншої потужності. Наявність двох рівнів напруги пов'язана з тим, що виготовлення електродвигунів потужністю менше 200 кВт на напругу 6 кВ економічно недоцільне, оскільки вони в 1,5–2,3 рази дорожчі за аналогічні, виконані на напругу 0,4 кВ, а виготовлення електродвигунів потужністю більше 200 кВт на напругу 0,4 кВ призводить до збільшення перерізу живильних кабелів [7].

Резервне живлення ВП здійснюється шляхом відбору потужності від генераторів електростанції, але місця підключення приєднань резервного живлення ВП не повинні бути пов'язані з місцями приєднання їх робочого живлення. Для особливо відповідальних споживачів ВП на кожному енергогенеруючому об'єкті передбачені автономні джерела електроенергії, такі як акумуляторні батареї, дизель-генератори, агрегати безперебійного живлення. На ТЕЦ приблизно 75% від усієї потужності ВП йде на електропостачання основного теплосилового обладнання і лише решта відсотків – на обслуговування споживачів загального призначення.

Отже, витрата електроенергії на власні потреби електростанцій – це споживання електроенергії приймачами, які забезпечують необхідні умови функціонування електростанції в технологічному процесі виробництва, перетворення та розподілу електричної енергії. Електроспоживання на власні потреби ТЕЦ більш стійке в часі і для багатьох електричних станцій є визначальним ресурсом виробництва електричної та теплової енергії [7].

1.3 Необхідність прогнозування електроспоживання потреб теплових електричних станцій

Непостійні навантаження на ТЕЦ характеризують неекономічні режими роботи системи власних потреб електростанцій та втрат електроенергії [8]. Часті пуски та зупинки енергоблоків, коригування їх навантажень спричиняють додаткові втрати електроенергії та палива через неоптимальні режими роботи основного обладнання та механізмів власних потреб, внаслідок необхідності дроселювання теплоносіїв, таких як пара, вода, повітря, газів [9].

Таким чином, виявлено декілька основних проблем у підвищенні енергоефективності на теплових електростанціях України, одні з яких:

- зростаюча частка власних потреб електростанцій;
- тривала відсутність серйозної мотивації до зниження питомих витрат палива. Ця мотивація збільшується у міру розширення обсягів торгівлі електроенергією на вільному ринку.

Згідно з правилами оптового ринку електричної енергії та потужності електростанції повинні надсилати, відповідно до графіка, прогнози обсягів виробництва та постачання електричної енергії та потужності, а також витрати на власні потреби електростанції, для формування балансів електричної енергії та потужності по суб'єктах України.

Для мінімізації витрат на виробництво теплової та електричної енергії, а також для забезпечення збалансованості сумарної вартості електричної енергії (потужності), що постачається на оптовий ринок електричної енергії (потужності) та відпускається з нього, складається зведений прогнозний баланс. При формуванні зведеного прогнозного балансу в цілому по об'єднаній енергетичній системі України враховуються багато параметрів, один з яких – обсяги відпуску теплової енергії з колекторів джерел теплової енергії, що здійснюють виробництво в режимі комбінованого виробництва електричної і теплової енергії, величина витрат теплової енергії на господарські потреби.

На підставі цього можна зробити висновок, що власні потреби електростанцій є особливою групою споживачів першої категорії. Прогнозування електроспоживання на власні потреби електростанцій є важливим аспектом у плануванні навантаження і значно відрізняється від прогнозування електроспоживання інших споживачів.

Висновок по першому розділу

Власні потреби теплових електричних станцій (ТЕЦ) представляють собою комплекс механізмів і систем, відповідальних за обслуговування основного і допоміжного обладнання. Ці потреби суттєво впливають на споживання електроенергії, яке може коливатися в залежності від типу пального та початкового тиску пари. Ефективне електропостачання власних потреб є критично важливим для стабільності і продуктивності роботи ТЕЦ, оскільки воно впливає на загальний процес генерації електричної та теплової енергії.

Дослідження показали, що непостійні навантаження на ТЕЦ призводять до економічних втрат, зокрема, через часті пуски та зупинки енергоблоків, які погіршують ефективність використання пального і провокують додаткові витрати на електроенергію. Зростання частки власних потреб вимагає ретельного планування і прогнозування споживання електричної енергії для запобігання втрат і забезпечення енергоефективності.

Зважаючи на вказане, прогнозування електроспоживання власних потреб ТЕЦ є важливим елементом стратегічного планування, яке повинно враховувати специфіку роботи електростанцій і дозволяти створювати баланс між виробництвом і споживанням, забезпечуючи надійність електропостачання.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Прогнозування електроспоживання – це проблема, що охоплює різні аспекти. Кожна задача управління виробництвом залежить від прогнозу. Методи прогнозування мають різні ознаки, які можна застосовувати лише для конкретних підприємств і конкретних задач управління [10].

У практиці відомі різні прийоми прогнозування, такі як евристичні, засновані на математичних методах і комп'ютерних технологіях.

2.1 Розрахунок витрат електроенергії на власні потреби теплоелектроцентралей на основі нормативно-технічної документації з використання палива

Нормативно-технічна документація з використання палива розробляється для паротурбінних і газотурбінних ТЕС встановленою електричною потужністю від 10 МВт і більше та котельні теплопродуктивністю від 50 Гкал/год і вище [11].

До складу нормативно-технічної документації з паливо використання теплової електростанції, зокрема, входять залежності абсолютних або питомих витрат електроенергії на власні потреби кожної з груп обладнання, електростанції в цілому.

Розробка характеристик проводиться з урахуванням властивостей спалюваного палива, конкретних схем розвантаження, зберігання та подачі палива, золоуловлювання та шлаковидалення, водопостачання, теплопостачання, технологічних процесів виробництва енергії та запобігання шкідливому впливу на навколишнє середовище тощо. Якщо режим роботи механізмів, апаратів і установок системи ВП змінюється залежно від сезону, то їх характеристики мають конкретні межі використання для того чи іншого періоду у вигляді значень якого-небудь параметра (температури зовнішнього повітря, охолоджувальної води) [12].

