

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

«На правах рукопису»
УДК 621.311.153

«До захисту допущено»

Науковий керівник кафедри

_____ С.П. Денисюк

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективність

на тему: «Короткострокове прогнозування та керування електроспоживанням промислового підприємства»

Виконав:

студент VI курсу, групи ОН-62м

Пономаренко Вадим Олегович _____

Керівник:

к.т.н., доц. Калінчик В.П. _____

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д. _____

Рецензент:

Зав. кафедри АУЕК, проф., д.т.н. Розен В.П. _____

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

Студент _____

Київ – 2018 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»

Факультет (інститут) Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра Електропостачання
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація Енергетичний менеджмент та енергоефективність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Науковий керівник кафедри

С.П. Денисюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Пономаренко Вадим Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Короткострокове прогнозування та керування електроспоживанням промислового підприємства
науковий керівник Калінчик В.П. к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом по університету від «21» березня 2018 р. №1148-с

2. Термін подання студентом дисертації «18» травня 2018 року

3. Об'єкт дослідження методологія короткострокового прогнозування керування електроспоживанням промислових підприємств.

4. Предмет дослідження методи, алгоритми та способи короткострокового прогнозування і керування електроспоживанням промислових підприємств

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) аналіз існуючих методів короткострокового прогнозування електроспоживання промислових підприємств ; 2) аналіз застосування та можливості удосконалення існуючих методів короткострокового прогнозування та алгоритмів вибору споживача-регулятора; 3) розробка методики створення прогнозної моделі алгоритмів та програмних засобів для побудови математичної моделі при побудові систем керування електричним навантаженням на промисловому підприємстві

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: графіки електричних навантажень, блок-схеми розроблених алгоритмів, графіки фактичних та прогнозованих профілів навантажень співставлені із похибками прогноз, презентаційний матеріал

7. Орієнтовний перелік публікацій 1) Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошниченко Є., Дослідження впливу графіка електричного навантаження галузі машинобудування та металообробки на графік ОЕС України / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції «Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2017. – (Київ, 30 листопада 2017.) - С.191-198;2) 2) Калінчик В.П., Пономаренко В., Мирошниченко Є., Аданіков О., Оптимізація витрат потужності в комплексній енергосистемі скляного виробництва / Збірник матеріалів доповідей науково-технічної конференції «Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 2018. – (Київ, 31 березня 2018.) - С.151-154;В.П.Калінчик, Є.В.Мірошниченко, В.О.Пономаренко. Дослідження оптимального розподілу навантаження на ділянці споживача/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.; В.П.Калінчик, В.О.Пономаренко, Є.В.Мірошниченко. Використання кластеризації для дослідження впливу галузей на графік навантаження ОЕС України/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.

8. Дата видачі завдання «12» березня 2018року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	12.03.2018	Виконав
2	Аналіз літературних джерел	20.03.2018	Виконав
3	Складання плану роботи	21.03.2018	Виконав
4	Робота над першим розділом	01.04.2018	Виконав
5	Робота над другим розділом	10.04.2018	Виконав
6	Робота над третім розділом	28.04.2018	Виконав
7	Робота над четвертим розділом	10.05.2018	Виконав
8	Оформлення ПЗ, норма контроль, попередній захист	03.05.2018	Виконав

Студент

_____ (підпис)

Пономаренко В.О.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Калінчик В.П.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи: дисертація викладена на 111 сторінках, складається зі вступу, 4 розділів, висновку, уміщує 19 рисунків, 19 таблиць, 42 формули, список використаних джерел із 39 найменувань на 5 сторінках. При виконанні дисертації використовувалось програмне забезпечення MatLab, MS Excel та PASW Statistics.

Актуальність роботи. Прогнозування величини електричного споживання промислового підприємства є важливим техніко-економічним питанням науки. Необхідність точного прогнозування електроспоживання обумовлена технологічними і економічними причинами.

Існує велика кількість моделей і методів короткострокового прогнозування навантаження. Становлення і розвиток методів математичного моделювання, прогнозування і планування електроспоживання пов'язано з роботами таких вітчизняних і зарубіжних вчених: П.О.Черненко, О.В. Мартинюк, В.О. Мірошник, А.В. Праховник, І.В. Воронов, А.В. Алуюєв Б.І., Бартоломей П.І., Бердін А.С., Богданов В.А., Вагін В.П., Васильєв І.Є., Віників В.А., Гордєєв В.І., Гурський С.К., Калюжний А.С., Карпов В.В., Кудрін Б.І., Ліпес А.В., Меламед А.М., Макоклюєв Б.І., Рабінович М.А., Степанов В.П., Тимченко В.Ф., Фокін Ю.А., Черниш Е.А., Bunn DW, та інших.

Якість прогнозу багато в чому залежить від обраної математичної моделі. Найбільшого поширення набули моделі, розкладають навантаження на дві складові: базову (регулярну) і залежну від погоди (нерегулярну). Однак, наявні в експлуатації методи короткострокового прогнозування електроспоживання, не задовольняють повною мірою технології їх використання при управлінні режимами. Основним недоліком існуючих методів є необхідність побудови моделі навантаження і постійне уточнення готової моделі. Іншим недоліком цих методів є неточне встановлення співвідношення між вхідними та вихідними змінними, так як залежності між ними нелінійні.

Об'єктом дослідження являються процеси електроспоживання промислового підприємства а також фактори від яких вони залежать

Мета роботи: підвищення точності прогнозування електроспоживання промислового підприємства, шляхом створення прогнозної моделі електроспоживання, що враховує його залежність від впливаючих на нього факторів.

Завдання досліджень:

1. Виявити основні вимоги, що пред'являються до прогнозу величини електроспоживання промислового підприємства, що купує електроенергію на оптовому а в майбутньому і на балансуєчому ринку електроенергії і потужності.

2. Порівняти існуючі методи прогнозування електроспоживання промислових підприємств і вибрати оптимальний метод для прогнозування електроспоживання в умовах роботи підприємства на оптовому та балансуєчому ринку електроенергії та потужності.

3. Розробити методику створення прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства для обраного методу прогнозу.

4. Розробити методику оцінки впливу параметрів навколишнього середовища і виробничих параметрів на електроспоживання промислового підприємства з використанням штучної нейронної мережі для визначення набору вхідних параметрів прогнозної моделі.

5. Встановити залежність електроспоживання багатоміноменклатурного промислового підприємства від впливаючих на нього виробничих параметрів і параметрів навколишнього середовища.

6. Створити за допомогою розроблених методик та отриманих залежностей прогнозу модель електроспоживання, що враховує впливаючі на електроспоживання фактори

7. Перевірити і оцінити якість роботи отриманої прогнозної моделі шляхом порівняння фактичних і прогнозних значень електроспоживання машинобудівного підприємства.

Предмет дослідження: наявні короткострокові прогнозні моделі, їх похибки, шляхи їх зменшення, алгоритми навчання штучних нейронних мереж, евристичні алгоритми вибору факторів.

Методи дослідження. Розробки і дослідження проводилися на основі теорії математичного моделювання, теорії системного аналізу, теорії штучних нейронних мереж, евристичних алгоритмів відбору і нечіткої логіки, комп'ютерного моделювання, зворотного розповсюдження помилки.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблено методику визначення залежностей електроспоживання промислового підприємства від впливаючих на нього параметрів за допомогою штучної нейронної мережі, що відрізняється комплексним використанням навчальних алгоритмів для визначення внутрішньої конфігурації нейронної мережі та евристичного вибору споживачів-регуляторів електропостачання промислового підприємства.

2. Створена прогнозна модель електроспоживання промислового підприємства, що відрізняється тим, що в якості вхідних параметрів моделі використовуються різні фактори: погодні, виробничі, соціально-економічні.

3. Створено методику щодо здійснення прогнозу на промислових підприємствах, що будуть учасниками балансуючого ринку електричної енергії в Україні, що відрізняється послідовним використанням прогнозної моделі та алгоритму вибору споживача-регулятора.

Практичне значення одержаних результатів.

Дослідження, що було проведене в роботі може бути використане:

- для зниження величини фінансових витрат підприємств, що виникають при відхиленні фактичних обсягів електроспоживання від обсягів, заявлених до покупки на ринку електроенергії, шляхом використання прогнозних моделей електроспоживання підприємств з урахуванням індивідуальних особливостей кожного підприємства;

- для планування та обліку виробничої діяльності, що дозволяють знизити величину помилки при прогнозуванні електроспоживання;

- для визначення всіх факторів, що впливають на електроспоживання об'єкту, а також їх позиціонування від найбільш сильного до найбільш слабого;

- для вибору найбільш оптимального плану роботи підприємства у короткостроковій перспективі в випадку необхідності вибору шляхів управління електричним навантаженням підприємства.

Апробація результатів дисертації та публікації.

1. В. Калінчик, В. Пономаренко, Є. Мірошніченко. Дослідження впливу графіка електричного навантаження галузі машинобудування та металообробки на графік ОЕС України/ Збірник наукових праць. Матеріали XLIV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції „Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії” – Переяслав-Хмельницький. – 2017.- С.191-195.

2. В. Калінчик, В. Пономаренко, Є. Мірошніченко, О. Аданіков. Оптимізація витрат потужності в комплексній енергосистемі скляного виробництва/Збірник наукових праць. Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії» – Переяслав-Хмельницький. – 2018.- С.151-154.

3. В.П.Калінчик, Є.В.Мірошніченко, В.О.Пономаренко. Дослідження оптимального розподілу навантаження на ділянці споживача/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.

4. В.П.Калінчик, В.О.Пономаренко, Є.В.Мірошніченко. Використання кластеризації для дослідження впливу галузей на графік навантаження ОЕС України/ Збірник наукових праць конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (26-27 КВІТНЯ 2018) – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2018.- С.

Ключові слова: короткострокове прогнозування, прогнозна модель, керування електроспоживанням, інтегрована модель авторегесії, середня абсолютна похибка прогнозу (Mean absolute error), середня абсолютна похибка у відсотках (Mean absolute percentage error), середньоквадратична похибка (Mean squared error), корінь середньоквадратичної похибки (Root mean squared error).

ABSTRACT

Structure and scope of work: 111 pages, consists of introduction, 4 chapters, conclusion, contains 19 figures, 19 tables, 42 formulae, a bibliography of 39 items in 5 pages..

Relevance of the work. Forecasting the value of electric consumption of an industrial enterprise is an important technical and economic issue of science. The need for accurate prediction of electricity consumption is due to technological and economic reasons.

There is a large number of models and methods of short-term load forecasting. The formation and development of methods of mathematical modeling, forecasting and planning of electricity consumption are connected with the work of such domestic and foreign scientists: P. Chernenko, O. Martynyuk, V. Miroshnik, A. Prahovnik, I. Voronov, Aliyev B., Bartolomey P., Berdin A., Bogdanov V., Vagin V., Vasiliev I., Vinnikov V., Gordeyev V., Gursky S., Kalyuzhny A., Karpov V., Kudrin B., Lipes A., Melamed A., Makoklyuev B., Rabinovich M. , Stepanov V., Timchenko V., Fokin Y., Chernysh E., Bunn DW, and others.

The quality of the forecast depends largely on the chosen mathematical model. The most widely used models are, the load is divided into two components: base (regular) and weather dependent (irregular). However, the methods of short-term forecasting of electricity consumption, which are in operation, do not fully satisfy the technology of their use in the control of regimes. The main disadvantage of existing methods is the need to build a load model and continuous refinement of the finished model. Another disadvantage of these methods is the inaccurate relationship between the input and output variables, since the relationships between them are nonlinear.

The object of the study is the processes of the consumption of an industrial enterprise and the factors on which they depend.

The purpose of the work: to increase the accuracy of forecasting the consumption of industrial enterprises, by creating a forecast model of electricity consumption, taking into account its dependence on the factors affecting it.

Subject of research: available short-term forecasting models, their errors, ways to reduce them, algorithms for training artificial neural networks, heuristic algorithms for selecting factors.

Research methods. Developments and researches were carried out on the basis of the theory of mathematical modeling, the theory of system analysis, the theory of artificial neural networks, heuristic selection algorithms and fuzzy logic, computer modeling, reverse error propagation.

The scientific novelty of the results

1. A method for determining the dependencies of the industrial enterprise's electricity consumption on the parameters influencing it using an artificial neural network is developed, which is characterized by the complex use of educational algorithms for determining the internal configuration of the neural network and the heuristic choice of consumers, regulators of the power supply of the industrial enterprise.

2. A forecast model of the consumption of an industrial enterprise is created, which is characterized by the fact that as input parameters of the model different factors are used: weather, production, socio-economic.

3. A methodology for carrying out a forecast for industrial enterprises that will participate in the balancing market of electric energy in Ukraine, which is distinguished by the consistent use of the forecast model and the algorithm of consumer-regulator choice.

The practical value of the result . The research carried out in the work can be used:

- to reduce the financial costs of enterprises arising from the deviation of the actual volumes of electricity consumption from the volumes declared for purchase in the electricity market, using the forecast models of the consumption of enterprises taking into account the individual characteristics of each enterprise;

- for planning and accounting of production activity, allowing to reduce the magnitude of the error when forecasting electricity consumption;
- to determine all factors that affect the electrical consumption of the object, as well as their positioning from the strongest to the weakest;
- to choose the most optimal plan of work of the enterprise in the short-term perspective in case of necessity of choosing ways of controlling the electrical load of the enterprise.

Approbation of the work and Publications. The results of the master thesis was published:

- Kalinchik V, Ponomarenko V., Miroshnichenko E., a study of the influence of the electric loading graph of mechanical engineering and Metalworking industries at the graph of IPS of Ukraine / Collection of materials of reports of scientific-technical conference ""Problems and prospects of science development in the beginning of the third Millennium in Europe and Asia" by 2017. – (Kiev, November 30, 2017.) - S. 191-198.

- V.Kalinchik, E.Miroshnichenko, V.Ponomarenko. Investigation of the optimal load distribution on the consumer area / Collection of scientific papers of the conference "ENERGY. ECOLOGY. MAN "(APRIL 26-27, 2018) - Kyiv, NTUU" KPI Igor Sikorsky ". - 2018.- S.

4. V.Kalinchik, V.Ponomarenko, E.Miroshnichenko. Use of clusterization to study the influence of industries on the schedule of loading of the UES of Ukraine / Collection of scientific papers of the conference "ENERGY. ECOLOGY. MAN "(APRIL 26-27, 2018) - Kyiv, NTUU" KPI Igor Sikorsky ". - 2018.- S.

- Kalinchik V, Ponomarenko V., Miroshnichenko E., Adancul A., Optimization of cost of power in the integrated power system of glass production / Collection of materials of reports of scientific-technical conference ""Problems and prospects of science development in the beginning of the third Millennium in Europe and Asia", 2018. – (Kyiv, March 31, 2018.) - P. 151-154

Key words: short-term forecasting, forecast model, power consumption management, integrated model of autoregression, average absolute error, mean absolute error, mean squared error, root of mean square error

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	14
ВСТУП.....	15
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	17
1.1 Короткострокове прогнозування та його роль в управлінні енергоспоживання підприємства	20
1.2 Актуальність прогнозування електричного навантаження в умовах ринку електричної енергії.....	33
1.3 Поняття прогнозної моделі та існуючі методи прогнозування промислових підприємств	35
Висновки.....	38
2 МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	40
2.1 Огляд та класифікація методів прогнозування.....	40
2.2 Основні методи прогнозування часових рядів	43
2.2.1 Прогнозна екстраполяція	43
2.2.2 Прогнозування за допомогою кореляційного і регресійного аналізу	45
2.2.3 Прогнозування на базі ARIMA моделей	46
2.2.4 Адаптивні методи прогнозування	47
2.2.5 Прогнозування з використанням штучних нейронних мереж.....	48
2.3 Оцінка адекватності та похибки прогнозу	54
2.4 Вибір методу для короткострокового прогнозування електроспоживання промислового підприємства	55
Висновки.....	58
3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	59
3.1 Основні принципи побудови прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства на основі штучної нейронної мережі	59
3.1.1 Аналіз параметрів, що впливають на електроспоживання підприємства, на різних рівнях його системи електропостачання.	60
3.3 Методика навчання нейронної мережі та побудова прогнозної моделі.	70

3.4	Навчання ШНМ і прогноз електроспоживання машинобудівного підприємства	77
3.5	Вибір якісно-оптимальної кількості споживачів-регуляторів для вирішення задачі управління електроспоживання на основі сформованого прогнозу.....	85
4	РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	90
4.1	Опис ідеї проекту	90
4.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	91
4.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	92
	Продовження таблиці 4.6.....	96
4.3.1	Визначення цільової групи споживачів та дослідження ринку	96
4.4	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту та формування системи збуту	103
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	107
	ДОДАТОК А	112
	ДОДАТОК Б.....	114

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОЕС – об'єднана енергетична система

ШНМ – штучна нейронна мережа

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії

ЛУЗОД – локальне устаткування збору та обробки даних

СЕС – система електропостачання

ARIMA – інтегрована модель авторегесії

MAE - середня абсолютна похибка прогнозу (Mean absolute error)

MAPE - середня абсолютна похибка у відсотках (Mean absolute percentage error)

MSE - середньоквадратична похибка (Mean squared error)

RMSE - корінь середньоквадратичної похибки (Root mean squared error)

ПРД – перший робочий день

ОРД- останній робочий день

РД – робочий день

ВД – вихідний день

CAN – локальна промислова шина

ВДЕ – відновлюване джерело енергії

ЧПВ –чиста приведена вартість

ВСТУП

Електроенергетична галузь в Україні в умовах сьогодення має дуже об'ємну область проблем та задач, що потребують вирішення, особливо тих задач, що можуть покращити ситуацію у напрямку енергетичної безпеки країни. Беззаперечно, однією із таких проблематик є методологія та інструментарій управління енергоспоживанням, яка включає в себе питання енергозбереження та енергоефективності, економічної та комерційної обґрунтованості та дефіциту маневрових потужностей.