Визначення витрати електроенергії дрібними споживачами (дренажними насосами тощо) здійснюють за допомогою їхньої середньої споживаної потужності за добу. При відпуску тепла з паром і гарячою водою визначаються окремо аналітичні залежності витрати електроенергії на привід механізмів, пов'язаних із забезпеченням відпуску тепла з паром Епар (механізми, що забезпечують повернення конденсату від споживачів пари, поповнення втрат пари та конденсату, підживлення паро-перетворювальних установок і відкачування з них конденсату) та з гарячою водою (теплофікаційної установки) Етепл (механізми, що забезпечують подачу мережевої води споживачам, підживлення тепломережі, приготування води для поповнення втрат її в тепломережі, відкачування конденсату з підігрівачів мережевої води, а також індивідуальні механізми допоміжного обладнання пароводяного котла).

Витрата електроенергії на механізми та установки власних потреб котлів, турбоагрегатів у загальному вигляді визначається за формулою [12]:

$$E^{CH} = 1.03 \left(\sum_{i=1}^m E_i^{CH} + \sum_{j=1}^n E_j^{CH} + \sum_{k=1}^p E_k^{CH} \cdot \frac{G_k}{G_{гр.k}} + \sum_{p=1}^r E_{тес,p}^{CH} \cdot \frac{G_p}{G_{тес,p}} \right),$$

де $E_i^{CH}, E_j^{CH}, E_{гр.k}^{CH}, E_{тес,p}^{CH}$ – витрата електроенергії на власні потреби, відповідно індивідуальна і-го агрегату (котла, турбоагрегату), j-го під групового механізму, k-го загально групового та p-го загально станційного механізму, що визначається за їх характеристиками, МВт·год;

$G_i^{CH}, G_p^{CH}, G_{гр.k}^{CH}, G_{тес,p}^{CH}$ – витрата води, палива тощо через загально станційні та загально групові механізми і установки та її значення, що припадає на підгрупу обладнання. Коефіцієнт «1,03», вказаний у формулі вище, враховує втрати електроенергії в трансформаторі СН. Цей коефіцієнт застосовується лише в тому випадку, коли лічильники встановлені на стороні n-нижчої напруги трансформаторів.

2.3 Методи короткострокового прогнозування на вирішення завдань в електроенергетиці

Прогнозування електроспоживання є основою для прийняття рішень при управлінні електричними станціями в процесі планування їхніх нормальних електричних режимів. На основі прогнозування навантажень плануються оптимальні режими роботи енергооб'єктів, оцінюється надійність їх функціонування та енергоефективність [13].

Методи короткострокового прогнозування електричного навантаження можна розділити на дві основні категорії: статистичні методи та методи штучного інтелекту. У статистичних методах отримані рівняння показують взаємозв'язок між електроспоживанням і факторами, що на нього впливають. Методи штучного інтелекту є аналогією людського мозку і отримують знання з минулого досвіду для того, щоб спрогнозувати майбутні навантаження.

2.3 Статистичні методи

Статистичні методи прогнозування включають в себе дослідження, розробку та застосування сучасних математико-статистичних методів прогнозування на основі незалежних даних. Науковою базою статистичних методів прогнозування є прикладна статистика та теорія прийняття рішень. Дані методи здатні з найменшою похибкою прогнозувати добовий графік навантаження у звичайні дні, але статистичні методи не здатні аналізувати навантаження у святкові або інші особливі дні, через незначну гнучкість їх структури [14].

Статистичні методи включають в себе математичну статистику, екстраполяцію та інтерполявання; математичний аналіз, аналітичне моделювання та ін.

2.3.1 Методи регресії

Регресійний аналіз – метод моделювання вимірюваних даних та дослідження їх властивостей. Цей метод аналізу вважається найпоширенішим

ймовірнісно-статистичним методом, який застосовується для розв'язання задач короткострокового прогнозування.

Широке застосування методу пояснюється кількома причинами, одні з яких:

- залежність між змінними встановлює наявність можливої причинно-наслідкової зв'язку;
- регресійне рівняння допомагає передбачити значення залежної змінної за значеннями незалежних змінних» [15].

Підставляючи в рівняння регресії прогнозовані аргументи, отримуємо прогноз. Взаємозв'язок між випадковими величинами X та Y виражається математично через формулу:

$$M\left(\frac{Y}{X}\right) = f(x),$$

де $M\left(\frac{Y}{X}\right)$ – умовне математичне сподівання Y за умови фіксованого значення x .

Підбір рівняння регресії – це особливий етап регресійного аналізу. На Y впливає безліч факторів, і необхідно коректно виділити значущі фактори. При визначенні залежності від одного фактору n отримується регресійний зв'язок:

$$y = b_0 + b_1n + b_2n + \dots + b_mnm.$$

Застосування рівняння регресії з вищим степенем дозволить отримати точніше рішення.

Для оцінки достовірності моделі застосовують метод найменших квадратів, який часто використовується для розв'язання задач прогнозування. Оцінки дають такі показники як:

- коефіцієнт кореляції;
- ступінь розсіювання наявних точок навколо рівняння регресії, яка оцінюється дисперсією;
- довірчий інтервал.

2.3.2 Методи часових рядів

Тимчасовим рядом називається послідовність значень, що змінюються протягом певного інтервалу часу. Тимчасові ряди виконують функцію опису даних і дозволяють контролювати всі етапи зміни змінної, яка нас цікавить. Це дозволяє нам проаналізувати поведінку величини та виявити наявні відхилення від такої поведінки [16].

У поведінці часового ряду можна виділити три основні складові:

$T(t)$ – тренд, постійна зміна за період ретроспекції;

$S(t)$ – періодична (сезонна) складова, що відображає коливання відносно тренду;

$U(t)$ – випадкова складова.

Таким чином, рівняння часового ряду має вигляд:

$$Y(t) = T(t) + S(t) + U(t).$$

Використовуючи часові ряди для вирішення ряду задач, неможливо виявити фактори, що впливають на Y . Це вважається великим недоліком часових рядів.

Правильний вибір періоду ретроспекції дозволяє отримати більш достовірну модель. Далі отримана модель перевіряється за середньоквадратичною похибкою [17].

2.4 Методи штучного інтелекту

Під штучним інтелектом зазвичай розуміють властивість автоматичних систем перебирати на себе певні функції розумової діяльності людини, такі як вибір та реалізація оптимальних рішень на основі раніше отриманого досвіду та раціонального аналізу зовнішніх впливів.

2.4.1 Методи, засновані на моделях нейронних мереж

Штучна нейронна мережа являє собою групу нейронів, з'єднаних між собою за певними законами [18].

Розв'язуючи задачі прогнозування за допомогою штучних нейронних мереж, необхідна функція залежності $y = f(x)$ між вхідними та вихідними

параметрами знаходиться за допомогою спеціальних програм на ЕОМ та відповідної методики.

Першою розробленою моделлю нейронних мереж була модель Мак-Каллока-Піттса у 1943 році. Мак-Каллок і Піттс довели, що нейронні мережі здатні виконувати будь-які логічні операції, а також будь-які перетворення, що реалізуються дискретними пристроями з кінцевою пам'яттю [19]. Дональд Олдінг Гебб є одним із творців теорії штучних нейронних мереж. У 1949 році він запропонував перший працюючий алгоритм навчання штучних нейронних мереж. Ф. Розенблатт у 1958– 1960 роках у Корнельському університеті створив перший нейрокомп'ютер, що мав здатність до навчання. Цей нейрокомп'ютер був побудований на основі нейронної мережі, персептроні. У 1959 р. В. Відроу і М. Гофф затвердили правило навчання Відроу-Гоффа, яке використовується для навчання нейронних мереж, у вихідному шарі яких розташований один нейрон з лінійною функцією активації. Ця нейронна мережа називається ADALINE [20].

У 1969 році була опублікована книга «Перцептрони» Марвіном Мінським і Сеймуром Папертом. У 80-ті роки значно розширюються дослідження в області нейронних мереж. Джон Джозеф Гопфільд, відомий американський вчений, винайшов у 1982 році асоціативну нейронну мережу. Ця мережа має назву «мережа Гопфільда». Кохонен зробив внесок у вивчення штучних нейронних мереж. Він запропонував алгоритм навчання з вчителем для мереж векторного квантування, затвердив фундаментальну теорію асоціативної пам'яті, оригінальні алгоритми обробки символічної інформації [21].

Галузі застосування нейронних мереж дуже різноманітні. Нейронні мережі застосовуються у прогнозуванні, в медицині, в техніці, в управлінні та розпізнаванні образів. Гофман А.В. та ін. розробили модель ШНМ для короткострокового прогнозування електроспоживання для енергосистеми. Вхідні змінні включають історичні дані погодинного навантаження, метеофакторів та дня тижня. У 2006 році було встановлено певну кількість

процедур навчання нейронних мереж з одним або кількома шарами з використанням алгоритмів глибокого навчання [22]. Ці алгоритми можуть бути використані для вивчення проміжних представлень, щоб зрозуміти основні особливості розподілу сенсорних сигналів, що надходять на кожен шар нейронної мережі. Досить важко вибрати алгоритм навчання для ШНМ, який буде найшвидшим при вирішенні певних задач. Алгоритм, який широко використовується для вирішення великої кількості задач – це алгоритм зворотного поширення помилки, оскільки він є ефективним засобом для навчання багатошарових нейронних мереж прямого поширення.

Черговий пік у розвитку ШНМ відзначено 18 серпня 2011 року, коли IBM створили сучасний нейронний процесор, який містив 256 нейронів та 262144 синапсів. На конференції «Superscomputing 2012» 5 листопада 2012 року цією компанією було продемонстровано підсумки довгої роботи над симуляцією нейрокомп'ютера, який можна було б порівняти з мозком людини [23].

2.4.2 Методи, що базуються на нечіткій логіці

Теорія нечітких множин була запропонована у 1965 році американським математиком Лотфі Заде. Наприкінці 60-х такі вчені як Заде, Мамдані, Беллман започаткували розвиток теоретичного апарату нечітких множин. У 70–80-ті роки з'являються практичні впровадження в області нечіткого керування складними технічними системами. Одночасно почали розглядатися питання побудови нечітких контролерів, експертних систем, побудованих на нечіткій логіці. З кінця 80-х років до теперішнього часу з'являються пакети програм для побудови нечітких експертних систем, а областей застосування нечіткої логіки стало значно більше [24].

Основою нечіткої множини $A \in \mu A(x)$ – функція належності, яка визначає кожному з елементів x універсальної множини деяке дійсне число з інтервалу $[0, 1]$. При цьому $\mu A(x) = 1$ означає, що елемент x безперечно належить нечіткій множині A , а значення $\mu A(x) = 0$ означає, що елемент x безперечно не належить нечіткій множині A [25].

Нечітка логіка є підгрупою нечітких множин і являє собою різновид безперервної логіки, в якій логічні формули можуть приймати істинні значення між 1 і 0» [47, с. 30]. Результат, отриманий у системах з нечіткою логікою, видається неточно, нечітко. Для отримання точного значення, необхідного для систем керування, застосовуються системи нечіткого виводу. «Процес нечіткого виводу являє собою певну процедуру або алгоритм отримання нечітких висновків, що базуються на нечітких передумовах або умовах. Системи нечіткого виводу дозволяють вирішувати задачі розпізнавання образів, прийняття рішень та класифікації даних.

Системи з нечіткою логікою є зручними для виявлення з їхньою допомогою результатів, вони забезпечують вищу стійкість до впливу факторів, що впливають. Системи з нечіткою логікою мають також низку недоліків, таких як відсутність здатності автоматично навчатися та набувати нові знання [26].

2.5 Застосування штучних нейронних мереж для короткострокового прогнозування електроспоживання

Використовуючи штучні нейронні мережі (ШНМ), можна створити новий підхід для вирішення складних задач прогнозування в умовах відсутності апріорної інформації про закони моделювання процесу.