Необхідність прогнозування та управління режимами електроспоживання в промисловості обумовлена тим, що їх електричні навантаження ростуть і спричиняють дефіцит активної потужності в ОЕС України, також питомі показники затрат енергії на виробництво одиниці продукції невпинно зростають слідом за ними зростають і витрати на виробництво і, як наслідок, - ціна. Підвищення цін спричиняє втрату конкурентоспроможності та погіршення екологічних показників продукції. В Україні існують підприємства, що в структурі витрат енергоресурсів на одиницю продукції мають частку 70% і більше (особливо це стосується металургійної галузі). Тому тут можна говорити про нагальність і потребу в доповненні та удосконаленні існуючих методик та засобів управління електричним навантаженням.

На теперішній час в нашій країні відомі лише малочисельні приклади ефективного функціонування служб енергоменеджменту, внутрішнього обліку, аудиту і споживання енергоресурсів. Аналіз наукових публікацій з управління енергоспоживанням на підприємствах показує, що вони не вирішують всіх задач поставлених перед ними [1].

Таким чином, важливість управління енергоспоживанням на підприємстві з одної сторони та його недостатнє застосування в умовах вітчизняної економіки з іншої, спричиняють актуальність теми, що розглядається.

Об'єктом дослідження являються процеси електроспоживання промислового підприємства а також фактори від яких вони залежать; методологія короткострокового прогнозування та алгоритми керування електронавантаженням.

Мета роботи: підвищення точності прогнозування електроспоживання промислового підприємства, шляхом створення прогнозної моделі електроспоживання, що враховує його залежність від впливаючих на нього факторів.

Предмет дослідження: наявні короткострокові прогнозні моделі, їх похибки, шляхи їх зменшення, алгоритми навчання штучних нейронних мереж, евристичні алгоритми вибору факторів.

Методи дослідження. Розробки і дослідження проводилися на основі теорії математичного моделювання, теорії системного аналізу, теорії штучних нейронних мереж, евристичних алгоритмів відбору і нечіткої логіки, комп'ютерного моделювання, зворотного розповсюдження помилки.

Актуальність роботи. Прогнозування величини електричного споживання промислового підприємства є важливим техніко-економічним питанням науки. Необхідність точного прогнозування електроспоживання обумовлена технологічними і економічними причинами.

Практичне значення одержаних результатів може бути використане:

- для зниження величини фінансових витрат підприємств, що виникають при відхиленні фактичних обсягів електроспоживання від обсягів, заявлених до покупки на ринку електроенергії, шляхом використання прогнозних моделей електроспоживання підприємств з урахуванням індивідуальних особливостей кожного підприємства;

- для планування та обліку виробничої діяльності, що дозволяють знизити величину помилки при прогнозуванні електроспоживання;

- для визначення всіх факторів, що впливають на електроспоживання об'єкту, а також їх позиціонування від найбільш сильного до найбільш слабого;

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Основна особливість електроенергетики - збіг у часі процесів виробництва і споживання енергії - визначає залежність режиму виробництва енергії від режиму її споживання. Це означає, що попит на енергію в кожен момент часу повинен покриватися в чіткій відповідності з графіком навантаження конкретного споживача. Такі графіки широко застосовуються в практиці виробничого планування, ціноутворення, оперативно-технологічного (диспетчерського) керування. Повний добовий графік навантаження енергетичної системи складається з графіків окремих споживачів. Крім того, враховуються витрати електроенергії на власні потреби електростанцій та втрати в електричних мережах. Конфігурація ж добових графіків енергосистеми визначається в основному особливостями графіків навантаження різних споживачів і їх частками в сумарною навантаженні. Основні характеристики добових графіків навантаження складаються з максимального навантаження, мінімального навантаження, середньодобового навантаження і щільності графіка навантаження (коефіцієнт заповнення). Графіки навантажень енергосистеми вкрай нерівномірні. Щільність і рівномірність графіка навантаження впливає на економічні показники енергосистеми. Чим більше нерівномірність графіка навантаження, по якому змушена працювати електрична станція, тим вища собівартість, а отже і відпускна ціна. Покриття нерівномірності графіка навантаження пов'язане з витратами на резерви потужності і витрати палива. Енергогенеруючі установки повинні знаходитися в постійній готовності до несення навантажень. Витрати, пов'язані з цим, сплачуються споживачем у вигляді окремої плати тарифів (за приєднану потужність). Графіки навантаження окремих районних енергосистем можуть істотно відрізнитись по конфігурації і аналітичними характеристиками. Це пов'язано перш за все з різною структурою споживачів і кліматичними умовами в регіонах країни.

Розрізняються і способи покриття регіональних навантажень, тобто структура генеруючих потужностей. В результаті спільної дії всіх цих факторів в кожній енергосистемі формується своя вартість енергії. Зміна електричних навантажень (споживаної потужності) підприємства і його окремих електроприймачів в часі (в розрізі доби, днів тижня, сезону року) являє собою режим електроспоживання [1,2].

Основними завданнями регулювання режимів електроспоживання є зниження добових максимумів і вирівнювання графіків навантаження підприємств шляхом заповнення нічного провалу і перенесення навантажень з пікових (денних) годин доби. При цьому змінюються показники: підвищується коефіцієнт навантаження і число годин використання максимуму, знижується коефіцієнт різночасності навантаження. Ущільнення графіків навантаження енергосистеми веде до зниження потреби в генеруючих потужностях, а також поточних витрат виробництва за рахунок кращого використання устаткування за потужністю і за часом. Ущільнення графіків може здійснюватися шляхом проведення державних заходів, внутрішньогалузевих змін, а також на основі регулювання енергоспоживання безпосередньо на підприємствах. Регулювання може здійснюватися як прямими, так і непрямыми методами.

Рационалізація режимів електроспоживання з метою ущільнення графіка навантаження може проводитися споживачами як самостійно, так і у взаємодії з енергокомпанією. З усіх груп споживачів практичне зниження для регулювання добового графіка навантаження і зниження піків в години максимуму енергосистеми представляють електроприймачі промислових і прирівняних до них підприємств. Потім до них можуть приєднуватися і інші групи споживачів. Регулювання режимів електроспоживання промислових підприємств веде до вирівнювання графіка навантаження енергосистеми і зниження загальносистемного максимуму. В результаті в енергокомпанії скорочуються поточні і капітальні витрати, поліпшується баланс генеруючих

потужностей, підвищується конкурентоспроможність компанії на ринку електроенергії. У споживача з'являється інтерес до регулювання своїх навантажень пов'язаний зі зниженням плати за електроенергію (потужність). Звідси випливає, що економічною основою режимного взаємодії підприємств з енергокомпаніями служать диференційовані тарифи на електроенергію, що стимулюють проведення відповідних регулювальних заходів. Для цього можуть застосовуватися двоставкові тарифи з окремою оплатою пікової потужності та енергії, а також різні модифікації тарифів на електроенергію зі ставками, диференційованими за зонами доби (пікова, напівпікова, нічна). Слід звернути увагу на ймовірні витрати і втрати, які можуть супроводжувати процес регулювання, знижуючи його ефективність. Так, споживач може нести додаткові витрати, викликані роботою технологічного устаткування в змінному режимі. При режимній взаємодії енергосистеми і споживача можуть мати місце випадки, коли вирівнювання суміщеного графіка навантаження енергосистеми супроводжується погіршенням форми графіка навантаження даного споживача [2]. При цьому втрати в мережах енергосистеми знижуються, а втрати в розподільчих мережах промислового підприємства зростають. Додаткові витрати підприємства-споживача, викликані регулюванням режиму електроспоживання, повинні бути перекриті економією на оплаті енергоносія. Тому вибір споживачем раціонального тарифу повинен ґрунтуватися на критерії максимальної ефективності технічно можливих регулювальних заходів. У той же час енергокомпанія при визначенні обґрунтованого розміру тарифних ставок повинна брати до уваги як їх стимулюючий вплив, так і необхідність відшкодування очікуваний розмір втрат від недоотримання виручки. З урахуванням складності завдання найкращим варіантом рішення було б самостійне коригування усереднених ставок окремими ними зацікавленими споживачами в певних межах, встановлених енергокомпанією і затверджених регіональною енергетичною комісією. Вибір тарифної системи споживачем

повинен визначатися економічною доцільністю і регулювальними можливостями електроприймачів. Основними способами регулювання режимів електроспоживання на промислових підприємствах є такі організаційні та організаційно-технічні заходи: введення змінності (на однозмінних і двозмінних підприємствах); встановлення міжзмінних перерв (в години максимуму навантаження енергосистеми); введення різних годин початку і кінця змін різних цехів (відносний зсув змін у часі); призначення різних вихідних днів для різних цехів (особливо енергоємних); перерозподіл у часі (протягом доби) окремих енергоємних процесів; суміщення в часі (погодження) ремонтів агрегатів - великих електроприймачів; розробка послідовності відключення окремих електроприймачів і підключення власних генераторів (якщо такі є на підприємстві). Вибір способів регулювання і методів його стимулювання обумовлений регіональними умовами і діючою схемою організації енергетичного ринку.

1.1 Короткострокове прогнозування та його роль в управлінні енергоспоживання підприємства

Управління електроспоживанням несе в собі основною задачею прогнозування навантаження. «Прогнозування» - як наука, сформоване в середині минулого століття. Дана наука приділяє велику увагу статистичним методам прогнозування: регресійний аналіз, методи екстраполяції тимчасових рядів. При відсутності якісних вихідних даних більшість із цих методів не підходить для вирішення поставлених завдань, так як вони вимагають глибокого вивчення математичної статистики.

Вихідні дані для вирішення завдання прогнозування повинні бути достовірними і зібрані за однією методикою. Період їх збору повинен бути постійним і враховувати вплив сезонних коливань [1].

Електроенергетичні системи є складними системами управління. Вони характеризуються безперервним технологічним процесом, що володіє динамічними властивостями, чутливі до впливу зовнішніх і внутрішніх

факторів, мають складну, ієрархічну структуру. Як показано в [2,3,4] до цих характеристик відносяться:

- великі масштаби енергетичного виробництва, поширеність на велику територію енергооб'єктів, об'єднаних спільністю режиму і єдністю оперативного управління;
- безперервність у часі процесів виробництва, розподілу і споживання електроенергії та теплоенергії;
- імовірнісний характер формування електричних і теплових навантажень;
- саморегулювання в сенсі активної дії при зміні як зовнішніх, так і внутрішніх впливів;
- взаємозв'язок великої кількості елементів і, як наслідок, наявність численних внутрішніх і зовнішніх, в тому числі і зворотних зв'язків;
- надійність функціонування при надмірності зв'язків і елементів.

Між енергосистемою і численними споживачами електричної енергії існують складні взаємини, які визначаються особливостями електроенергетичного виробництва. Нерозривність технологічного процесу виробництва і споживання енергії призводить до жорсткої залежності обсягу виробництва від споживання в кожен даний момент часу.

Однією з перших і основних елементів проекту електропостачання промислових підприємств є визначення очікуваних електричних навантажень. Саме навантаження визначають необхідні технічні характеристики елементів електричних мереж - перетину і марки провідників і струмопроводів, потужності і типи трансформаторів. Перебільшення очікуваних навантажень призводить до перевитрати проводів і кабелів і невиправданої перевитрати коштів, вкладених в надлишкову вартість потужних трансформаторів. Зниження - до зайвих втрат в мережах, перегріву провідників і трансформаторів, підвищеного теплового зносу і скорочення нормального терміну їх служби.

В обох випадках наведені витрати, які є критерієм економічності прийнятих проектних рішень, а також собівартості передачі електроенергії зростають. Правильне визначення електричних навантажень забезпечує правильний вибір і економічну роботу засобів компенсації реактивної потужності і регулювання напруги, а також релейного захисту та автоматики.

Аналіз електричних навантажень, що проводився в останні роки, відзначав наявність в них в тій чи іншій мірі циклічної складової. Циклічність характерна не тільки для невеликих споживачів типу цехів заводів, але і для електричних систем в цілому. Існування циклічності пояснюється сильною залежністю від добової циклічності ритму життя населення та роботи підприємств, а також від метеорологічних і кліматичних умов. Остання залежність в ряді випадків відіграє велику роль у формуванні випадкових відхилень від періодичного графіка, тому прогнозування ведеться, наприклад, на основі величини середньодобової температури повітря і т.п. На величину електроспоживання впливають також зміни освітленості як протягом доби, так і в залежності від сезону. Збільшення частки транспортних і комунальних споживачів також викликає появу циклічних складових з періодом, який визначається демографічними і соціологічними чинниками.

Відомо, що навантаження являє собою випадковий процес, а наявність циклічних складових і трендів математичного очікування переводить навантаження в клас нестационарних випадкових процесів при розгляді їх на досить тривалому інтервалі часу.

Властивості стаціонарності (періодичності) використовуються при аналізі випадкових процесів для спрощення багатьох співвідношень і дозволяє перейти від випадкового процесу до послідовності випадкових величин, повністю визначається своїми моментами і кореляційною функцією.

Добова періодичність, яка існує, судячи з графіками кореляційної функції, носить неявний характер. Якщо ж поставити у відповідність процесу

навантаження будь-який фізичний аналог, то це могла б бути коливальна система, яка перебуває під впливом випадкових збудників. Можна навести такі зіставлення :

1. Випадковим стрибкам відповідає матеріальна точка в нейтральній рівновазі.

2. Ритмічними коливаннями володіє стійка автономна система, тобто система з характеристиками, незалежними від часу.

При суб'єктивному обґрунтуванні прийнятих рішень необхідні завчасні оцінки їх можливих і найбільш ймовірних результатів, тому одним із головних завдань при формуванні планів і їх нормативної бази є підготовка прогнозів електроспоживання та інших енергоресурсів.

Точність електроспоживання у вирішальній мірі визначає обсяги капітальних вкладень на спорудження системи електропостачання (СЕС), що будується або реконструюється. Проектування СЕС промислового підприємства починається з визначення параметрів електроспоживання, й джерела електроенергії, попередньо визначається вартість спорудження електроенергетичного об'єкта. Помилки при розрахунку електричних навантажень здатні збільшити вартість і терміни спорудження підприємства.

Розрахунок електроспоживання проводиться для різних цілей і на різних рівнях СЕС, що зумовило відмінність методів і підходів до визначення величин розрахункового навантаження і витрат електроенергії. При досить строгих математичних перетвореннях фундаментальних законів, на яких базується більшість відомих методів, завдання повністю не вирішене.

Основними складовими прогнозу електричних навантажень споживачів електроенергії є наступні:

1. Графіки активних і реактивних навантажень для різних часових циклів: саме добових, сезонних, річних.

2. Споживання електроенергії за певні періоди часу.

3. Основні характеристики графіків навантажень за задані періоди часу.

Прогнозування режимів електроспоживання (електричного навантаження) потребує і вирішення великого спектру завдань поточного планування і оперативного управління режимами функціонування електроенергетичних систем. Прогнози навантаження здійснюються в наступних часових діапазонах:

- оперативному (в межах зміни, поточної доби);
- короткостроковому (добу, тиждень, місяць);
- довгостроковому (місяць, квартал, рік).

Характерні особливості оперативного і короткострокового прогнозування полягають у тому, що вони є функціональними частинами різних контурів управління і завдань енергосистем і енергооб'єднань. Довгострокове перспективне прогнозування - завдань проектування організацій.

Оперативне управління реалізується в реальному масштабі часу, тому воно вимагає швидкого прийняття рішень, а, отже, швидкодіючих алгоритмів прогнозування, які дозволяють здійснювати коригування нормальних режимів роботи систем електропостачання в разі відхилення їх від планових завдань. Ця швидкодія досягається за рахунок спрощення статистичних моделей прогнозування, що використовують невеликий обсяг вихідної інформації. Так, наприклад, при коригуванні режиму електроспоживання в години максимуму енергосистеми необхідний прогноз з періодом попередження від декількох хвилин до декількох десятків хвилин, для реалізації якого достатній період передісторії довжиною в кілька годин.

Короткострокове прогнозування базується на виявленні закономірностей зміни параметрів системи електропостачання за більш тривалий період передісторії. Ці закономірності є відображенням результатів організаційно-технічної стратегії, а також природною циклічністю функціонування з періодами, рівними: добі, тижня, місяця.

Прогнозування електричного навантаження включає в себе наступне:

1. Встановлення стохастичних зв'язків між випущеною на підприємстві валовою продукцією і необхідному для цього кількості електричної енергії.
2. Облік нових підключень навантаження при розширенні підприємства.
3. Продовження встановленого зв'язку на певний термін (функціональне або ймовірнісне).

Стохастичний (імовірнісний) зв'язок випадкових процесів або величин характеризується величиною коефіцієнта кореляції. На збільшення коефіцієнта кореляції між продукцією що випускається на підприємстві і величиною споживаної енергії, впливають такі чинники:

- а) Ущільнення графіка навантаження підприємства, цеху тобто:
 - 1) підвищення питомої ваги енергоємних агрегатів, підприємств;
 - 2) подальша автоматизація виробництва, що призводить до підвищення електричного навантаження при роботі споживача в нічний час (автоматична лілія, наприклад, може працювати безперервно, зупиняючись тільки для зміни програми, технічного огляду і ремонту);
 - 3) ущільнення режиму роботи комунально-побутових споживачів (підвищення ККД побутових електроприймачів, подальша електрифікація побуту, зміна часу телевізійних програм і т.д.);
 - 4) подальша електрифікація сільського господарства.
- б) Зниження впливу великих одиночних електроприймачів на загальне навантаження, а саме:
 - 1) зменшення відносного вкладу цього навантаження в сумарний показник в даному приєднанні;
 - 2) зміна режиму роботи окремих споживачів з метою вирівнювання графіка загального навантаження.
- в) Зменшення впливу кліматичних факторів на величину навантаження підприємства (застосування систем кондиціонування повітря, безвіконні будівлі).

г) Зменшення числа аварійних ситуацій, особливо підвищення надійності роботи технологічних агрегатів, оскільки ймовірність виходу з ладу технологічних елементів системи вище, ніж вірогідність аварії електричної апаратури.

Найбільш цікавим рішенням завдання прогнозування електричного навантаження може бути злиття виконавчого (робочого) органу машини з джерелом живлення. Наявність альтернатив, потужних і дешевих джерел енергії (паливні елементи, акумулятори) на кожній робочій машині призвело б до знищення необхідності в розподілі енергії, самої розподільної мережі, прогнозування електричного навантаження або, й до значного вирівнювання графіка електричного навантаження (споживачем в даному випадку була б зарядно-акумуляторна станція, а не підприємство) [5].

Вихід підприємства на ринки електроенергії передбачає відповідну технічну оснащеність щодо сучасних систем обліку і контролю споживання електроенергії.

Веде облік витрат електроенергії на промисловому підприємстві розділяється на комерційний і технічний. Комерційний облік здійснюється для визначення кількості електричної енергії, отриманої підприємством від енергопостачальної організації за розрахунковий період. З цією метою використовуються лічильники активної і реактивної енергії, які встановлюються на межі розділу балансової належності мереж енергетичні компанії і підприємства. За їхніми свідченнями проводяться грошові розрахунки за спожиту електроенергію і потужність.

Технічний облік призначений для контролю за витратою електроенергії усередині підприємства (окремими цехами, ділянками, агрегатами та інше). На основі даних технічного обліку встановлюються норми витрат електроенергії на виробництво окремих видів продукції і послуг, розробляються енергетичні баланси, оцінюється ефективність використання енергії в різних технологічних процесах, плануються конкретні заходи щодо

економії електроенергії як в цілому по підприємству, так і по окремих цехах, ділянках, агрегатах.

Прилади технічного обліку можуть бути встановлені в різних точках системи електропостачання підприємства аж до окремих електроприймачів. В даний час визнано доцільним передбачати встановлення вимірювальних приладів практично у будь-якого споживача. Так, при розміщенні лічильників на шинах 10 кВ головною понижувальної підстанції підприємства економія становить 1%, а при установці на окремому приймачі - 5%. При цьому в залежності від вимог до точності вимірювань і фінансових можливостей підприємства можуть застосовуватися як електронні, так і більш дешеві індукційні електролічильники [6].

Однак при збільшенні числа лічильників можливе регулярне зняття і аналіз показників. Тому для віддалених цехових споживачів рекомендується використовувати так звані переносні лічильники електроенергії, а система електропостачання повинна бути пристосована до їх тимчасового підключення.

Прогресивна організація обліку на підприємствах-споживачах пов'язана з впровадженням автоматизованої системи комерційного і технічного енергообліку, що зводить до мінімуму участь людини на етапах вимірювання, збору і обробки даних. З цією метою споживачі створюють автоматизовані системи контролю та обліку електроенергії - АСКОЕ. Важливо, що ці системи багатофункціональні: вони не тільки здійснюють максимально точний, гнучкий і оперативний облік витрат енергоносіїв, а й виконують функції автоматичного регулювання енергоспоживання, забезпечуючи оптимізацію графіків електричних навантажень і загальне енергозбереження на підприємстві. Крім того, вони дозволяють при необхідності швидко адаптувати комерційний облік електроенергії до різних «тарифних меню», в тому числі і до найбільш складних видів тарифів,

диференційованих за часом доби, а також окремих енергоспоживаючих процесів.

За допомогою АСКОЕ вирішуються наступні завдання [6]:

- автоматизований розгалужений комерційний і технічний облік електроенергії та інших енергоносіїв для всіх точок і параметрів енергообліку відповідно до діючих тарифних системами;
- контроль електроспоживання по всіх точках обліку в різних тимчасових інтервалах (від декількох хвилин до року) щодо заданих лімітів, режимних та технологічних обмежень (з сигналізацією відхилень і фіксацією їх величин);
- автоматичне керування електроприймачами, які виконують функції споживачів-регуляторів;
- точний розрахунок по енергоспоживанню з субабонентами підприємства, що забезпечує обґрунтований розподіл енерговитрат;
- складання енергобалансів підприємства, цехів, дільниць і споживаючих установок;
- прогнозування значень параметрів енергообліку для планування енергоспоживання (коротко-, середньо-, довгострокове).

Крім перерахованих завдань слід також підкреслити значення АСКОЕ для організації внутрішнього господарського розрахунку на підприємстві і формування ефективної системи стимулювання економії енергоресурсів на робочих місцях.

Не маючи АСКОЕ, практично неможливо нормально працювати на оперативному оптовому ринку електроенергії, де рішення приймаються всередині досить вузьких часових інтервалів. Наприклад, для стандартних 30-хвилинних інтервалів, якими оперують при розрахунках енергопостачальні організації, інтервал часу для отримання і зберігання інформації повинен перебувати в межах 10-20 с. Тому організація АСКОЕ як засобу комерційного обліку є основною умовою допуску підприємства на

конкурентний оптовий ринок електроенергії. У зв'язку з цим головне завдання АСКОЕ, згідно з нормативними документами, - надання оператору торгової системи достовірної та легітимною інформації про рух товарної продукції для організації розрахунків відповідно до правил функціонування оптового ринку [7].

Крім свого основного призначення - комерційного обліку – дані АСКОЕ підприємств можуть застосовуватися технологічним оператором ринку для відстеження графіку електричного навантаження споживачів з метою виявити порушення договірних зобов'язань, визначити результативність запроваджених обмежень в аварійних умовах, тобто для управління процесами, що не вимагають негайного втручання.

Технічний (внутрішній) облік АСКОЕ забезпечує високоточний і деталізований контроль за всіма процесами електроспоживання на підприємстві (рисунк. 1.1). Це особливо важливо в умовах зростання цін на енергію, коли кожен відсоток її економії набуває все більшого значення для конкурентоспроможності підприємства-споживача.

Інформаційно-обчислювальний комплекс електроустановки в складі приладів збору і передачі даних і обладнання зв'язку, забезпечує інформаційний обмін між усіма компонентами системи, збір і зберігання даних комерційного обліку та діагностичної інформації, отримання та надання персоналу обслуговування об'єкта оперативних даних.

Збір інформації з енергооб'єктів з приладів обліку здійснюється за допомогою перетворювача інтерфейсів та локальної промислової шини CAN. Центр обробки інформації в складі сервера з встановленим програмним забезпеченням і обладнання зв'язку, забезпечує збір і зберігання даних комерційного обліку, отримання та надання персоналу оперативних даних, формування форм і звітів необхідного формату і номенклатури.

Сучасні АСКОЕ представляють собою складні технологічні комплекси, що включають:

- індукційні і електронні лічильники активної і реактивної енергії зі спеціальними датчиками імпульсів;
- системи, що забезпечують збір, обробку, накопичення, зберігання та передачу через канали зв'язку на верхній рівень управління інформації про витрату електроенергії і потужності в контрольованих точках;

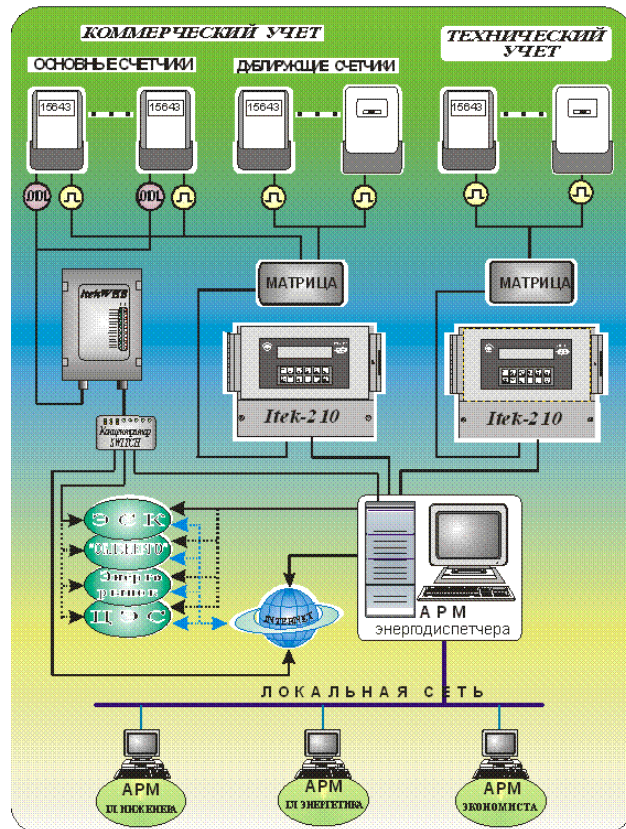


Рисунок 1.1 – Автоматизована система комерційного обліку електроенергії

- технічні засоби збору та передачі інформації від приладів обліку до пристроїв обробки інформації, включаючи канали зв'язку, модеми, пристрої комутації сигналів та ін.

Різні АСКОЕ промислового призначення, пропонувані вітчизняними і зарубіжними фірмами, мають різні функціональні можливості, розрізняються розгалуженістю (кількістю точок) обліку, технічними засобами передачі інформації і, звичайно, вартістю в досить широкому діапазоні. Перспективи подальшого розвитку АСКОЕ підприємств пов'язують, зокрема, з

комплексним урахуванням енергоносіїв, включаючи електричну енергію, тепло, газ і воду.

Децентралізована АСКОЕ. Варіант АСКОЕ, є найбільш оптимальним рішенням для розгалуженого обліку і контролю електроенергії, а також, можливо, і інших енергоносіїв по всім споживачам аж до кожного робочого місця і об'єктів невиробничої сфери підприємства.

Такий комплекс створюється на основі декількох локальних систем обліку з вбудованими табло і клавіатурою, які встановлюються прямо на контрольованих об'єктах і за допомогою каналів зв'язку підключаються до техніки головного енергетика підприємства. Керівники окремих підрозділів отримують, таким чином, на місцях в реальному масштабі часу доступ до енергообліку, що їх цікавить.

Принципово важливо, що подібна децентралізована АСКОЕ об'єднує в рамках своєї структури функції комерційного і технічного обліку, які виконуються спеціально виділеними для цих цілей локальними системами. Децентралізовані АСКОЕ з розширеними функціями забезпечують і автоматичне керування навантаженням безпосередньо в місцях установки об'єктних систем.

Технологічно розглянута АСКОЕ формується за тривірневою схемою. На нижньому рівні розподілені по точкам обліку первинні вимірювальні перетворювачі - електролічильники з імпульсними датчиками і телеметричним виходами - здійснюють безперервно або з мінімальним інтервалом усереднення вимірів і параметрів енергообліку.

На середньому рівні спеціалізовані вимірювальні системи з вбудованим програмним забезпеченням здійснюють цілодобовий збір даних від перетворювачів, їх накопичення, обробку та передачу на верхній рівень ієрархії АСКОЕ.

Верхній рівень - персональна електронно-обчислювальна техніка із спеціалізованим програмним забезпеченням - здійснює збір інформації від

систем середнього рівня, підсумкову обробку по точках обліку, підрозділам і господарським об'єктам підприємства, відображення і документування даних обліку у вигляді, зручному для прийняття рішень службою головного енергетика та керівництвом підприємства (зокрема, побудови добових півгодинних графіків енергетичного навантаження).

Нижній рівень АСКОЕ пов'язаний із середніми вимірювальними каналами, в які входять всі вимірювальні пристрої та лінії зв'язку від точки обліку до локальної вимірювальної системи. Для забезпечення зв'язку середнього і верхнього рівнів можуть бути використані провідні лінії, виділені на ефективність впровадження АСКОЕ. Створення АСКОЕ на промисловому підприємстві призводить до скорочення витрат на оплату енергії і потужності насамперед за рахунок:

- точного виявлення всіх втрат енергії на підприємстві;
- оперативного управління графіками енергоспоживання (електричних навантажень);
- виключення нераціонального (за критерієм енергоефективності) використання технологічного обладнання;
- переходу в розрахунках з енергопостачальними організаціями від договірних величин до безпосередньо вимірюваним та контрольованим параметрам;
- можливості покупки електроенергії на конкурентному оптовому ринку;
- вибору більш вигідних тарифних систем (з поглибленою диференціацією ставок за часом доби, видам енергоспоживаючих процесів та інше).

Наприклад, при відсутності АСКОЕ споживач розраховується за заявлену ним і фіксовану в договорі з енергокомпанією величину потужності, в разі перебору якої оплата проводиться за підвищеним тарифом. Оскільки достовірне визначення поточного значення потужності ускладнене, споживач змушений заявляти потужність з запасом на 5-10%, щоб уникнути переплати.

У разі впровадження АСКОЕ споживач отримує право розраховуватися за фактично спожиту потужність, зафіксовану приладами. Так як вони працюють строго синхронно, сумарна потужність навантаження виявляється в середньому на 5-10% менше, ніж при додаванні показників окремих лічильників «ручним» способом. Таким чином, в цілому економія тільки від цього фактора може досягати 10-20%.

Досвід застосування АСКОЕ на промислових підприємствах різних галузей показав, що економія енергоресурсів коливається від 10-15 до 25-30% місячного споживання, а термін окупності витрат не перевищує 1-2 років [6].

1.2 Актуальність прогнозування електричного навантаження в умовах ринку електричної енергії

Прогнозування режимних параметрів і техніко-економічних показників є однією з важливих задач, як при плануванні, так і при веденні поточних режимів електроенергетичної системи. Створення умов для вільної конкуренції на оптовому ринку електроенергії є частиною комплексу заходів, що проводяться в рамках реформування галузі, і направлене на вироблення нового механізму утворення цін на електричну енергію, що відображає баланс інтересів виробників і споживачів електроенергії. Ціна помилок прогнозування і планування стає все більш високою. Оціночні розрахунки, що проводяться для споживачів в Україні з рівнем піків навантаження більше 20 ГВт, можна вважати що поліпшення якості прогнозування тільки на 0,1% здатне в справжніх умовах знизити витрати на оплату відхилень від плану на постачання електричної енергії на мільйони гривень на рік. Ще більший ефект приносить уточнення короткострокового і оперативного прогнозу графіків споживання потужності.

Загалом по Україні (сума регіонів) завдання з граничного споживання електричної потужності за години контролю протягом року перевищувалися 4 місяці, а саме: у січні на 666 МВт або на 5,1%, лютому на 147 МВт або на

1,2%, березні на 549 МВт або на 4,6% та квітні на 558 МВт або на 5,3%. Завдання з граничного споживання електричної енергії перевищувалось 7 місяців, а саме: у лю- тому на 515 млн кВт·год або на 2,7%, березні на 410 млн кВт·год або на 2,3%, квітні на 1063 млн кВт·год або на 6,6%, травні на 265 млн кВт·год або на 1,8%, червні на 335 млн кВт·год або на 2,3%, липні на 67 млн кВт·год або на 0,5% та жовт- ні на 20 млн кВт·год або на 0,1%. При цьому окремі регіони допускали перевищення завдань з граничного електроспоживання по декілька місяців за рік. Найбільша кількість перевищень завдань з граничного споживання електричної енергії та потужності у 2015 році наведена в таблиці 1.1[7].

Таблиця 1.1 - Перевищення завдань з граничного споживання електричної енергії та потужності

Найменування області, міста	Region, city	Електрична енергія Electricity			Електрична потужність Power		
		Кільк. місяців Number of months	min-max min-max		Кільк. місяців Number of months	min-max min-max	
			млн кВт·год TW·h	%		МВт MW	%
Волинська	Volynska	7	0,2 - 12,3	0,1 - 7,4	5	3 - 15	1,4 - 6
Запорізька	Zaporizka	6	56,4 - 120,8	8,2 - 15,5	7	21 - 170	2,1 - 16,1
м. Київ	Kyiv city	6	0,6 - 61,7	0,1 - 9,3	3	27 - 85	2,5 - 7,4
Дніпропетровська	Dnipropetrovska	4	79,6 - 129,7	3,6 - 5,4	3	33 - 78	1,1 - 2,3
Черкаська	Cherkaska	4	0,6 - 19,8	0,2 - 6,9	4	11 - 34	2,7 - 7,8
Закарпатська	Zakarpatska	3	0 - 3,9	0 - 1,9	2	7 - 17	1,9 - 4,4
Львівська	Lvivska	3	3,6 - 27,3	0,8 - 5,8	2	11 - 13	1,6 - 1,8

Мінімізація помилки планування, а так само створення програмного забезпечення, яке дозволить використовувати малий обсяг ретроспективної інформації, є актуальним завданням.

У період переходу до ринкової економіки електроенергія стає повноцінним товаром - об'єктом купівлі-продажу. Оскільки процес купівлі-продажу завершується тільки після оплати (реалізації), електроенергія як товар виражається не тільки кількістю, а й вартістю. При цьому основними ринковими параметрами стають кількість корисно відпущеної енергії і її

сплачена вартість, а формуються роздрібний і оптовий ринки електроенергії є ринок корисно спожитої електроенергії.

1.3 Поняття прогнозної моделі та існуючі методи прогнозування промислових підприємств

Прогнозна модель об'єкта являє собою систему рівнянь (формул) з коефіцієнтами, які формуються в процесі розробки моделі на стадії чисельного моделювання.

У формули підставляються вхідні параметри, відібрані в процесі розробки моделі на стадії якісного моделювання. На основі представлених даних прогнозна модель передбачає величину вихідного параметра. Прогноз з використанням прогнозної математичної моделі об'єкта є об'єктивним і науково обґрунтованим.

При вирішенні задачі прогнозування електроспоживання промислового підприємства об'єктом прогнозування є власне електроспоживання підприємства як сукупність процесів споживання електричної енергії всіма електроприймачами підприємства. Вихідним параметром прогнозної моделі є величина споживаної електричної потужності в той чи інший момент часу або споживаної електричної енергії за той чи інший проміжок часу. Для промислового підприємства, що працює в умовах оптового ринку електроенергії, вихідним параметром є величина навантаження в кожен годину доби, на які здійснюється прогнозування. Вхідними параметрами прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства є ті параметри, які в тій чи іншій мірі впливають на величину електроспоживання.

В основі прогнозної моделі лежить метод прогнозування, цей метод визначає набір алгоритмів і формул, на підставі яких буде прогнозуватися поведінка об'єкта прогнозування. На вибір методу, що лежить в основі прогнозної моделі, впливають мета і завдання прогнозування, а також величина того інтервалу часу, на який проводиться прогнозування [8].