Кількість задач в енергосистемах, для вирішення яких використовуються нейротехнології, величезна. «Структура ШНМ пристосовується під умови будь-якої розв'язуваної задачі. В архітектуру ШНМ додаються нейрони, якщо початкова мережа не забезпечує рішення з необхідною точністю. Також з ШНМ видаляються зайві нейрони та їх зв'язки у зв'язку з перенавчанням мережі, оскільки структура надлишкова» [27].

Для опису складної нелінійної залежності використовують нейронні мережі в програмі STATISTICA, яка є унікальною технологією дослідження нелінійної залежності у різних галузях діяльності.

Розглянемо тип мереж, з якими будемо працювати: лінійна мережа; імовірнісна мережа (PNN); мережа, що базується на радіальних базисних функціях (RBF), багатошаровий персептрон (MLP).

2.5.1 Лінійна мережа

Короткострокове прогнозування електроспоживання відіграє критичну роль в ефективному управлінні енергетичними системами. Точне передбачення потреби в електроенергії дозволяє оптимізувати виробництво та розподіл, знижувати витрати та підвищувати надійність енергопостачання. В останні роки, штучні нейронні мережі (ШНМ) зарекомендували себе як потужний інструмент для вирішення цього завдання.

Завдяки своїй здатності до навчання на основі даних, ШНМ здатні виявляти складні нелінійні залежності між різними факторами, що впливають на електроспоживання, такими як температура навколишнього середовища, час доби, день тижня, а також економічні показники та соціальні фактори. На відміну від традиційних статистичних методів, ШНМ не потребують попереднього припущення про форму функціональної залежності між вхідними та вихідними даними, що робить їх більш гнучкими та адаптивними до змін у динаміці споживання. Кількість задач в енергосистемах, для вирішення яких використовуються нейротехнології, є величезною. «Структура ШНМ пристосовується під умови будь-якої розв'язуваної задачі. В архітектуру ШНМ додаються нейрони, якщо початкова мережа не забезпечує рішення з необхідною точністю. Також з ШНМ видаляються зайві нейрони та їх зв'язки у зв'язку з перенавчанням мережі, оскільки структура є надлишковою» [28].

Для опису складних нелінійної залежності використовують нейронні мережі в програмі STATISTICA, яка є унікальною технологією дослідження нелінійних залежності у різних галузях діяльності.

Лінійна нейронна мережа не містить проміжних шарів і містить у вихідному шарі лише елементи з лінійною функцією активації (рисунк 1). Цю модель можна представити у вигляді матриці розміру $A \times A$ та вектору зсуву

розміру A . Ваги відповідають елементам матриці, а пороги – компонентам вектору зсуву.

Необхідно використовувати лінійну нейронну мережу, коли вхідні та вихідні значення мають лінійний зв'язок. Ця нейронна мережа дозволяє вирішувати складні завдання як класифікації, так і регресії простим лінійним методом.

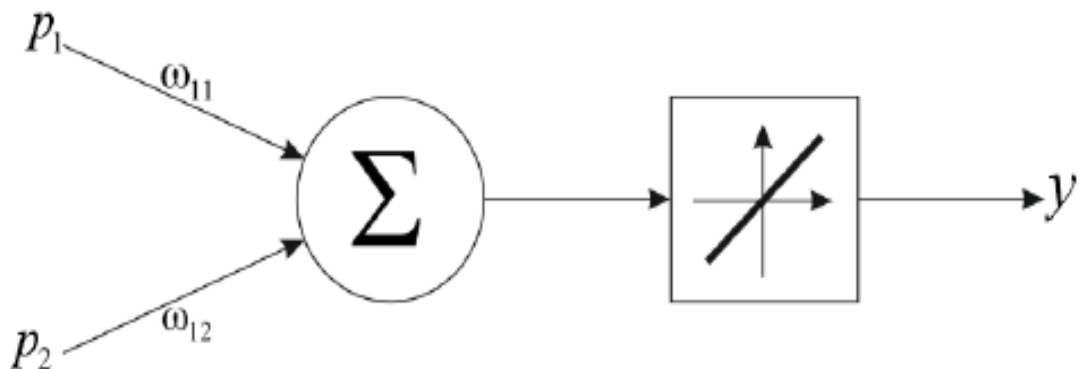


Рисунок 1 – Лінійна нейронна мережа

2 5.2 Імовірнісна нейронна мережа

Імовірнісна нейронна мережа призначена для оцінки щільності ймовірності за наявним набором даних. Розв'язання цієї задачі базується на ядерних оцінках. Відбувається спостереження в певній точці простору, яке забезпечує деяку щільність ймовірності в цій точці. Кластери точок, що знаходяться поруч з досліджуваною точкою, фіксують в ній більшу щільність ймовірності. У методі ядерних оцінок кожна розглядувана точка описується певною функцією, які в результаті всі складаються. Далі оцінюється загальна щільність ймовірності за допомогою сумарного значення деякої функції в усіх точках спостереження. Таку функцію називають ядерною функцією. Зазвичай за ядерну функцію приймають розподіл Гаусса. При великих розмірах навчальної вибірки такий метод дає досить точне наближення до істинної щільності ймовірності.

За допомогою ймовірнісної нейронної мережі вирішуються задачі класифікації. Мережа має три шари: вхідний, радіальний та вихідний. Кожен нейрон радіального шару відповідає одному елементу навчальної вибірки. Кількість нейронів вихідного шару дорівнює кількості класів. Кожен нейрон вихідного шару з'єднаний з елементами радіального шару, які належать до відповідного йому класу. Для того, щоб отримати значення нейрона вихідного шару необхідно скласти відгуки нейронів радіального шару, з якими він з'єднаний. Для PNN-мережі вихід описується рівнянням:

$$y = \frac{1}{N\sigma^n} \sum_{k=1}^N \varphi\left(\frac{\|X - X^k\|}{\sigma}\right),$$

де n – розмірність вхідного вектора; N – розмір навчальної вибірки; σ – параметр згладжування» [54, с.7-2]

Переваги PNN-мереж: вихідне значення має ймовірнісний сенс; здатність мережі до швидкого навчання. Недоліки: PNN-мережа містить всі навчальні дані, для яких необхідно багато пам'яті. У зв'язку з цим робота мережі сповільнюється» [29].