Після визначення методу прогнозування з використанням того чи іншого математичного апарату визначаються раніше невідомі параметри прогнозної моделі - залежно вихідного параметра моделі від вхідних параметрів. Фактично при створенні прогнозної моделі електроспоживання визначаються закономірності зміни вихідного параметра (величини електроспоживання) в залежності від параметрів, вибраних в якості вхідних.

При вирішенні задачі прогнозування погодинної величини електроспоживання промислового підприємства, що працює на оптовому ринку електроенергії, до прогнозної моделі електроспоживання ставляться такі вимоги:

1. Модель повинна задовольняти вимогам адаптивності і еволюційності. Вона повинна забезпечувати можливість включення досить широкого діапазону змін, доповнень, щоб було можливо послідовне наближення до моделі, задовільняючого по точності результатів прогнозування.

2. Модель повинна бути досить абстрактною, щоб забезпечувати роботу з великою кількістю вхідних параметрів, але не настільки абстрактною, щоб виникали сумніви в надійності і практичній корисності отриманих на ній результатів прогнозу.

3. Прогнозна модель повинна забезпечувати формування прогнозу за необхідний проміжок часу (доба наперед).

4. Модель повинна орієнтуватися на реалізацію за допомогою існуючих технічних засобів, тобто бути фізично здійсненою на даному рівні розвитку техніки і підходити для даної ситуації на підприємстві.

5. Модель повинна передбачати можливість перевірки істинності, відповідності її оригіналу.

Існують дві стадії оцінки прогностичних здібностей моделі об'єкта: прогнозування минулих періодів часу і дослідна експлуатація. У першому

випадку модель будується не на всіх наявних даних, а на так званій навчальній вибірці (сукупності), з якої виключаються кілька останніх точок - так звана тестова (перевірочна) вибірка. Потім за допомогою моделі розраховуються прогнозні значення, відповідні інтервалам часу, на які припадає тестова вибірка, і оцінює прогностичні здібності моделі на основі різниці між фактичними і прогнозними значеннями величини.

Модель, що пройшла першу стадію оцінки прогностичних здібностей, вводиться в дослідну експлуатацію і розраховує майбутні значення показника в чистому вигляді. У міру настання майбутнього прогнозного значення показника порівнюються з його фактичними значеннями.

Прогнози, як правило, можна розділити на дві групи:

1. Точкові - це прогнози, що фіксують одне значення прогнозованого параметра об'єкта прогнозу.

2. Інтервальні - це прогнози, що фіксують дві або більше можливих значення прогнозованого параметра.

Як правило, в разі інтервального прогнозу говорять про верхні і нижні межі прогнозу (довірчий інтервал прогнозу) і ймовірності попадання величини прогнозованого параметра об'єкту в цей інтервал, (рисунок 1.2).

При прогнозуванні електроспоживання промислового підприємства застосовується точковий прогноз, тому що в сучасності правила оптового ринку не передбачають наявність припустимого інтервалу відхилення заявленої (прогнозованої) величини від фактичної. Будь-яке відхилення фактичного електроспоживання оплачується за тарифами балансуючого ринку, що призводить до зростання додаткових фінансових витрат підприємства, зв'язаних з оплатою цих відхилень.

За часом попередження прогнозованої події різні дослідники виділяють різні типи прогнозу [9]. У будь-якому випадку розподіл прогнозу на типи за часом попередження залежить від об'єкта прогнозу і конкретного завдання, для вирішення якої будується прогнозна математична модель.

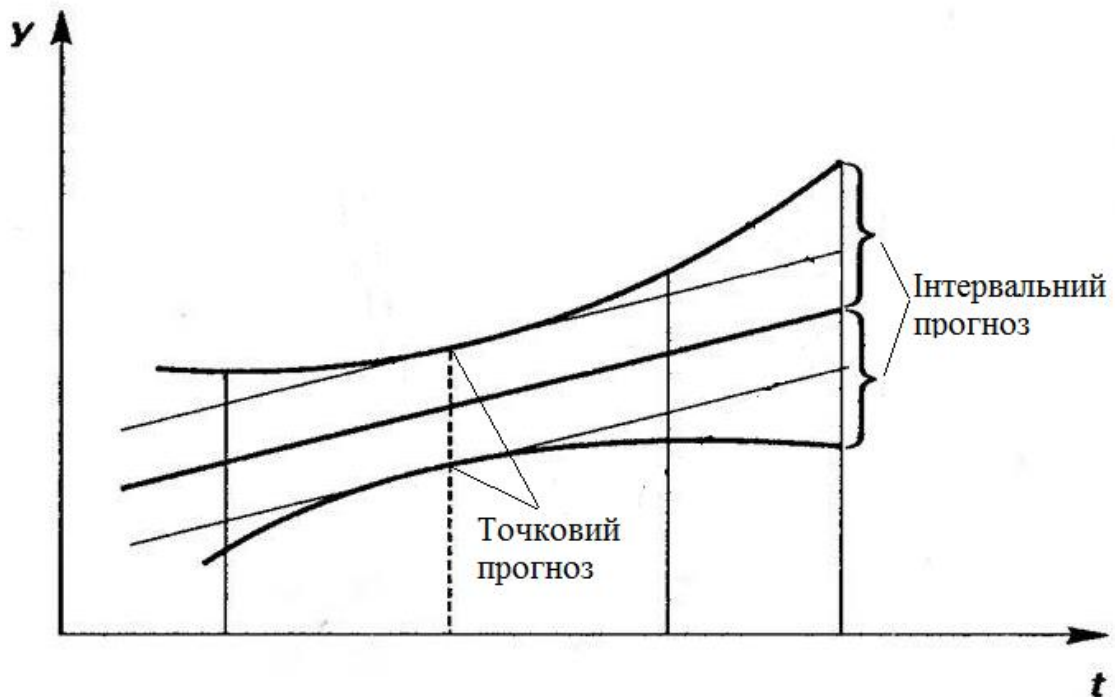


Рисунок 1.2 – Точковий та інтервальний прогнози

При прогнозуванні споживання електричної енергії промислового підприємства відповідно до існуючих вимог ринку електроенергії слід виділити наступні типи прогнозу:

1. Оперативний (в межах зміни, поточної доби);
2. Короткостроковий (добу, тиждень, місяць);
3. Довгостроковий (місяць, квартал, рік).

Висновки

1. Короткострокове прогнозування електроспоживання промислового підприємства є важливою задачею. Помилки прогнозування визначають величину додаткових фінансових витрат підприємства, пов'язаних з оплатою відхилень фактично використаної електроенергії від планових (заявлених на

оптовий ринок електроенергії) значень електричного споживання. Зменшення величин помилок прогнозу дозволить підприємству знизити ці витрати, а значить - зменшити загальну суму платежів за споживану електроенергію.

2. Аналіз існуючих прогнозних моделей, призначених для короткострокового прогнозування електроспоживання, показав, що всі вони мають істотний недолік, а саме - відсутність обліку виробничих показників підприємства при прогнозуванні електроспоживання.

3. В умовах ринкової економіки плани виробничих процесів визначаються, перш за все, кон'юнктурою ринку збуту виробленої продукції. При умові, продукція, що випускається підприємством, представлена широкою номенклатурою товарів, ситуацією на ринку збуту тієї чи іншої продукції, а також наявністю твердих, опціональних та факультативних контрактів на випуск тих чи інших видів продукції, багато в чому визначатиме величину її планового і фактичного виробництва. Таким чином, план виробництва продукції як на довгострокову, так і на короткострокову перспективу є багато орієнтовним і підлягає уточненню в процесі виробництва. У свою чергу, обсяги виробництва продукції будуть в тій чи іншій мірі визначати величину електричного споживання промислового підприємства.

4. Для прогнозування споживання електроенергії промислового підприємства необхідна така прогнозована модель, яка буде володіти адаптивністю до швидкоплинних умов середовища і дозволить враховувати виробничі показники підприємства.

2 МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

2.1 Огляд та класифікація методів прогнозування

Метод прогнозування – це улаштований на створення прогнозу спосіб дослідження об'єкта відносно якого необхідне прогнозування.

Класифікуємо існуючі методи прогнозування, щоб визначити оптимальний метод прогнозування для побудови за допомогою нього прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства(рисунок 2.1).

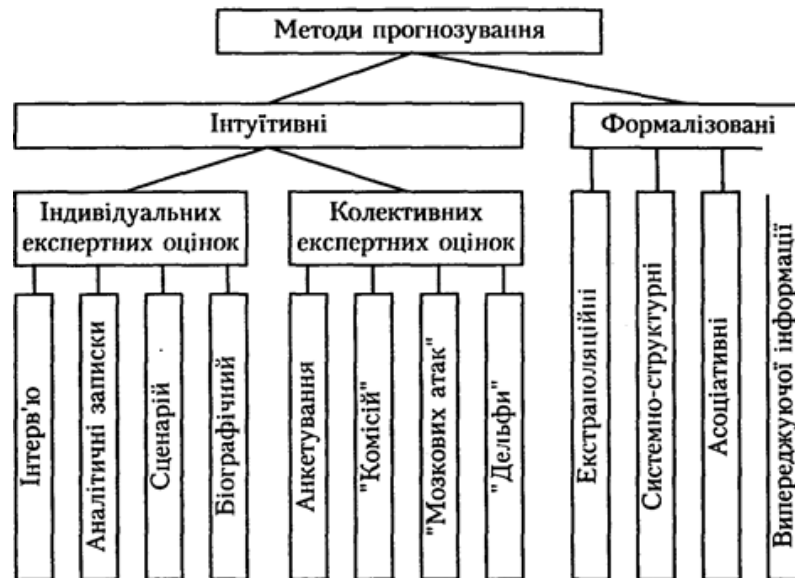


Рисунок. 2.1- Класифікаційна схем методів прогнозування

За оцінками вітчизняних та зарубіжних дослідників, чисельність різних методик, прийомів і методів прогнозування перевищила сто п'ятдесят. Однак кількість базових методів, що повторюються в різних варіаціях в інших методах, не перевищує десятки. Специфіка вихідної інформації та прогнозування об'єктів вимагає вибору адекватного методу прогнозування. Під методом прогнозування розуміється сукупність прийомів прогнозування, що дозволяють на основі ретроспективних даних, відомих зовнішніх та внутрішніх зв'язків підсистем. Із множини наявних класифікаційних ознак та факторів методів прогнозування визначають взяті ознаки, що характеризують

спосіб перетворення прогнозної інформації та природи знань, що лежать в підставі прогнозу [10, 11, 12].

На вибір відповідного методу прогнозування, впливають наступні фактори:

- потрібна форма прогнозу;
- період і інтервал прогнозування;
- доступність даних;
- необхідна точність;
- поведінка прогнозованого процесу;
- розуміння і співпраця диспетчерів (або персоналу).

Прогнозування електроспоживання багатьох підприємств в даний час частково або повністю виробляється за допомогою інтуїтивних методів прогнозу. У ролі експертів виступають спеціалісти служби головного енергетика підприємства, відповідальні за формування і подачу заявок на споживання електроенергії. За умови високої кваліфікації експерта прогноз може бути досить точним, а при низькій кваліфікації експерта - величина помилки прогнозу буде велика. Високий ступінь залежності якості прогнозу від кваліфікації експертів дозволяє стверджувати, що інтуїтивні методи в цілому не підходять для створення на їх основі прогнозних моделей електроспоживання промислових підприємств, так як вони не забезпечують стабільну точність і практично не піддаються автоматизації.

У той же час слід зазначити, що інтуїтивні методи, зокрема методи колективних експертних оцінок, корисні в процесі створення прогнозної моделі електроспоживання на основі формалізованих методів. У таких випадках методи експертних оцінок слід використовувати для аналізу структури електроспоживання і виділення набору параметрів, що впливають на нього [11]. За допомоги інтуїтивних методів при створенні прогнозної моделі електроспоживання підприємства можна визначити оптимальний набір її вхідних параметрів, а ступінь їх впливу на вихідний параметр

- споживання електричної енергії більш доцільно визначати за допомоги формалізованих методів.

Аналіз джерел та досліджень [12, 13], до формалізованих методам прогнозування в залежності від загальних принципів дії можна віднести:

- методи екстраполяції;
- структурно-системні методи;
- математичні методи;
- методи асоціативності.

До групи методів прогнозної екстраполяції можна включити методи найменших квадратів, експоненціального згладжування, ймовірнісного моделювання та адаптивного згладжування. До групи структурно-системних методів - віднести методи функціонально-ієрархічного моделювання, морфологічного аналізу, матричний метод. До математичних методів відносяться кореляційно-регресійний аналіз, метод групового обліку аргументів, факторний аналіз, варіаційні методи. Асоціативні методи можна розділити на методи імітаційного моделювання і архаїчного аналізу.

Формалізовані методи мають такі переваги:

- прогнозування формалізованими методами добре інтегруються в автоматизацію;
- незалежність від суб'єктивних факторів (як у випадку з інтуїтивним прогнозом).

Найбільш оптимальним може бути інша концепція побудови прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства (2 принципи):

1. В основі прогнозної моделі повинен лежати один з формалізованих методів прогнозування.

2. Конфігурація прогнозної моделі (визначення набору вхідних параметрів, від яких буде залежати електроспоживання) повинно здійснюватися за допомогою інтуїтивного методу прогнозування (експертної оцінки).

2.2 Основні методи прогнозування часових рядів

Часовий ряд - це послідовність значень будь-якої величини в різні моменти часу [14].

Споживання електричної енергії будь-яким об'єктом (цехом, промисловим підприємством, енергооб'єднанням і т.п.) є тимчасовим рядом, тому що являє собою ряд миттєвих значень споживаної потужності в різні моменти часу або обсягів споживаної електроенергії за послідовний ряд інтервалів часу.

До найбільш поширених формалізованим методам прогнозу часових рядів відносяться:

- прогнозна екстраполяція;
- кореляційний і регресійний аналіз;
- прогнозування на базі ARIMA моделей;
- адаптивні методи прогнозування;
- прогнозування з використанням штучних нейронних мереж;
- прогнозування з використанням гібридних систем.

Розглянемо зазначені методи більш докладно з точки зору їх застосованості до прогнозування електроспоживання промислових підприємств.

2.2.1 Прогнозна екстраполяція

В основі методів прогнозної екстраполяції лежить представлення тимчасового ряду в наступному вигляді функц :

$$y_i = f(t) + \varepsilon_t, \quad (2.1)$$

де $f(t)$ - деяка не випадкова функція часу (тренд); ε_t - випадкова величина з нульовою середньою і дисперсією $D(\varepsilon_t)$.

Інший, більш складний запис функції тимчасового ряду виглядає наступним чином:

$$y_i = f(t) + S + C + \varepsilon_t, \quad (2.2)$$

де $f(t)$ - детермінована не випадкова компонента (тренд); S - сезонна складова; C - циклічна складова; ε_t - стохастична компонента процесу.

Детермінована компонента (тренд) $f(t)$ характеризує суспільством динаміку розвитку процесу в цілому, а стохастична компонента ε_t - відображає випадкові коливання або шуми процесу, що прогнозується.

Таким чином, прогнозування часового ряду зводиться до визначення детермінованої компоненти, сезонної і циклічної складової, а також стохастичною складовою.

Прогнозна екстраполяція, як метод для прогнозування електроспоживання, має ряд переваг:

- простота реалізації прогнозної моделі;
- можливість здійснення прогнозування з мінімальним набором вхідних параметрів (фактичне значення електроспоживання).

В цілому прогнозна екстраполяція найбільш поширена для прогнозування електроспоживання об'єктів з досить стабільним, регулярним за зміною величини електроспоживання на довгострокову перспективу.

У той же час використання методу прогнозної екстраполяції для короткострокового прогнозування електроспоживання обмежене істотними недоліками даного методу, а саме:

- неможливість обліку безлічі параметрів, що впливають на електроспоживання промислового підприємства;
- жорстка фіксація моделі тренда, яка не дозволяє врахувати короткострокові тенденції електроспоживання, пов'язані зі зміною попиту, а, отже, і обсягів випуску продукції підприємства;

Метод експоненціального згладжування, вперше запропонований Р. Брауном [15], що є подальшим розвитком методу прогнозної екстраполяції, набув найбільшого поширення для середньострокового прогнозування, перш за все економічних показників.

Для даного методу суттєвими недоліками, що обмежують його застосування, є складність вибору параметра згладжування, початкових умов і ступеня прогнозу полінома, що обмежує його застосування для цілей прогнозування електроспоживання. Крім того, метод експоненціального згладжування не позбавлений вищенаведених недоліків, властивих всім методам прогнозу екстраполяції.

2.2.2 Прогнозування за допомогою кореляційного і регресійного аналізу

Одним з найбільш поширених методів отримання прогнозів електроспоживання є побудова на основі методу найменших квадратів моделі множинної регресії. Для лінійного випадку модель множинної регресії записується у вигляді:

$$y_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_{ij} + \varepsilon_j, \quad (2.3)$$

де α_i - коефіцієнти моделі (коефіцієнти регресії); y_j, x_{ij} - відповідно значення j -тої функції (залежною змінною) i -тої й незалежної змінної (званої також предиктором або фактором); ε_j - випадкова помилка; n - число незалежних змінних в моделі. У ряді випадків покладається, що α_i , вільний член, і $x_{0j} = 1$ [16].

Завдання побудови моделі множинної регресії зводиться до визначення регресійних коефіцієнтів на основі наявних даних про об'єкт прогнозу і впливу на нього факторів. Таким чином кореляційні і регресійні методи, можуть враховувати вплив широкого набору параметрів на вихідну прогнозу вичину електроспоживання. Цим пояснюється той факт, що більшість з існуючих прогнозних моделей електроспоживання побудовані на основі цих методів [16].

У той же час отримання прогнозів з допомогою багатфакторних регресійних моделей передбачає незмінність значень коефіцієнтів цих моделей в часі.

В процесі роботи промислового підприємства можливо виявлення нової інформації, що вимагає коректування значень регресійних коефіцієнтів його прогнозної моделі. Така зміна є вельми трудомісткою процедурою, що вимагає великої кількості вихідних даних і обсягів обчислень.

Цей факт поряд з вельми жорсткими вимогами, поставлених до вихідної інформації, призводить до того, що динамічна зміна характеристик прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства часто неможлива.

У ряді випадків вимоги прогнозної моделі до вихідної інформації для реальних спостережень виявляються невиконаними, тому одержувані оцінки виявляються неефективними, а прогноз - неточним.

Досить складною є проблема вибору незалежних факторів, що впливають (предикторів). Все це призводить до досить складної реалізації багатofакторних регресійних прогнозних моделей електроспоживання за умови дотримання заданої точності прогнозу.

2.2.3 Прогнозування на базі ARIMA моделей

Авторегресійним називається процес, при якому значення ряду знаходиться в лінійній залежності від попередніх значень. Якщо аналізований динамічний процес залежить від значень, віддалених від 1 до n тимчасових лагів назад, то це авторегресійний процес порядку n , тобто AR (n). Авторегресійний процес і процес рухомого середнього допускають, що аналізовані дані є стаціонарними. Інтеграція означає, якого порядку різниці повинні бути розраховані для того, щоб отримати стаціонарний часовий ряд. Знаходження різниць цим методом означає всього лише знаходження змін значення змінної в наступні періоди. Розглянемо докладніше сутність перерахованих моделей. Перш за все, слід зазначити, що ARIMA-моделі описують не саме часовий ряд, а залишки ε_t що виходять після відбору з тимчасового ряду його x_t — не випадковою складовою (тренду).

Моделі авторегресії порядку p або AR (p) -моделі визначають залишки φ_t наступним чином:

$$\varphi_t = \sum_{j=1}^p \beta_j \varepsilon_{t-j} + \delta_t \quad (2.4)$$

де β_j - деякий числовий коефіцієнт, що не перевищує по абсолютній одиниці, а δ_t - послідовність випадкових величин, що утворює білий шум.

Моделі змінного середнього порядку q або MA(q) – моделі визначають залишки наступним чином:

$$\varphi_t = \sum_{j=1}^{\infty} q_j \varphi_{t-j} + \delta_t, \quad (2.5)$$

де q_j - деякий числовий коефіцієнт, δ_t - послідовність випадкових величин, що утворює білий шум.

Проблеми при використанні методу Бокса-Дженкінса при прогнозуванні електроспоживання виникають насамперед через неоднорідність величини електроспоживання, як тимчасового ряду і складності практичної реалізації прогнозних моделей, заснованих на цьому методі. Крім того, методам Бокса-Дженкінса притаманні характерні недоліки кореляційних методів, що обмежують можливість його застосування для прогнозування електроспоживання підприємства, що працює в умовах ринкової економіки.

2.2.4 Адаптивні методи прогнозування

Характерною рисою адаптивних методів прогнозування є їх здатність враховувати еволюцію динамічних характеристик досліджуваних процесів, пристосовуватися до цієї еволюції, надаючи більшої ваги і, тим самим, велику інформаційну цінність спостереженнями в міру їх наближення до поточного моменту прогнозування. Ця властивість адаптивних методів є істотною перевагою з точки зору їх застосовності для цілей прогнозування електроспоживання промислового підприємства. Саме промислове підприємство, його електроспоживання (як сукупність процесів споживання

електричної енергії всіма електроприймачами підприємства), являють собою динамічний процес до мінливих властивостями.

Початкова побудова прогнозної моделі на підставі адаптивних методів прогнозування проводиться по декількох перших спостереженнях об'єкта прогнозування. За допомогою отриманої прогнозної моделі робиться прогноз, який порівнюється з фактичними спостереженнями. За результатами порівняння відбувається коригування моделі. Потім за допомогою скоригованої моделі робиться прогноз по наступним спостереженням і так до вичерпання всіх спостережень. Таким чином, модель постійно пристосовується до нової інформації і до кінця періоду спостережень відображає тенденції об'єкта прогнозування, що склалися на даний момент.

Основною перевагою адаптивних методів є можливість отримати точний прогноз на інтервал більший, ніж, наприклад, при використанні методу експоненціального згладжування. Однак це справедливо лише при дуже довгих тимчасових рядах, що зумовило можливість застосування адаптивних методів для довгострокового прогнозування. Крім того, на даний час не існує методики оцінки обсягу необхідної і достатньої вихідної інформації для адаптивних моделей прогнозування, що ускладнює процес їх реалізації та роботи.

2.2.5 Прогнозування з використанням штучних нейронних мереж

Штучні нейронні мережі (ШНМ) представляють собою технологію, яка походить з багатьох наук: нейрофізіології, математики, статистики, фізики, комп'ютерних наук і техніки. Вона знаходить своє застосування в таких різноманітних областях, як моделювання, аналіз часових рядів, розпізнавання об'єктів, обробка сигналів та керування завдяки одній важливій властивості - вміння навчатися на основі даних за участю вчителя або без його втручання.

В даний час відомо багато видів ШНМ, кожен з яких має свої характерні особливості та оптимально для вирішення тих чи інших завдань [18].

Всі ШНМ є сукупністю двох типів елементів - нейронів і зв'язків між ними. Нейрони представляють собою прості процесори (обробні елементи мережі), обчислювальні можливості яких обмежуються деяким правилом комбінування вхідних сигналів і активації, що дозволяє обчислювати вихідний сигнал за сукупністю вхідних сигналів. Вихідний сигнал елемента посилюється іншим елементам за суцільним зв'язком, з кожним з яких пов'язаний ваговий коефіцієнт, або вага. В залежності від його значення сигнал, що передається, або посилюється, або пригнічується.

На рисунку 2.1 представлено найпростішу нелінійну модель нейрона.

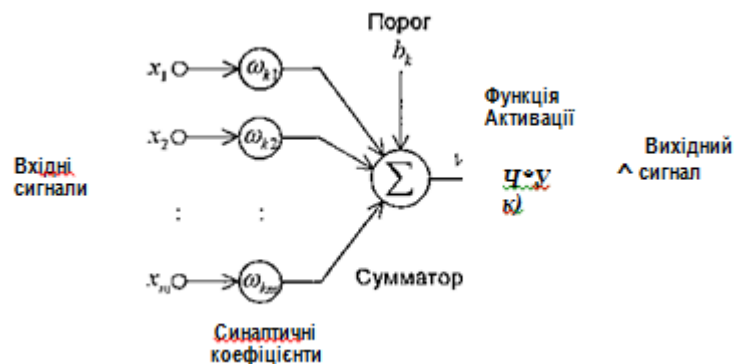


Рисунок 2.1- Найпростіша нелінійна модель нейрона [28]

У цій моделі можна виділити три основні елементи:

1. Набір синапсів (або зв'язків), кожен з яких характеризується своєю вагою (або силою). Зокрема сигнал x_i на вході синапса j , пов'язаного з нейроном k , множиться на вагу w_{kj} ;

2. Суматор складає вхідні сигнали, зважені відносно відповідних синапсів нейрона;

3. Функція активації обмежує амплітуду вихідного сигналу нейронів. Зазвичай нормалізований діапазон виходу нейрона лежить в інтервалі $[0,1]$ або $[-1,1]$.

У модель нейрона також включений пороговий елемент b_k . Ця величина відображає збільшення або зменшення вхідного сигналу, що подається на функцію активації.

Величина v_k , що отримується на виході суматора, називається потенціалом активації або індуковане локальне поле.

В математичному поданні модель нейрона описується наступною парою рівнянь:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j, \quad (2.6)$$

$$y_k = \varphi(u_k + b_k), \quad (2.7)$$

де x_1, x_2, \dots, x_m - вхідні сигнали; $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ - синаптичні ваги нейрона k ; u_k - лінійна комбінація вхідних впливів; b_k - поріг; $\varphi(u_k + b_k)$ - функція активації; y_k - вихідний сигнал нейрона [28].

Сума зважених вхідних сигналів і порогу називається локальним індукованим полем нейрона:

$$v_k = u_k + b_k. \quad (2.8)$$

Функція активації $\varphi(v)$ визначає величину вихідного сигналу нейрона в залежності від індукованого локального поля v . Зазвичай виділяють три основних типи функції активації [28]:

1. Функція одного кроку, або порогова функція, описується наступним виразом:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } v \geq 0; \\ 0, \text{ якщо } v < 0. \end{cases} \quad (2.9)$$

2. Переривчасто-лінійна функція записується наступним виразом:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } v \geq \frac{1}{2}; \\ |v|, \text{ якщо } \frac{1}{2} > v > -\frac{1}{2}; \\ 0, \text{ якщо } v \leq -\frac{1}{2}. \end{cases} \quad (2.10)$$

3. Сигмоїдальна функція є найпоширенішою функцією, яка використовується для створення штучних нейронних мереж. Це швидко

зростаючою функція, яка підтримує баланс між лінійною і нелінійною поведінкою. Прикладом сигмоїдальної функції може служити логістична функція, що задається виразом:

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha v}}, \quad (2.11)$$

де α - параметр нахилу сигмоїдальної функції. Змінюючи цей параметр, можна побудувати функції з різною крутизною, рис. 2.2

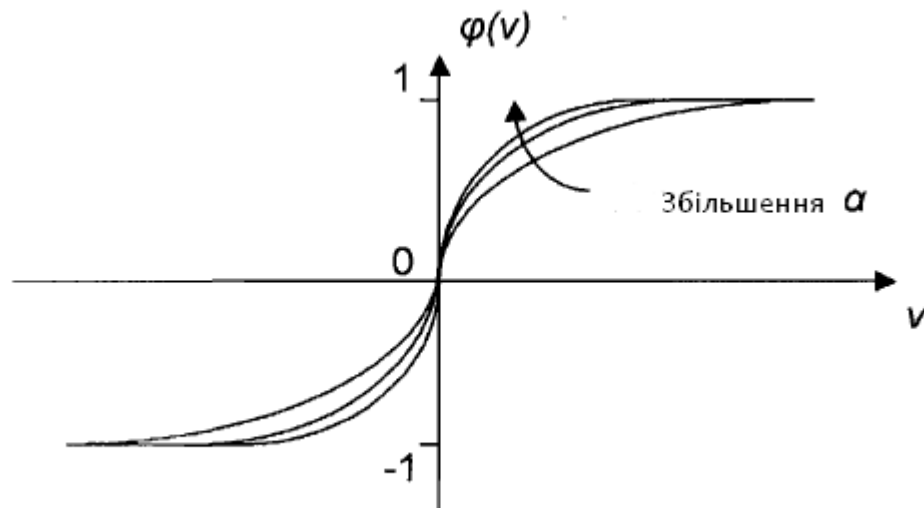


Рисунок 2.2 – Сигмоїдальна функція

Всі нейрони можна віднести до трьох різних типів: вхідні нейрони, які отримують сигнали із зовнішнього середовища; вихідні нейрони, які виводять в зовнішнє середовище результати обчислень; приховані нейрони, які призначені для трансформації сигналів.

На сьогоднішній день відомі і широко застосовуються для вирішення різних завдань кілька різних типів ШНМ: багат шаровий перцептрон, мережі на основі радіальних базисних функцій, карти самоорганізації, рекурентні нейронні мережі.

На рис. 2.3 представлена схема найбільш простого ШНМ - багат шарового перцептрона.

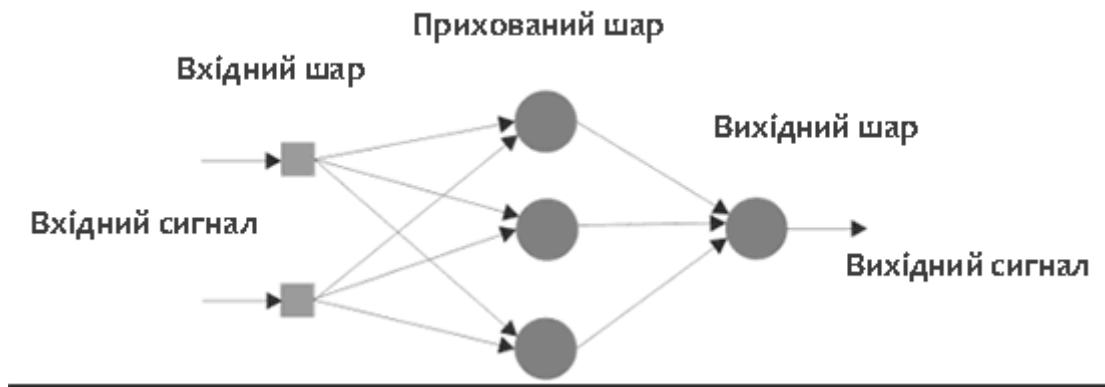


Рисунок 2.3 – Архітектура багатошарового персептрона.

Багатошаровий персептрон складається з безлічі сенсорних елементів (вхідних нейронів), що утворюють вхідний шар; одного або декількох прихованих шарів обчислювальних нейронів і одного вихідного шару нейронів. Багатошарові персептрони мають три відмітних ознаки:

- кожен нейрон має гладку (всюди диференційовану) нелінійну функцію активації (як правило, сигмоїдальну);
- мережа містить один або кілька шарів прихованих нейронів, які не є частиною входу або виходу мережі;
- мережа має високий ступінь зв'язності, яка реалізується проміжними синаптичними з'єднаннями.

Комбінація всіх цих властивостей поряд зі здатністю до навчання на власному досвіді забезпечує високу обчислювальну потужність багатошарового персептрона. Встановлено, що багатошаровий персептрон має достатню точність і швидкість для прогнозування електроспоживання промислових підприємств.

Найважливішою властивістю нейронних мереж є їх спроможність навчатися на основі даних навколишнього середовища, і в результаті навчання підвищувати точність обчислень. Підвищення точності відбувається з часом відповідно до визначених правилами. Навчання нейронної мережі відбувається за допомогою інтерактивного процесу коригування синаптичних ваг і порогів. В ідеальному випадку нейронна

мережа отримує знання про навколишнє середовище на кожній ітерації процесу навчання, який передбачає таку послідовність подій:

- в нейронну мережу надходять сигнали із зовнішнього середовища;
- в результаті цього змінюються вільні параметри нейронної мережі;
- після зміни внутрішньої структури нейронна мережа відповідає на збудження вже іншим чином.

Для різних видів архітектури ШНМ застосовуються ті чи інші алгоритми навчання (зворотного поширення помилок, модельного «повтору» і т. п.). Між собою алгоритми навчання відрізняються способом налаштування синаптичних ваг нейронів.

Можна виділити й перелічити ряд переваг нейронної мережі при використанні їх для побудови прогнозних моделей електроспоживання промислових підприємств [11]:

1. Нелінійність - дозволяє встановлювати складні залежності електроспоживання від вхідних даних, що забезпечує меншу помилку прогнозу в порівнянні з іншими методами.

2. Самонавчання - мережа навчається на наданій їй вибірці даних, самостійно визначаючи значимість кожного заданого параметра, вплив його на кінцеву величину електроспоживання.

3. Хороша узагальнююча здатність.

4. Адаптивність - мережа може бути додатково навчена при надходженні нових даних, що забезпечує гнучке підстроювання під змінені умови роботи підприємства.

5. Висока перешкодозахищеність - відсутність частини даних погіршує прогноз набагато меншою мірою, ніж для інших алгоритмів прогнозування.

Однак при використанні ШНМ в якості основи для прогнозної моделі виникає наступний перелік складностей:

1. Невизначеність у виборі числа прихованих шарів і кількості нейронів в шарі.

2. Складність вибору відповідної швидкості навчання.
3. Можливе «перенавчання» нейронної мережі.

2.3 Оцінка адекватності та похибки прогнозу

При побудові прогнозної моделі електроспоживання об'єкту, зокрема, промислового підприємства, важливим є питання оцінки точності прогнозу і якості отриманої прогнозної моделі. Точність прогнозування характеризується ступенем відповідності величини електроспоживання, отриманого в результаті прогнозу, і дійсної (фактичної) величини електроспоживання.

Для оцінки точності прогнозу застосовуються такі величини, як: середня абсолютна помилка прогнозу, середня абсолютна помилка прогнозу у відсотках, середньоквадратична помилка прогнозу [19].

Нехай X_{np} - прогнозне значення величини, X_{ϕ} - фактичне значення величини, а $\Delta X = X_{\phi} - X_{np}$ - помилка прогнозу. Тоді для N випадків прогнозу, показниками якості прогнозної моделі та точності прогнозу будуть параметри, перераховані нижче [19].

1. Середня абсолютна похибка прогнозу (Mean absolute error, MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |\Delta X_i|}{N}. \quad (2.12)$$

2. Середня абсолютна похибка у відсотках (Mean absolute percentage error, MAPE):

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{\Delta X_i}{X_{\phi i}} \right|}{N} \cdot 100. \quad (2.13)$$

3. Середньоквадратична похибка (Mean squared error, MSE):

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta X_i^2}{N}. \quad (2.14)$$

4. Корінь середньоквадратичної похибки (Root mean squared error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Delta X_i^2}{N}}. \quad (2.15)$$

Для оцінки точності прогнозу нашої прогнозної моделі будемо використовувати середню абсолютну помилку в процентах (MAPE) і корінь середньоквадратичної помилки (RMSE), як найбільш зручні для оцінки якості прогнозних моделей [19]. Розмірність MAPE - відсотки, розмірність RMSE збігається з розмірністю прогнозованої величини електроспоживання у кВт-год.

2.4 Вибір методу для короткострокового прогнозування електроспоживання промислового підприємства

Для того щоб вибрати оптимальний метод для подальшої побудови на його основі прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства, необхідно, перш за все, чітко сформулювати ряд вихідних вимог: мета прогнозу, інтервал прогнозування, точність прогнозу, адаптивність прогнозної моделі, її швидкодія і т.д. Вихідні вимоги будуть визначатися діючими правилами балансуєчого ринку електроенергії і потужності.

Мету короткострокового прогнозу підприємства-учасника ринку можна сформулювати так: «Визначити прогнозні погодинні значення споживання на добу X в добу $X-1$ ». Іншими словами, потрібно визначити прогнозні значення погодинного споживання електроенергії на кожен годину наступної доби.