2.5.3 Узагальнено-регресійна нейронна мережа

Узагальнено-регресійна нейронна мережа (GRNN) – це різновид радіально-базисних нейронних мереж. Ця мережа призначена для вирішення задач регресії за допомогою ядерної апроксимації. GRNN-мережа [30] містить два приховані шари: шар, що складається з радіальних елементів, і другий шар, який містить елементи, що формують зважену суму для відповідного елемента вихідного шару. У вихідному шарі необхідно визначити зважене середнє, поділивши зважену суму на суму ваг. Отже, в GRNN-мережі число елементів у другому проміжному шарі на одиницю більше, ніж у вихідному шарі.

В основі таких мереж лежить метод апроксимації щільності ймовірності за допомогою функції Гаусса [30].

$$\Psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}.$$

Процес навчання GRNN-мережі аналогічний навчанню мережі радіально-базисної функції. Спочатку адаптують центри базисних функцій, потім з фіксованими параметрами RBF-нейронів навчається вихідний шар.

Можливість змінювати GRNN-мережу таким чином, щоб радіальні елементи відповідали не окремим навчальним спостереженням, а їх кластерам, сприяє зменшенню розміру мережі та прискорює її навчання.

2.5.4 Багатошаровий персептрон

Нейронна мережа, така як багатошаровий персептрон, моделює функції відгуку будь-якого рівня складності за рахунок розбиття простору вхідних даних за допомогою гіперплощин. Складність змодельованої функції визначається кількістю шарів і числом елементів у кожному шарі [30].

Навчання багатошарового персептрона здійснюється алгоритмом зворотного розповсюдження помилки. Даний алгоритм базується на методі підбору ваг багатошарової мережі із застосуванням градієнтних методів оптимізації.

Кожен нейрон мережі має нелінійну функцію активації – сигмоїдальну. Прикладом сигмоїдальної функції може слугувати логістична функція, що задається наступним виразом:

$$OUT = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha Y)}.$$

Наявність нелінійності відіграє важливу роль (рисунок 1), оскільки дану мережу з прямою передачею сигналу можна звести до одношарового персептрону.

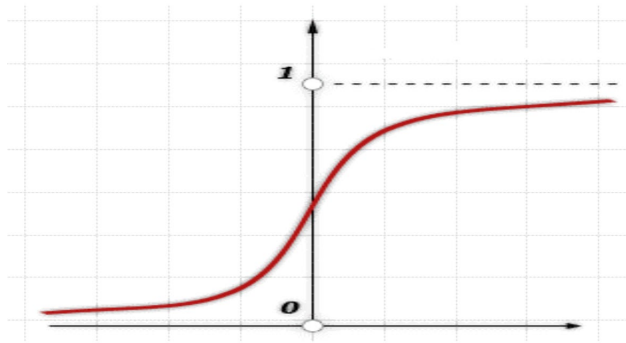


Рисунок 2 – Логістична функція

2.5.5 Радіальна базисна функція

Нейронна мережа типу радіальної базисної функції складається з проміжного шару, який містить радіальні елементи (рисунок 3).

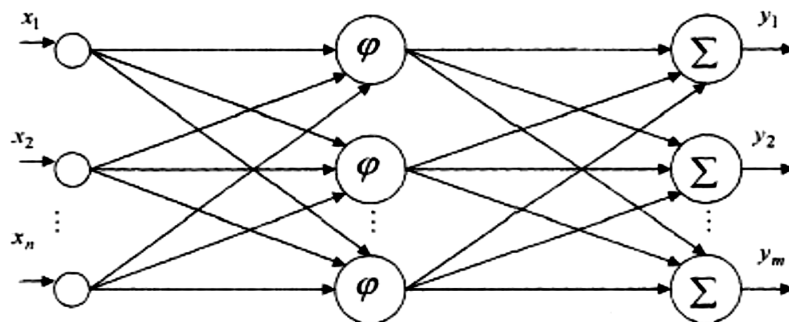


Рисунок 3 – Структура нейронної мережі на основі радіально-базисної функції

Кожен радіальний елемент відтворює гаусову поверхню відгуку. Цей тип функцій нелінійний, тому проміжний шар доцільно використовувати один.

Нейронні мережі з радіальною базисною функцією, в яких приховані нейрони реалізують функції, що визначаються у вигляді $\varphi(x) = \varphi(\|x - c\|)$, радіально змінюються навколо обраного центру c та приймають ненульові значення лише в околиці цього центру. У таких мережах роль прихованого нейрона полягає у відображенні радіального простору навколо одиночної заданої точки або навколо групи таких точок, що утворюють кластер. Суперпозиція сигналів, що надходять від усіх прихованих нейронів, яка виконується вихідним нейроном, дозволяє отримати відображення всього багатовимірного простору [31].

2.6 Порівняння методів прогнозування електроспоживання в електроенергетиці

Проведено аналіз сучасних методів і моделей короткострокового прогнозування споживання електроенергії, а саме статистичних методів і методів штучного інтелекту.

Щодо статистичних методів:

1. «При використанні регресійних методів аналізується залежність однієї ознаки від набору незалежних ознак. Для коректного використання регресійного аналізу необхідне виконання умови: факторні ознаки не повинні бути корельовані» [32].

2. Модель часових рядів являє собою модель, в якій значення часового ряду лінійно залежать від попередніх значень того ж ряду. Дані методи в більшості призначені для моделювання сезонності, що не підходить для вирішення задач короткострокового прогнозування

3. Метод експоненційного згладжування зручний при математичному моделюванні електроспоживання при виконанні умов:

- процес, що моделюється, має монотонний характер змін без різких стрибків, що нехарактерно процесу споживання електроенергії механізмами ВП ТЕЦ;

- неможливо безпосередньо враховувати в моделі дії факторів, що впливають на прогнозовану величину.

Розглянувши методи штучного інтелекту, встановлено:

- лінійна нейронна мережа являє собою мережу без проміжних шарів і у вихідному шарі містить лише елементи з лінійною функцією активації. Застосування лінійної нейронної мережі ґрунтується на тому, що вхідні параметри і вихідний параметр пов'язані між собою лінійно. Використання даної нейронної мережі для прогнозування ВП ТЕЦ не є доцільним, оскільки між витратою електроенергії та факторами, що на неї впливають, простежується нелінійна залежність;

- імовірнісна нейронна мережа призначена для задач класифікації і має три шари: вхідний, радіальний та вихідний. В дисертаційній роботі будуть вирішуватися задачі регресії, оскільки необхідно передбачити значення змінної, що приймає неперервні числові значення. В даному випадку витрата активної потужності на системи власних потреб ТЕЦ буде єдиною вихідною змінною, тому застосування імовірнісної нейронної мережі не є актуальним;

- радіально-базисна нейронна мережа є мережею прямого розповсюдження сигналу, яка містить проміжний (прихований) шар радіально симетричних нейронів. Штучні нейронні мережі на основі радіально-базисних функцій можуть використовуватися для вирішення широкого кола задач, серед яких найбільш часті – апроксимація, класифікація та кластеризація даних;

- нейронна мережа багат шаровий персептрон складається з безлічі вхідних вузлів, які утворюють вхідний шар; одного або декількох шарів обчислювальних нейронів; одного вихідного шару нейронів. Кожен нейрон мережі має нелінійну функцію активації – сигмоїдальну».

За результатами аналізу джерел літератури проведено порівняльний аналіз абсолютної середньої помилки методів короткострокового прогнозування споживання електроенергії. З даних таблиці 1 можна зробити висновок, що помилки прогнозу кожної моделі нейронної мережі не відповідають вимогам ОРЕ, в якому відхилення помилки прогнозу споживання електроенергії споживачем не повинно перевищувати 2%.

Таблиця 1 – Середні помилки короткострокового прогнозування електроспоживання різними методами

	Середня абсолютна помилка, %
Методи експоненційного згладжування	10
Методи часових рядів	2,8
Методи регресії	4,12

Адаптивна нейронечітка мережа	2,22
ШНМ метод самоорганізуючих карт	4,15
ШНМ метод рою частинок	2,66
ШНМ метод градієнтного спуску	4,5
ШНМ метод сполучених градієнтів	2,7

Висновки до розділу 2

1. Відповідно до проведеного аналізу методів короткострокового прогнозування електроспоживання та отриманих середніх похибок моделей, побудованих за допомогою цих методів, встановлено, що для задач короткострокового прогнозування електроспоживання ВП ТЕЦ доцільно використовувати методи, засновані на штучних нейронних мережах.

2. При побудові моделей, заснованих на штучній нейронній мережі для прогнозування електроспоживання ВП ТЕЦ, будуть використовуватися нейронні мережі з радіально-базисними функціями та нейронні мережі багатошаровий персептрон.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВОВИХ ФАКТОРІВ НА ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Генерація активної потужності та теплової енергії є найважливішою при кількісній оцінці власних потреб. Споживання на забезпечення технологічного процесу виробництва теплової та електричної енергії є базовою частиною величини ВП.

Визначення зв'язку між споживанням електроенергії та температурою зовнішнього повітря дозволяє робити прогноз електроспоживання більш точним.

Складність у виявленні даного зв'язку полягає в незалежності процесів електроспоживання від метеорологічних змін.

При визначенні регресійної залежності між досліджуваними величинами доцільно календарний рік розділити на декілька періодів, що залежать від теплового навантаження з опалення та гарячого водопостачання: опалювальний період, період без опалення, період включення опалення та період відключення опалення. «Оскільки саме при зміні теплового навантаження та температури зовнішнього повітря буде змінюватися склад працюючого обладнання електростанції, маневруючи яким, ТЕЦ підтримує надійність і забезпечує виконання заданих режимів» [33].

3.1 Виявлення залежності між генерацією активної потужності на електростанції та електроспоживанням власних потреб

Для отримання точності прогнозу електроспоживання ВП ТЕЦ у встановлених межах, потрібно провести вибір тих факторів, від яких залежить витрата електроенергії на власні потреби. Витрата електроенергії на власні потреби теплоелектроцентралі з теплофікаційними турбінами включає в себе витрату електроенергії на власні потреби, пов'язані з виробництвом

електроенергії, та витрату електроенергії на власні потреби, пов'язані з відпуском теплової енергії.

До витрати електроенергії на власні потреби ТЕЦ, пов'язані з виробництвом електроенергії, входять:

- Частка витрат на власні потреби котлоагрегатів;

Частка витрат електроенергії на власні потреби котлоагрегатів, пов'язані з виробництвом електроенергії, визначається за формулою:

$$W_{k(E)} = W_k \cdot K_{(E)}, \text{ кВт}\cdot\text{г.}$$

де $W_{(E)}$ – витрата електроенергії на власні потреби котлоагрегату, кВт·год;

$K_{(E)}$ – коефіцієнт, що враховує частку витрат електроенергії на власні потреби котлоагрегату, пов'язані з виробництвом електроенергії, визначається за даними ТЕЦ за базовий рік.

- Витрата електроенергії на власні потреби турбоагрегатів;

Витрата електроенергії на електродвигуни:

- циркуляційних насосів та вентиляторів градирень, за наявності загального водопостачання з розташованими поблизу підприємствами; витрата електроенергії на водопостачання пропорційна кількості води, витраченої електростанцією;

- конденсаційних насосів водяних ежекторів турбін, дренажних насосів регенеративних підігрівачів, насосів установок з очищення основного конденсату турбін;

- масляних насосів систем змащення та регулювання, перекачувальних та дренажних насосів, насосів підкачки води в систему циркуляційного водопостачання [34].