Питання про необхідну і достатню точності прогнозу повинно визначатися виходячи з таких характеристик самого підприємства-учасника ринку, як частка витрат на електроенергію в собівартості кінцевого продукту або послуги підприємства, можливі фінансові втрати при відхиленнях фактичних значень споживання електроенергії від заявлених (прогнозованих)

значень. У той же час підвищення точності прогнозу призводить до ускладнення прогнозної моделі, а значить і до подорожчання її програмної і апаратної реалізації. Отже, питання про прийнятну точність підприємство-учасник ринку має вирішувати на підставі порівняння додаткових витрат на електроенергію (обумовлених відхиленнями заявлених значень споживання від фактичних його значень) і витрат на програмно-апаратний комплекс прогнозування електроспоживання.

Споживання електричної енергії підприємством залежить від безлічі часто швидко мінливих чинників. В їх число може входити (в залежності від характеристики технологічного процесу підприємства):

- параметри навколишнього середовища (температура повітря, наявність опадів, хмарність, швидкість та напрям вітру);
- обсяг випуску продукції, пуск / зупинка технологічних ланцюжків;
- цінова ситуація на ринку електроенергії (в разі змоги регулювання графіка навантаження);
- проведення планових і позапланових ремонтів;
- аварійні ситуації, збої в роботі технологічних ланцюгів.

Оптимальна прогнозна модель повинна враховувати як можна більше факторів, що впливають на споживання. Крім того, фактори можуть бути взаємопов'язані один з одним. Тому визначити внесок кожного фактора у зміну величини споживання електроенергії у складній, постійно мінливих системі, якою є промислове підприємство, досить важко.

Методи прогнозу електроспоживання, що відносяться до статистичних методів, при прогнозуванні в режимі, близькому до реального часу, вимагають постійної перебудови параметрів, а найчастіше, і типів моделі прогнозування [20]. Це обумовлює складність їх використання для вирішення завдань автоматизованого прогнозування. Крім того, для статистичних методів прогнозу необхідні великі масиви вихідних даних, яких може не бути у, наприклад, новостворюваних підприємств. Статистичні методи, крім

цього, пов'язані з великою кількістю обчислень. В умовах ринкової економіки, коли об'єми виробництва продукції підприємства, а значить і споживання ним електроенергії, багато в чому визначаються кон'юктурою ринку, статистичні методи практично не дозволяють враховувати коротко- і середньострокові тенденції в споживанні електричної енергії підприємством.

Методи, засновані на інтуїтивних оцінках експертів, не піддаються автоматизації в процесі роботи підприємстві на ринку електроенергії. Істотним недоліком таких методів є і те, що точність прогнозу дуже сильно залежить від кваліфікації експерта.

Моделі прогнозування, засновані на ШНМ, мають здатність навчання, що дозволяє адаптувати нейронної мережі свої синаптичні ваги до змін навколишнього середовища. Більш того, для роботи в нестационарному середовищі (а саме таким середовищем є процес споживання електроенергії підприємством) можуть бути створені нейронні мережі, що змінюють синаптичні ваги в режимі близькому до реального часу.

Ці властивості нейронних мереж, а так само їх висока надійність, разом з нелінійністю (а значить можливістю точного опису складних функцій), дозволяють зробити висновок про те, що найкращим за сукупністю характеристик методом для автоматизованного короткострокового прогнозування електроспоживання буде методика , заснована на ШНМ.

Використання ШНМ дозволить враховувати короткострокові тенденції в споживанні електроенергії підприємством, дозволить автоматизувати процес здійснення прогнозу. Крім того, прогнозна модель, заснована на ШНМ, менш за інші моделі залежить від наявності повного обсягу вхідних даних.

У той же час для усунення недоліків, пов'язаних зі складністю налаштувань внутрішньої конфігурації нейронної мережі доцільно застосувати гібридну систему, в якій налаштування буде проводитися за допомогою методу генетичного і евристичного відбору.

Висновки

Проаналізувавши мету і завдання короткострокового прогнозу електроспоживання на ринку електроенергії і різні методи прогнозування часових рядів, можна зробити наступні висновки:

- розглянуто методи і моделі прогнозування електричного навантаження як функції управління промисловими підприємствами. Показано, що для забезпечення ефективного планування нормальних режимів ЕЕС необхідно здійснювати короткострокове прогнозування електричного навантаження.

- зроблено огляд методів прогнозування електричного навантаження. Відзначено, що класифікація методів прогнозування являє собою процес зі значною часткою евристики і орієнтована на вибір або синтез умовно-оптимального методу (алгоритму) прогнозування об'єкта.

- проведено аналіз методів і моделей прогнозування електричного навантаження, показані переваги і недоліки існуючих традиційних

- для визначення побудови ШНМ – моделі й надання їй функції управління можливо використати евристичний алгоритм.

3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Основні принципи побудови прогнозової моделі електроспоживання промислового підприємства на основі штучної нейронної мережі

Основою для побудови будь-яких прогнозів, у тому числі й прогнозування електроспоживання, є математична прогнозна модель.

Процес побудови прогнозової моделі, згідно з [21], включає в себе 5 наступних етапів:

1. Вибір методу прогнозування, що визначає сутність прогнозової моделі.
2. Вибір вхідних та вихідних параметрів моделі.
3. Формування навчального та перевірного набору даних.
4. Побудова внутрішньої структури прогнозової моделі, що визначає залежність вихідних від вхідних параметрів.
5. Верифікація прогнозової моделі, визначення отриманих прогнозів.

В якості методу прогнозування при побудові прогнозової моделі електроспоживання промислового підприємства буде використовуватися прогнозування на основі штучних нейронних мереж. Це дозволить підвищити ступінь адаптивності отриманої моделі, досягти хорошої загальної здатності та забезпечити можливість встановлення складних нелінійних залежностей вихідних параметрів від вхідних.

Відповідно до існуючого закону кожне підприємство-учасник ринку має мати систему АСКОЕ, що забезпечує облік електроенергії на межі розділу між електропостачальною організацією та споживачем. Таким чином, фактичні значення електроспоживання підприємства для навчального комплексу можна формувати на підставі даних цієї системи. Система АСКОЕ охоплює всі діючі лінії підприємства, незалежно від класу напруги та потужності, що по них передається.

Сумарне значення електроспоживання підприємства буде визначатися алгебраїчною сумою обміну електроенергії підприємства з сусідніми суб'єктами ринку, що вимірюються показниками споживання електричної енергії системи АСКОЕ.

Для того, щоб вибрати вхідні параметри прогнозної моделі електроспоживання підприємства, необхідно розглянути структуру його системи електропостачання.

3.1.1 Аналіз параметрів, що впливають на електроспоживання підприємства, на різних рівнях його системи електропостачання.

Система електропостачання промислового підприємства являє собою сукупність електроустановок, призначених для забезпечення споживачів підприємства електричним струмом, що об'єднуються загальним режимом роботи.

Режим роботи системи електропостачання характеризується набором параметрів:

- активна, реактивна потужність та електроспоживання електроприймачів;
- напругою у вузлах;
- струмами в лініях;
- втратами в лініях;
- показниками якості електроенергії.

При цьому основними, базовими параметрами режиму роботи системи електропостачання є споживана потужність та електроенергія. В залежності від споживаної потужності у вузлах системи будуть змінюватися значення напруги, а в лініях - струми. Величина електроспоживання підприємства складається з величини електроспоживання всіх працюючих в даний момент часу електроприймачів та втрат електроенергії ΔW в мережах:

$$W = \sum_{i=1}^N W_i + \Delta W. \quad (3.1)$$

Втрати електроенергії, в свою чергу, в основних елементах систем електропостачання: ліній і трансформаторів, будуть залежати від електротехнічних параметрів самих цих елементів (їх активного і реактивного опору) і енергії, що протікає по них:

$$\Delta W = f(W_\alpha, W_p, R, X). \quad (3.2)$$

У процесі роботи системи електропостачання, значення опорів її елементів можна вважати практично постійними. Таким чином, зміна поточної величини втрати потужності в мережі підприємницької діяльності буде відбуватися за рахунок зміни сумарної потужності електроприймачів при їх включенні, вимкненні або зміні режиму роботи.

Електроспоживання w_i , - кожен електроприлад, або групи електроприймачів, у свою чергу, можна представити:

$$w = f(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (3.3)$$

де X_1, X_2, \dots, X_n - параметри, що впливають на електроспоживання.

Кількість електроприймачів (перш за все асинхронних та синхронних двигунів) на підприємстві може досягати сотень і тисяч. Для кожного електроприймача параметри, що впливають на його електричне споживання, можуть бути різними. Побудова прогнозної моделі електроспоживання підприємства, що враховує параметри, що впливають на електроспоживання кожного електроприймача, не являється можливою, внаслідок великої кількості взаємозалежних вхідних параметрів у такій моделі. Найбільш оптимальним представляється об'єднання електроприймачів у групи по будь-яким ознакам (технологічним, електричним), з подальшим виявленням параметрів, що впливають на електропровідність кожної групи. У свою чергу, сукупність впливових параметрів кожної групи електроприймачів буде виявлятися набором вхідних параметрів для прогнозної моделі електроспоживання підприємства в цілому.

В загальному випадку всі струмоприймачі за їх призначенням можна розділити на дві групи:

1. Основні - учасники в основному виробничому процесі підприємства. До таких електроприймачам відносяться електротехнічні установки (електротермічні та нагрівальні апарати, електролітичні ванни), привід компресорів, насосів та центрофуг, привід конвеєрів та інших транспортних машин, металообробні, деревообробні та інші станки тощо;

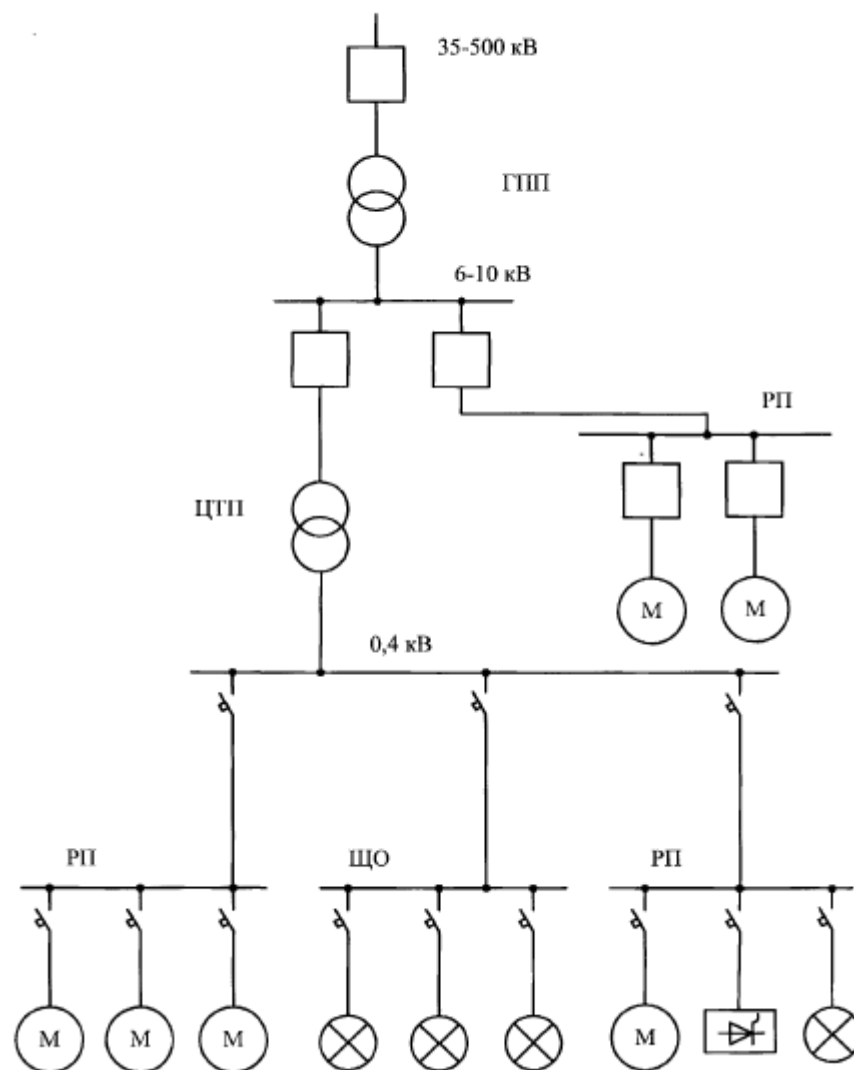


Рисунок 3.1 – Типова схема електропостачання промислового підприємства.

2. Допоміжні – ті, що не беруть участь в основному виробничому процесі підприємства. До таких електроприймачів відносяться

електроприймачі, що беруть участь у створенні та підтримці мікроклімату підприємства (пристрої вентиляції та кондиціонування повітря, повітрянагрівачі), освітлювальні установки та електроприймачі, що працюють на санітарно-технічні потреби підприємства (насоси холодного та гарячого водопостачання, каналізація відходів і т. п.).

В свою чергу електроприймачі основної групи можна групувати за приналежністю до тієї чи іншої ділянки, цеху, виробничої лінії.

Для виявлення параметрів, що впливають на величину електроспоживання електроприймачів кожної з цих груп, розглянемо типову схему електропостачання промислового підприємства, приведену на рисунку 3.1.

Зазвичай виділяється 6 рівнів системи електропостачання промислового підприємства [23], приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1- Рівні системи електропостачання підприємства

Номер рівня	Рівень системи електропостачання
1	Окремі електроприймачі, станки і агрегати з багатьма приводами, електротехнологічні установки, освітлювальні пристрої і т.п.
2	Розподільчі пункти, шкафи, щити, шинопроводи, магістральні лінії, що живляться номінальною напругою до 1 кВ.
3	Розподільний пристрій низької напруги підстанції 10/0,4 кВ (цехової ТП)
4	Розподільчий пункт 6-10 кВ
5	Шини низької напруги ТП
6	Межа розподілу балансової належності

Для кожного рівня системи електропостачання підприємства можна виділити ряд параметрів, що впливають на величину електроспоживання основних та допоміжних електроприймачів= на даному рівні. При відборі впливових параметрів основним критерієм відбору є можливість отримання обґрунтованих величин цих параметрів на весь прогнозний інтервал. У разі неможливості отримання достовірних значень параметра, що дозволяє і впливає на електроспоживання якогось з рівнів системи електропостачання, такий параметр не може бути використаний як вхідний для прогнозної моделі.

Перший рівень системи електропостачання. Електроспоживання кожного окремого електроприймача на цьому рівні (рис. 3.2) буде визначатися типом і призначенням цього електроприймача.

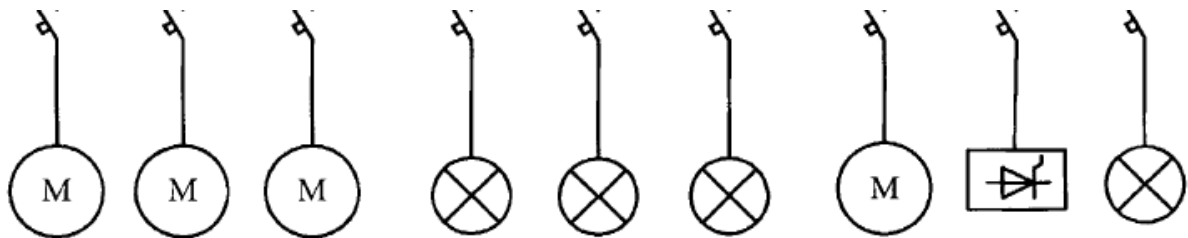


Рисунок 3.2 – Перший рівень системи електропостачання промислового підприємства

Величина споживаної електроенергії W для кожного з електроприймачів основної групи буде визначатися обсягом тієї роботи, яку даний електроприймач виконав за зазначений період. Цю роботу можна виразити через об'єм продукції V виробленої даним верстатом або апаратом:

$$W = f(V). \quad (3.4)$$

При цьому у кожного верстата або апарату буде свій вигляд і одиниця вимірювання продукції: для зварювальних апаратів – довжина зварювального шва, для насосів - кількість перекачаної рідини або газу і т. д. Кількість різномірних електроприймачів на підприємстві може досягати десятків і сотень. Визначення фактичного та планового обсягу продукції (корисної

роботи), виробленої кожним окремо споживачем електроенергії, можливо тільки для одиничних великих споживачів електроенергії. Для інших електроприймачів, планування і облік виконаної роботи відсутні.

Режим роботи допоміжних електроприймачів буде визначатися комунально-побутовими та санітарно-технічними потребами всього підприємства в цілому. Визначення фактичного та планового значення параметрів, що впливають на режим роботи кожного з таких електроприймачів окремо, а не як частини єдиної системи вентиляції або водопостачання, з подальшим використанням цих параметрів в якості вхідних, є складною задачею.

Можна зробити висновок, що параметри, що впливають на електроспоживання на першому рівні системи електропостачання, не можуть бути використані при побудові прогнозу моделі електроспоживання підприємства в цілому.

Другий рівень системи електропостачання. На величину електроспоживання на другому рівні системи електропостачання підприємства (рисунок 3.3) буде впливати сукупність параметрів, що впливають на електроспоживання на першому рівні.