- Обладнання електроцеху;

До витрат електроенергії на власні потреби електроцеху включаються:

- охолодження генераторів, трансформаторів;
- технічні втрати в трансформаторах власних потреб;
- двигун-генератори акумуляторної батареї;

- компресори повітряних вимикачів та інші електродвигуни електроцеху [34].

Проведено аналіз параметрів, здатних вплинути на величину ВП та які потребують врахування при прогнозуванні електроспоживання ВП. Як дані використовуються погодинні значення основних факторів, що впливають на електроспоживання ВП та активної потужності, яка витрачається на власні потреби ТЕЦ.

Якість нелінійної регресійної залежності оцінюється за допомогою коефіцієнта детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2},$$

де $\sum(y_i - \hat{y}_i)^2$ – сума квадратів відхилень, зумовлена регресією;

$\sum(y_i - \bar{y})^2$ – загальна сума квадратів відхилень.

Для періоду включення опалення регресійний зв'язок описується наступним рівнянням:

$$f = 0,0008 \cdot x^2 - 21,2771 \cdot x + 2,1259,$$

де f – виробіток електроенергії;

x – витрата електроенергії на ВП.

Таким чином, при складанні прогнозної моделі витрати електроенергії на ВП ТЕЦ значення генерації активної потужності враховуватимуться протягом усього року.

3.2 Вплив температури зовнішнього повітря на величину електроспоживання ВП ТЕЦ

Температуру зовнішнього повітря неможливо спрогнозувати з точністю до 1 градуса. Більше того, протягом доби відбувається зміна температури, що також ускладнює планування режимів роботи ТЕЦ, і в тому числі витрати електроенергії на власні потреби електростанції» [35].

Теплове навантаження ТЕЦ фактично можна поділити на дві основні

складові: промислове та теплове навантаження на опалення та гаряче водопостачання. Між промисловим навантаженням і температурою зовнішнього повітря простежується слабкий зв'язок. Щодо опалювального та навантаження гарячого водопостачання простежується пряма залежність між температурою зовнішнього повітря – тепловим навантаженням електростанції – виробництвом електроенергії за тепловим графіком.

Теплове навантаження з опалення та гарячого водопостачання слабо залежить від споживачів, водночас сильно залежить від температури зовнішнього повітря. Промислове навантаження, навпаки, слабо залежить від погоди і сильно залежить від споживача.

Було проведено аналіз зміни електричного навантаження при зміні температури на 1, 2, 3, 4 градуси згідно з таблицею.

Таблиця 2 – Приріст навантаження відносно розрахункової температури по теплових електростанціях

Зміна температури зовнішнього повітря, град.	Середнє значення зміни електричного навантаження, %	Середнє значення середньоквартального відключення, %
1	3,006	3,150
2	5,316	4,501
3	7,658	5,998
4	9,932	7,240

Отже, вплив температури зовнішнього повітря визначається витратою електроенергії на опалення та обігрів і є непрямим фактором при плануванні навантаження на електроспоживання ВП ТЕЦ.

Висновки по розділу 3

Виробництво електричної потужності та теплової енергії має значний вплив на споживання електроенергії для власних потреб електростанцій. Ці

ключові фактори визначають величину витрат електрики на опалення та виробництво гарячої води.

Виявлення зв'язку між електроспоживанням та температурою зовнішнього повітря дозволяє підвищити точність прогнозу. Однак, існує складність у визначенні цього зв'язку через незалежність автономних процесів споживання електроенергії від метеорологічних змін.

Рекомендується розділити календарний рік на періоди, враховуючи теплове навантаження: опалювальний період, період без опалення, період включення та відключення опалення. Це дозволяє точніше визначити вплив змін температури на споживання електроенергії.

Тісний зв'язок між споживанням електроенергії та температурою зовнішнього повітря вимагає складного аналізу та моделювання для точного прогнозування потреб в енергії. Успішне врахування цих факторів може суттєво підвищити ефективність роботи теплоелектроцентралі, забезпечуючи стабільну генерацію електричної енергії та управління споживанням.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Вході роботи над кваліфікаційною роботою розглянуто систему власних потреб електричних станцій, розкриті власні потреби теплових електричних станцій, система електропостачання власних потреб теплових електростанцій та необхідність прогнозування електроспоживання потреб теплових електричних станцій.

Проведено аналіз методів прогнозування власних потреб теплових електричних станцій таких як, статистичні методи, методи штучного інтелекту та застосування штучних нейронних мереж для короткострокового прогнозування електроспоживання.

Порівняння методів прогнозування електроспоживання в електроенергетиці показало, що для задач короткострокового прогнозування електроспоживання ВП ТЕЦ доцільно використовувати методи, засновані на штучних нейронних мережах.

Визначено впливові фактори, які необхідно враховувати при короткостроковому прогнозуванні власних потреб теплових електричних станцій.

Отже, проведення ретельного порівняльного аналізу існуючих методів визначення допоміжних потреб в електроенергії ТЕС є вкрай необхідним. Такий аналіз дозволить визначити найбільш адекватні та точні методи оцінки для різних типів ТЕС та умов експлуатації. Результатом стане можливість оптимізувати споживання електроенергії на власні потреби, знизити собівартість виробництва електроенергії та підвищити загальну ефективність роботи теплових електростанцій. Безперечно, це є важливим кроком у напрямку сталого та економічного енергозабезпечення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матєєнко ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ. КУРС ЛЕКЦІЙ НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК ЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
2. Методичні вказівки зі складання та змісту енергетичних характеристик обладнання теплових електростанцій (РД 34.09.155-93).
3. Аббасова, Е. М. Власні потреби теплових електричних станцій / Е. Аббасова [та ін.]; за ред. Ю. М. Голоднова. – М.: Енергоатоміздат, 1991. – 272 .
4. ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ
<https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/42ad9e8a-32b2-488a-8538-7e2561ed9a14/content>
5. Карелін, В. Я. Насоси і насосні станції: Підручник для вищих навчальних закладів / В.Я. Карелін, А.В. Мінаєв. – 2-ге вид., перероб. і допов. –, 1986. – 320 с.
6. Ріхтер, Л. А. Допоміжне обладнання теплових електричних станцій: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів / Л. А. Ріхтер, Д. П. Єлізаров, В. М. Лавігін. – Енергоатоміздат, 1987.
7. Васильєв, А. А. Електрична частина станцій і підстанцій / А. А. Васильєв, І. П. Крючков, Є. Ф. Наяшкова, М. Н. Околович. – Енергоатоміздат, 1990. – 576 с.
8. Балаков, Ю. М. Комутаційні вузли енергосистем / Ю. М. Балаков, А. Васильчиков, В. М. Лаврентьєв та ін. – : Енергоатоміздат, 1997. – 228 с.
9. СТО 70238424.27.100.004-2008 Системи живлення власних потреб ТЕС. Організація експлуатації та технічного обслуговування. Норми та вимоги.
10. Белан, А. В. Шляхи та результати вдосконалення методів