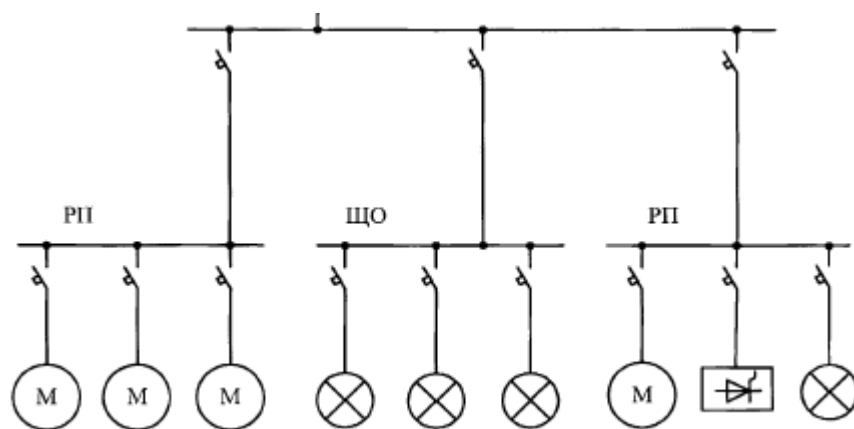


Рисунок 3.3 – Другий рівень системи електропостачання

У той же час на другому рівні системи електропостачання можливе виділення великих груп електроспоживачів, які об'єднані спільністю

технологічного процесу, що живляться від одного РП, по одній магістралі і т. д. Для таких груп споживачів можливо планування і фактичний облік факторів, що впливають. Більшою мірою це відноситься до електроприймачів допоміжної групи. Так, наприклад, так електроспоживання системи освітлення ділянки цеху, що живиться від одного щита освітлення, впливатиме на план роботи цеху (кількість змін, тип дня - робочий або вихідний і т. п.). У той же час, для електроприймачів основної групи, на даному рівні планування і облік здійснюваної роботи (продукції, що випускається, виконання стадій технологічного процесу) буде ускладнено, зважаючи на велику кількість таких електроприймачів, і різновидності здійснюваної ними роботи.

Третій рівень системи електропостачання. На рисунку 3.4 представлена схема третього рівня системи електропостачання.

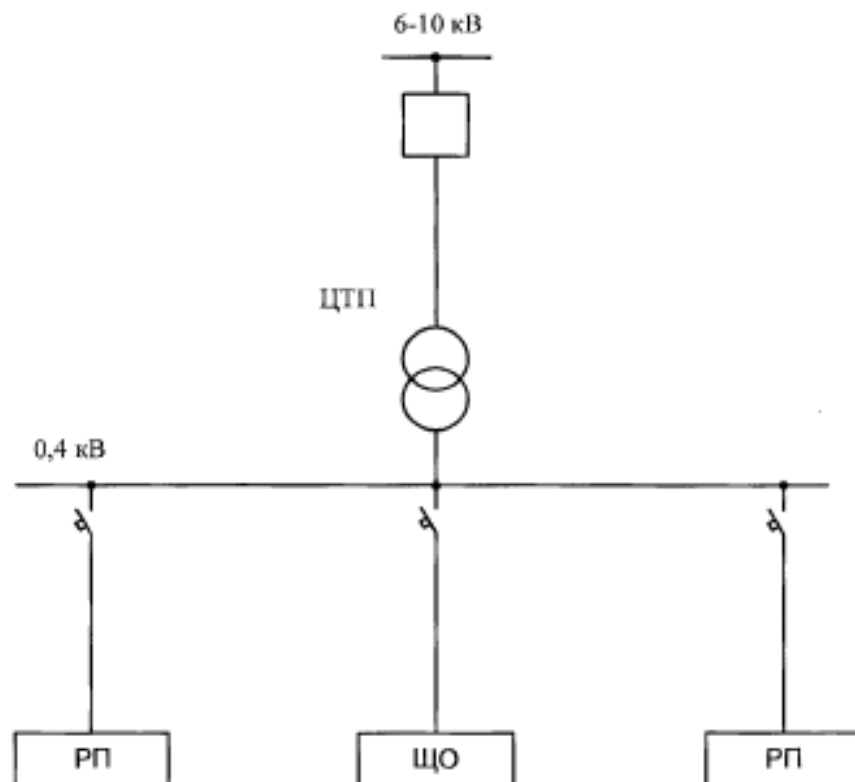


Рисунок 3.4 – Третій рівень системи електропостачання

На третьому рівні систем електропостачання електроспоживання основних і допоміжних електроприймачів буде визначатися, перш за все, режимом роботи цеху. Цех є основним підрозділом промислового підприємства. Для кожного цеху на підприємстві, як правило, є графік роботи, графік ремонтів обладнання, планування і фактичний облік продукції і деталей, що випускаються цехом. Таким чином, отримання планових і фактичних значень параметрів, що впливають на основні та допоміжні електроприймачі цеху, можуть бути включені в прогнозну модель електроспоживання промислового підприємства в якості вхідних.

Четвертий рівень системи електропостачання. На рисунку 3.5 ипредставлена схема четвертого рівня системи електропостачання.

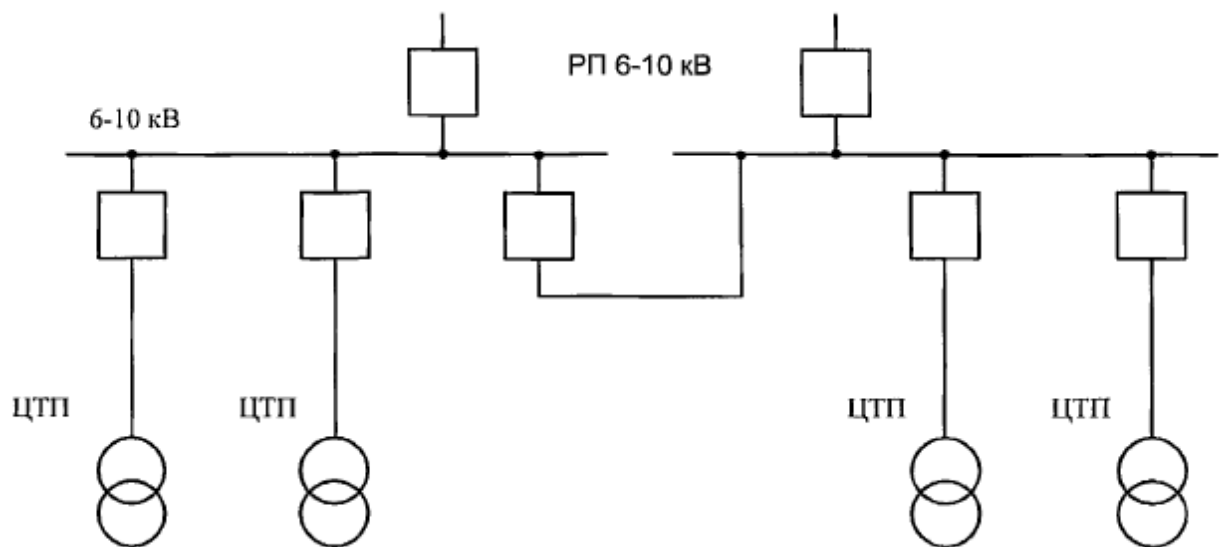


Рисунок 3.5 – Четвертий рівень системи електропостачання

На четвертому рівні системи електропостачання живляться виробничі лінії. На багатомономенклатурних промислових підприємствах електропостачання виробничих ліній виконується, як правило, від РП 6-10 кВ, а у випадках наявності великих (або віддалених) виробничих ліній від ПС (РП) напругою 35-110 кВ.

Виробнича лінія являє собою сукупність цехів, що випускають певний вид (або кілька видів) продукції, пов'язаних спільністю технологічного процесу.

Параметри, що характеризують виробничий процес, такі як кількість сировини, що надійшла V_c , кількість вироблених деталей $V_{дi}$ і кількість виробленої продукції $V_{вi}$ надаватимуть безпосередньо вплив на електроспоживання на четвертому рівні системи електропостачання підприємства. Режим роботи електроприймачів виробничих ліній буде визначатися технологією виробництва (яка змінюється лише при модернізації виробництва). Електроспоживання основної групи електроприймачів для виробничої лінії буде визначатися як:

$$W = f(V_c, V_{дi}, V_{вi}). \quad (3.5)$$

У свою чергу, кінцевий обсяг випуску продукції буде залежати від обсягу сировини, що надійшла і кількості вироблених напівфабрикатів:

$$V_{вi} = f(V_c, V_{дi}). \quad (3.6)$$

У підсумку, як параметри, що характеризують фактичний і планований режим роботи виробничої лінії, більш доцільно буде прийняти обсяги кінцевої продукції, що випускається виробничою лінією. Ці обсяги досить точно враховуються і плануються в процесі виробництва і можуть бути використані як вхідні в прогнозній моделі електроспоживання підприємства.

До параметрів, що впливають на електроспоживання на даному рівні системи електропостачання, відносяться також параметри, що вказують на склад включеного технологічного обладнання.

Так деякі складні технологічні установки (в хімічні цехи машинобудування, чорної і кольорової металургії), вимагають суттєвих витрат електроенергії для підтримки параметрів технологічного процесу (температури, вологості, тиску, щільності середовища і т. п.). При цьому продукція або деталі такими установками можуть не вироблятися, або вироблятися в невеликих кількостях. При наявності графіка роботи таких

установок, інформація про їхню роботу може бути використана в якості вхідних параметрів прогнозної моделі підприємства.

П'ятий рівень системи електропостачання. На рисунку 3.6 представлена схема п'ятого рівня системи електропостачання.

На електроспоживання на п'ятому рівні системи електропостачання, крім параметрів, виділених на більш низьких рівнях системи електропостачання можна виділити наступні параметри:

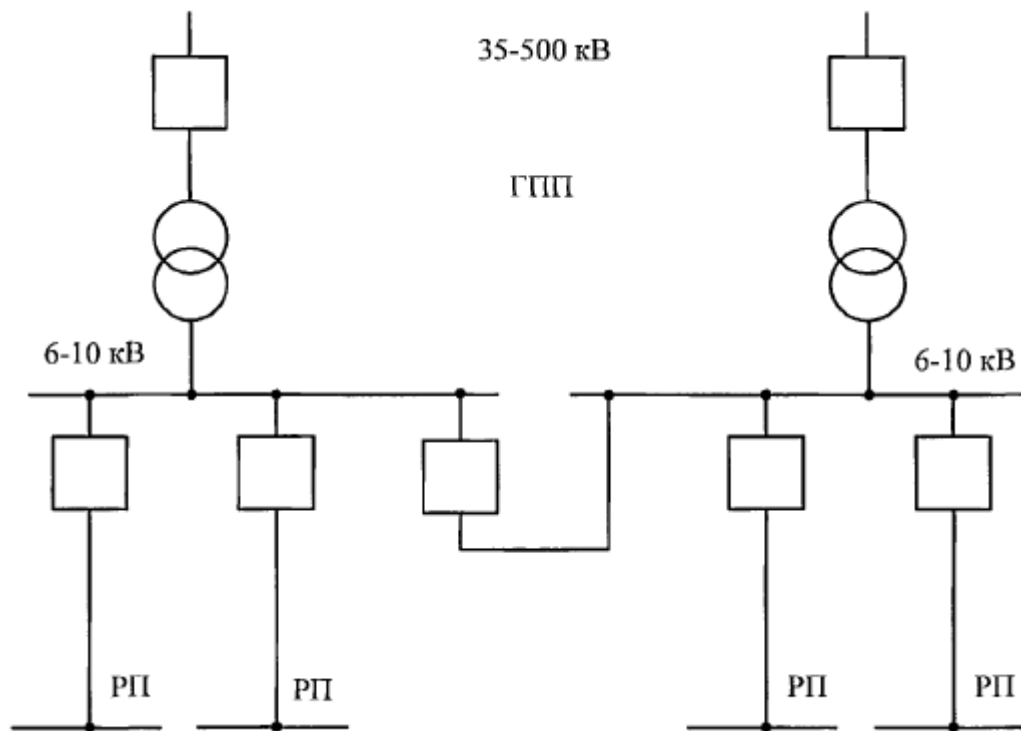


Рисунок 3.6 – П'ятий рівень електропостачання

1. Кліматичні - температура і вологість повітря, швидкість вітру, атмосферний тиск, хмарність.

2. Календарні - тип дня тижня (робочий, вихідний), година доби, тривалість світлового дня.

Всі ці параметри будуть впливати на електроспоживання як основних, так і допоміжних електроприймачів підприємства. Ступінь впливу кожного параметра на електроспоживання буде виявлена при навчанні ШНМ шляхом обробки статистичних даних по величинах цих параметрів і електроспоживання.

Шостий рівень системи електропостачання. Шостий рівень системи електропостачання - межа розділу енергопостачальної організації та підприємства (межа балансової належності).

Висновок щодо аналізу параметрів, що впливають на електроспоживання промислового підприємства.

1. Неможливо враховувати всі показники та фактори до прогнозної моделі електроспоживання всього підприємства, зважаючи на складність визначення фактичних і прогнозних значень даних параметрів.

2. Параметри, що впливають на електроспоживання електроприймачів основної групи на третьому, четвертому і п'ятому рівні системи електропостачання, доцільно використовувати в якості вхідних в прогнозної моделі електроспоживання всього підприємства.

3. При визначенні впливу параметрів електроприймачів основної групи доцільно додатково розбивати на групи за приналежністю до тієї чи іншої виробничої лінії, що виробляє той чи інший вид продукції.

4. На електроспоживання допоміжних електроприймачів на кожному рівні системи електропостачання впливають одні й ті ж календарні і кліматичні параметри.

3.3 Методика навчання нейронної мережі та побудова прогнозної моделі

Прогнозування електричного навантаження забезпечує основну вихідну інформацію для прийняття рішень при управлінні електроенергетичними системами в процесі планування їх нормальних електричних режимів. На основі прогнозування навантажень розраховуються вихідні та оптимальні режими електроенергетичних систем, оцінюються їх надійність, економічність, якість електроенергії, що постачається і т. п. Завдання прогнозування спирається на складні математичні або емпіричні (інтуїтивні) методи пошуку закономірностей в її часовому інтервалі та часових рядах. Експерти підприємства зі складання прогнозу такі залежності виявляють

поступово: за місяці і роки роботи. Однак значні зміни виробничого процесу підприємства можуть за порівняно короткий період буквально перекреслити розроблені експертом моделі і відправити «в архів» більшість методів прогнозу, що застосовувалися раніше.

Точність короткострокового прогнозу навантажень суттєво впливає на економічність завантаження генеруючого обладнання електростанцій і, як наслідок, на вартість виробництва електроенергії. Недооцінка навантаження може привести до зниження необхідних резервів, що в свою чергу веде до зростання вартості виробництва електроенергії через необхідності використання більш дорогого пікового обладнання або закупки потужності якої бракує від сусідніх виробників електроенергії за вищою ціною. Завищений прогноз навантаження може привести до необгрунтованого збільшення обертового резерву, і, отже, вартості виробництва електроенергії. Тому дуже важливо мати кількісний складений оперативний прогноз графіка навантаження [24].

При складанні короткострокового прогнозу електричних навантажень енергосистеми можуть враховуватися: графік електричних навантажень поточного дня і відповідного дня минулого року; прогноз погоди (середня температура зовнішнього повітря на наступну добу; тривалість світлового дня, (наприклад час заходу і сходу сонця); можливість атмосферних опадів або хмарності); пропозиції енергосистем для забезпечення подавання електроенергії споживачам; режим роботи найбільш великих споживачів. При зниженні температури зовнішнього повітря нижче нуля градусів на один градус навантаження енергосистеми збільшується на 0,5% (тобто на $0,005P_{max}$), де P_{max} - максимальна споживана потужність. При короткостроковому прогнозуванні на основі зазначених вище факторів визначається абсолютний максимум споживаної електричної потужності. До характерних днів тижня (типам дня) відносяться: робо-чий день (понеділок, вівторок, серeda, четвер п'ятниця); вихідний (субота, неділя і святкові дні).

Прогноз електроспоживання на наступну добу повинен знаходитися в межах допустимої сумарної похибки приладів обліку ($\pm 3\%$) і точності прогнозування фахівця ($\pm 3\%$). В даний час існує багато методів, що дозволяють робити прогноз навантаження в електроенергетичній системі [12]. Якість прогнозу багато в чому залежить від обраної математичної моделі [13]. Основний недолік існуючих методів прогнозу навантаження полягає в необхідності побудови моделі навантаження, тобто залежно від навантаження факторів, що впливають, і постійного їх уточнення. Інший недолік складається в неточному встановленні співвідношення між вхідними та вихідними змінними, так як залежності між ними нелінійні. Вхідні змінні представляють собою назву дня тижня, ретроспективні дані про навантаження, інформацію про температуру навколишнього повітря, вологості та ін. Вихідні змінні - це майбутня навантаження на кожну годину доби. Штучна нейронна мережа (ШНМ) здатна встановити як завгодно складні співвідношення між різними оперативно вводяться, безперервно змінюються вихідними даними, що дозволяє їй досить точно передбачити майбутнє навантаження.

Нейронні мережі не програмуються в звичному сенсі цього слова, вони навчаються. Можливість навчання - одне з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Побудова нейронної мережі вирішується в два етапи: вибір типу (архітектури) нейронної мережі і підбір вагових коефіцієнтів (навчання) нейронної мережі. На першому етапі вибираються:

- типи нейронів, які необхідно використовувати (число входів, передаточні функції);
- способи з'єднання нейронів між собою;
- вхідні і вихідні сигнали нейронної мережі.

Існує кілька десятків різних нейромережових архітектур, причому ефективність багатьох з них доведена математично. Найбільш популярні і

вивчені архітектури - це багатошаровий перцептрон, нейронна мережа із загальною регресією. Для вирішення завдання за допомогою ШНМ необхідно вибрати конфігурацію нейронної мережі і сформуванати оточення, в якому буде працювати дана нейронна мережа. Під формуванням оточення розуміється реалізація наступних етапів:

- створення навчального алгоритму;
- навчання нейронної мережі;
- тестування ШНМ.

Як навчальної вибірки використовується база архівних даних по днях електричного навантаження енергосистеми. Розроблена конфігурація ШНМ для добового прогнозування навантаження приведена на рисунку 3.7.