прогнозування електроспоживання / А. В. Белан, В. І. Гордєєв, А. В. Демура, І.І. Надтока // Промислова енергетика. – 1993. – № 9-10.

11. Рижкін, В. Я. Теплові електричні станції: Підручник для теплоенергетичних спец. вишів / В. Я. Рижкін. – М.-Л.: Енергія, 1967. – 400 с.

12. Стерман, Л. С. Теплові та атомні електричні станції. Підручник Для вишів / Л. С. Стерман [та ін.]. – Енергоатоміздат, 1995. – 416 с.

13. Льюїс К. Д. Методика прогнозування економічних показників / Д. Льюїс; пер. с англ.: Е. З. Демиденко. – Финансы и статистика, 1986. – 132 с.

14. Пустельник, Є. І. Статистичні методи аналізу та обробки спостережень. – : Наука, 1968. – 288 с.

15. Дрейпер, Н. Прикладний регресійний аналіз / Н. Дрейпер, Г. Сміт. Финансы і статистика, 1986. – 366 с.

16. Бокс, Дж. Аналіз часових рядів. Прогноз і управління / Дж. Бокс, Г. Дженкінс. – М.: Мир, 1974. – 520 с.

17. Вороновський, Г. К. Генетичні алгоритми, нейронні мережі та проблеми віртуальної реальності / Г. К. Вороновський. – Харків: Основа, 1997. – 112 с.

18. Штучна нейронна мережа. <https://uk.wikipedia.org/wiki>

19. Мак-Каллок В.С., Піттс В. Логічне числення ідей, що стосуються нервової активності // У зб.: «Автомати» за ред. К.Е. Шеннона та Дж. Маккарті. – М.: Вид-во інозем. літ., 1956. – с. 363–384.

20. Потьомкін, В. Г. Нейронні мережі. MATLAB 6 / За заг. ред. к.т.н. В. Г. Потьомкіна. – М.: ДІАЛОГ-МІФІ, 2002. – 496 с.

21. Розенблат, Ф. Принципи нейродинаміки: Персептрон і теорія механізмів мозку. Пер. з англ. – М.: Мир, 1965. – 175 с.

22. Papalexopoulos, A. D. An implementation of a neural network based load forecasting model for the EMS/ A. D. Papalexopoulos, S. Hao, T. M. Peng // IEEE Transactions on Power Systems. – 1994. – Vol. 9. – PP. 1956–1962.

23. Chen, C. S. The application of artificial neural networks to substation

load forecasting Electric Power Systems Research / C. S. Chen, Y. M. Tzeng, J. C. Hwang. – 1996. – Vol. 38. – Issue 2. – PP. 153–160.

24. Єгупов, М. Д. Методи робастного, нейро-нечіткого та адаптивного керування: підручник / за ред. М.Д. Єгупова. – М: Вид-во МДТУ ім. М.Е. Баумана, 2002. – 743 с.

25. Деменков, М. П. Мова нечіткого керування // Промислові АСУ та контролери. – 2005. – № 5. – С. 30–36.

26. Rahman, S. Load forecasting for multiple sites: development of an expert system-based technique / S. Rahman, O. Hazim // Electric Power Systems Research. – 1996. – Vol. 39. – PP. 161–169.

27. Генг, Е. Т. Короткострокове прогнозування навантаження з використанням генетичного алгоритму та нейронних мереж / Е.Т. Генг, Д. Срінівасан // Міжнародна конференція з питань передачі електроенергії, березень 1998. – Т. 2. – С. 576–581.

28. Акіменко Віталій Володимирович. Штучні нейронні мережі в задачах групування та аналізу інформації КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА.

29. Howard Demuth, Mark Beale. Neural Network Toolbox For Use with MATLAB.

30. Курбацький, В. Г. Про нейромережевий підхід до прогнозування нестационарних часових рядів на основі перетворення Гільберта–Хуанга / В. Г. Курбацький [та ін.] // Автоматика і телемеханіка. – 2011. – № 7. – С. 58–68.

31. Хайкін, С. Нейронні мережі / С. Хайкін. – М.: Видавничий дім «Вільямс», 2006.

32. Бенн, Д. В. Порівняльні моделі прогнозування електричного навантаження [Текст] / Д. В. Бенн, Є. Д. Фермер. – М.: Энергоатоміздат, 1987. – 200 с.

33. Сазанов, Б. В. Промислові теплові електростанції: підручник для

енерг. вишів і фак. / Б. В. Сазанов, В. М. Юренєв, М. І. Баженов, А. С. Богородський; За заг. ред. проф. д-ра техн. наук Є. Я. Соколова. – Енергія, 1967. – 344 с.

34. РД 34.09.256-87 Методичні вказівки щодо визначення нормативної витрати електроенергії на насосні станції теплових мереж

35. Кудрін, Б. І. Методика забезпечення погодинного прогнозування електроспоживання підприємств з урахуванням погодних факторів / Б. І. Кудрін, А. В. Мозгалін // Вісник МЕІ. – 2007. – № 2. – С. 105–108.