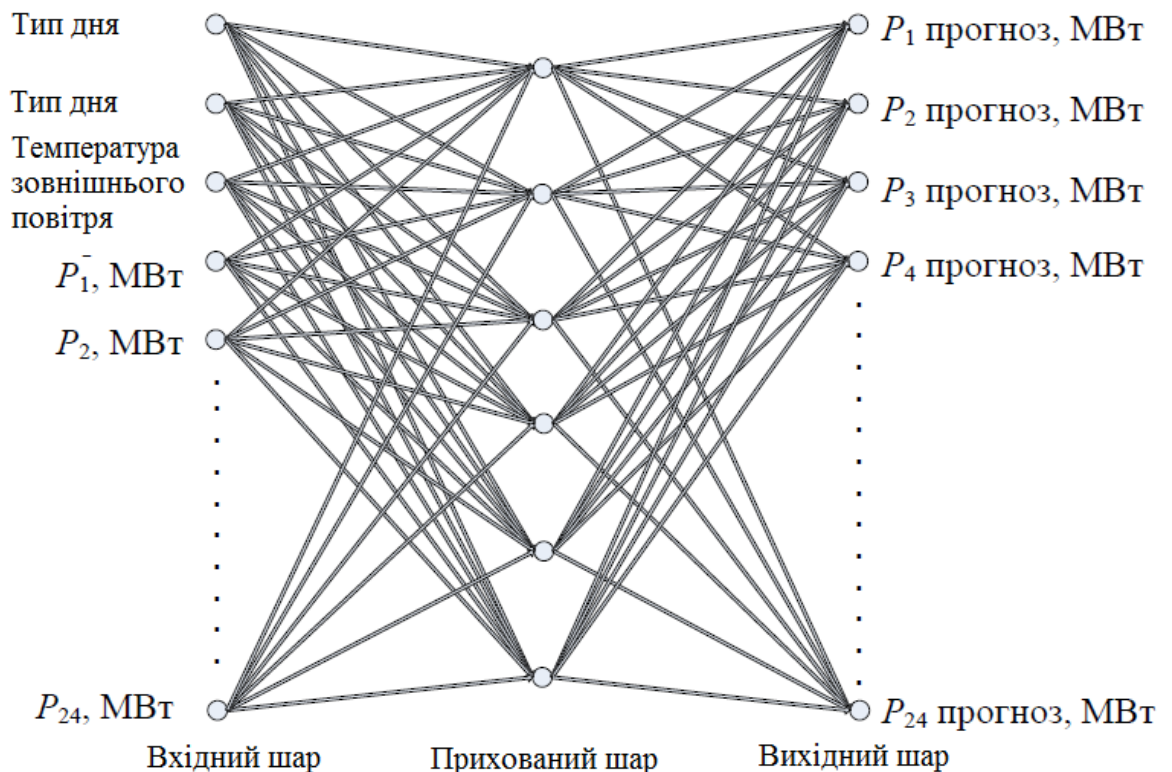


Рисунок 3.7 – Структура ШНМ погодинного прогнозування [14]

Вона являє собою тришаровий перцептрон. У вхідному шарі мережі знаходяться 27 нейронів (кількість вхідних змінних), в прихованому шарі - 6 (визначені експериментальним шляхом при налаштуванні мережі), в ви-

хідних - 24 (відповідає кількості годин у добі). Вхідними змінними є погодинні значення навантаження P_i для попередньої доби, прогнозованим - (24 значення), а також значення типу дня («Завтра» і температура «Завтра»). На другому етапі слід "навчити" обрану нейронну мережу, тобто підібрати такі значення її вагових коефіцієнтів, щоб вона працювала належним чином. У використовуваних на практиці нейронних мережах кількість вагових коефіцієнтів може становити кілька десятків тисяч, тому навчання - дійсно складний процес. Для багатьох архітектур розроблені спеціальні алгоритми навчання, які дозволяють налаштувати вагові коефіцієнти нейронної мережі належним чином. Найбільш популярний з цих алгоритмів - метод зворотнього поширення помилки (Error Back Propagation), що використовується, наприклад, для навчання перцептрона [25]. Є деяка база даних (архів), що містить приклади. Пред'являючи їх на вхід нейронної мережі, отримуємо від неї деяку відповідь, не обов'язково вірну. Обчислюючи різницю між бажаним і реальним відповідями мережі, отримуємо вектор помилки.

Алгоритм зворотнього поширення помилки - це набір формул, який дозволяє по вектору помилки обчислити необхідні поправки для вагових коефіцієнтів нейронної мережі. Один і той же приклад можна застосувати для нейронної мережі багато разів. Після багаторазового пред'явлення прикладів ваги нейронної мережі стабілізуються, причому нейронна мережа дає правильні відповіді на всі (або майже всі) приклади з бази даних. У такому випадку говорять, що «нейронна мережа вивчила всі приклади», «нейронна мережа навчена» або «нейронна мережа натренована». В програмних реалізаціях можна бачити, що в процесі навчання величина помилки (сума квадратів помилок по усіх виходах) поступово зменшує шум при роботі. Коли величина помилки досягає нуля або прийнятної нижньої межі, тренування зупиняють, а отриману нейронну мережу вважають натренованою і готовою до застосування з використанням нових даних.

$$N_j = \sum_{i=1}^{24} W_{ji} O_i, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.7)$$

$$O_j = \frac{1}{1 + e^{-(N_j + \theta_j)}}, \quad (3.8)$$

$$N_k = \sum_{j=1}^n W_{kj} O_j, \quad k = 1, \quad (3.9)$$

$$O_k = \frac{1}{1 + e^{-(N_k + \theta_k)}}, \quad (3.10)$$

де W_{ji} , W_{kj} - вагові коефіцієнти відповідно між нейронами j -го і i -го шарів, а також k -го і j -го шарів; N_j , N_k - значення сигналів на входах j -го і k -го шарів; O_j , O_k - значення сигналів на виходах j -го і k -го шарів; θ_j , θ_k - зміщення. Далі обчислюється помилка для кожного зразка, що навчається:

$$E_p = 0,5(d_k - O_k)^2, \quad (3.11)$$

де d_k - бажане значення навантаження на виході; O_k - розрахункове значення ($P_{\text{прог}}$).

Після розрахунку градієнтних спусків в просторі вагових коефіцієнтів W_{ji} і W_{kj} і їх коригування обчислюється сумарна помилка по всім зразкам (блок 7) і проводиться перевірка виконання умови точності розрахунків (блок 8). У разі виконання умови точності розрахунків процес навчання закінчується, в іншому випадку - процес навчання повторюється. Важливо відзначити, що вся інформація, яку нейронна мережа має про завдання, міститься в наборі прикладів. Тому якість навчання нейронної мережі безпосередньо залежить від кількості прикладів навчальної вибірки, а також від того, наскільки повно ці приклади описують це завдання. Вважається, що для повноцінного тренування нейронної мережі потрібно хоча б кілька десятків (а краще - сотень) прикладів.[26, 13]

3.4 Навчання ШНМ і прогноз електроспоживання машинобудівного підприємства

З існуючих типів ШНМ обрано багатошаровий перцептрон, що володіє досить простою внутрішньою структурою, але в той же час має достатню точність і швидкість для прогнозування часових рядів. В якості методу навчання для багатошарового перцептрона обрано метод зворотного поширення помилок, як найбільш доцільний для такого типу мережі [27].

Єдиним вихідним параметром прогнозувальної моделі є величина погодинного електроспоживання машинобудівного підприємства, отже, ШНМ має один вихідний нейрон.

Кількість вхідних нейронів визначається набором параметрів, які впливають на електроспоживання підприємства. Проведений аналіз досліджень [28], присвячених визначенню параметрів, що впливають на електроспоживання підприємства, дозволив зробити висновок, що впливають на електроспоживання підприємства параметрами (в найзагальнішому випадку) є час доби (з 1-го по 24-й), тип дня (робочий, вихідний), температура навколишнього середовища. Для того щоб прогнозна модель змогла врахувати короткострокові тенденції зміни електроспоживання при прогнозуванні погодинного електроспоживання на годину H , в якості вхідного параметра приймається значення електроспоживання за попередній годину.

Таким чином, функція електроспоживання підприємства в моделі прийме наступний вигляд:

$$W_k = f(h, d, t_h, W_{h-1}), \quad (3.12)$$

де W_h - електроспоживання в годину доби; h, d - тип дня тижня; t_h - температура навколишнього повітря в годину h ; W_{h-1} - електроспоживання за попередній годину $h-1$.

Існуючі підходи до класифікації днів тижня за типом мають загальний істотний недолік. Цим недоліком є те, що в разі перенесення вихідного дня

на робочий день при випаданні святкового дня на вихідний день зазначені типи днів тижня можуть не збігатися з реально існуючими. Наприклад, понеділок може бути вихідним днем, вихідний день (неділя) - святковим і т.д.

Цього недоліку позбавлена запропонована нами нижче класифікація днів тижня за типом:

1. «Перший робочий день» (ПРД) - перший робочий день після вихідного або святкового дня.

2. «Останній робочий день» (ОРД) - останній робочий день перед вихідним або святковим днем.

3. «Робочий день» (РД) - всі дні між першим і останнім робочим днями.

4. «Вихідний день» (ВД) - вихідний або святковий день.

Вхідна величина «тип дня» є дискретною, кількість станів даної величини дорівнює чотирьом, отже, для подання даної величини в якості вхідної для ШНМ потрібно чотири вхідних нейрона (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 Приклад факторних ознак для вхідних даних ШНМ

№, п/п	Назва фактора	Значення (приклад)
Дискретні параметри		
1	Година доби з 1-ої по 24-ту	0 або 1
2	ПРД	0 або 1
3	РД	0 або 1
4	ОРД	0 або 1
5	ВД	0 або 1
6	Температура повітря у відповідну годину доби	Від мінімального до максимального значень
7	Величина електроспоживання у відповідну годину минулої доби	

Всі параметри, які подаються на вхід нейронної мережі, повинні бути нормалізовані на інтервалі [-1; 1]. Нормалізація проводиться наступним чином:

$$W_h^* = \frac{2W_h - (W_{max} + W_{min})}{(W_{max} - W_{min})}, \quad (3.13)$$

де W_h^* - нормалізоване значення електроспоживання в годину h ; W_h - значення електроспоживання, кВт год; W_{max} і W_{min} - максимально і мінімально можливі величини електроспоживання відповідно, кВт год.

Таблиця 3.3. Приклад даних для навчання ШНМ

Година доби	Тип дня	Фактичне навантаження кВт·год (попередньої доби)	Значення температури
1	РД	1511	1
2	РД	1421	0
3	РД	1492	0
4	РД	1502	1
5	РД	1515	0
6	РД	1517	1
7	РД	1488	1
8	РД	1467	1
9	РД	1513	0
10	РД	1527	0
11	РД	1571	1
12	РД	1591	1
13	РД	1534	2
14	РД	1517	2
15	РД	1496	2
16	РД	1490	2
17	РД	1583	2
18	РД	1632	1
19	РД	1599	1
20	РД	1528	0

Продовження таблиці 3.3

21	РД	1492	0
22	РД	1451	1
23	РД	1432	2
24	РД	1422	2

У процесі навчання мережі, помилка прогнозу знижується до тих пір, поки інтервал її коливання не досягне певного значення яке задовольняє результат прогнозу. Продовження навчання мережі після цього недоцільно

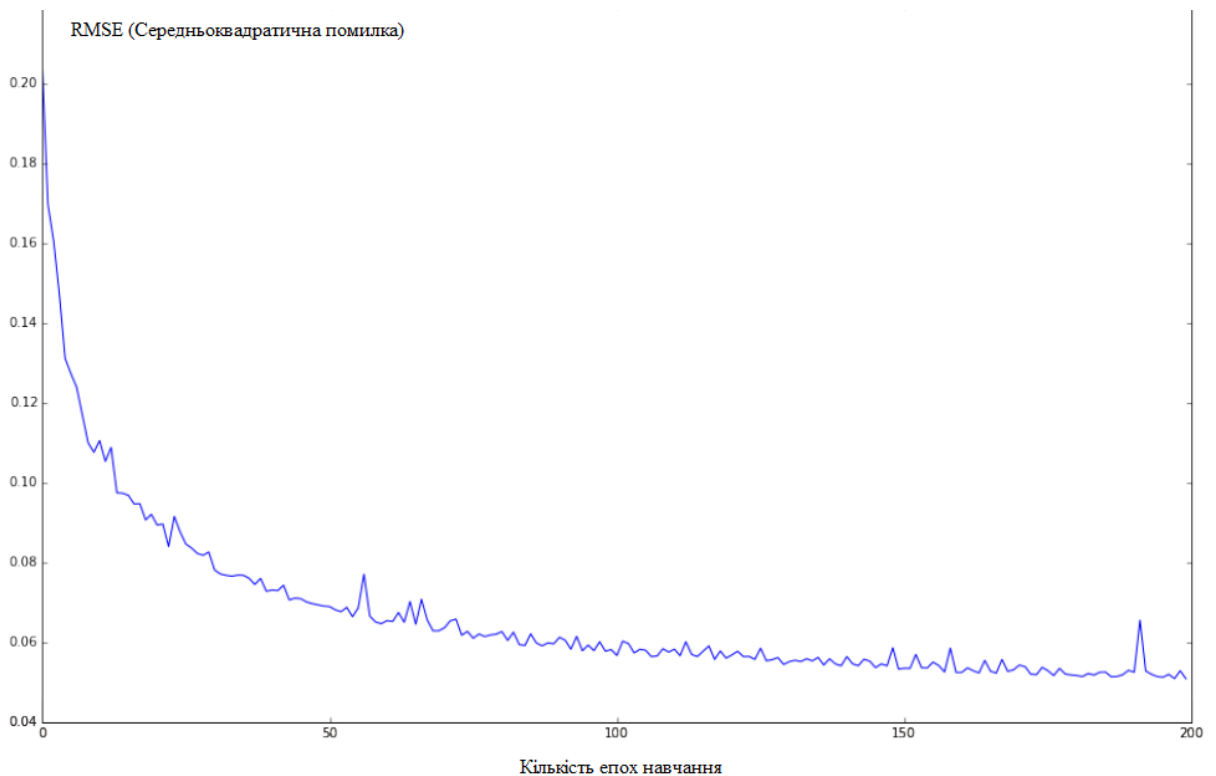


Рисунок 3.9 – Значення середньоквадратичної помилки RMSE у процесі навчання ШНМ

Після навчання на навчальних вибірках, прогнозні здібності ШНМ були перевірені на перевірочних частинах вихідних множин. Помилки MAPE по всім множинам вихідних даних наведено в таблицях 3.4, 3.5 та рисунках 3.10, 3.11

Таблиця 3.4 Результати прогнозування 1-го експериментального дня

Час доби	Р факичне (кВт)	Р прогнозоване (кВт)	MAPE, %
1	1516	1525	0,006
2	1480	1501	0,014
3	1514	1511	0,002
4	1497	1510	0,009
5	1496	1492	0,003
6	1504	1520	0,011
7	1495	1503	0,005
8	1513	1501	0,008
9	1525	1519	0,004
10	1528	1534	0,004
11	1588	1597	0,006
12	1544	1538	0,004
13	1543	1535	0,005
14	1513	1528	0,010
15	1504	1499	0,003
16	1503	1496	0,005
17	1509	1525	0,011
18	1501	1509	0,005
19	1466	1477	0,008
20	1457	1452	0,003
21	1472	1481	0,006
22	1443	1462	0,013
23	1418	1437	0,013
24	1420	1440	0,014

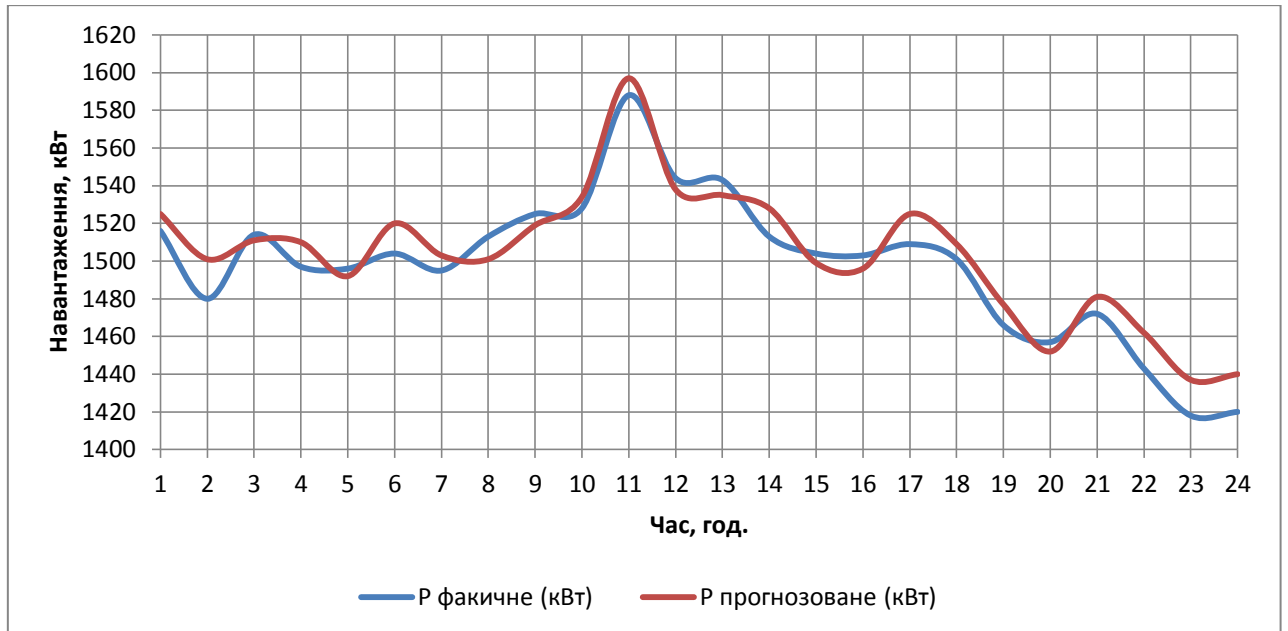


Рисунок 3.10 – Графік прогнозованих та фактичних навантажень 1-го еспериментального дня

Таблиця 3.5 Результати прогнозування 2-го еспериментального дня

Час доби	P факичне (кВт)	P прогнозоване (кВт)	MAPE, %
1	1500	1511	0,007
2	1522	1534	0,008
3	1515	1502	0,009
4	1488	1497	0,006
5	1478	1465	0,009
6	1463	1450	0,009
7	1478	1489	0,007
8	1482	1493	0,007
9	1462	1474	0,008
10	1464	1449	0,010
11	1512	1520	0,005
12	1491	1482	0,006
13	1517	1507	0,007
14	1523	1511	0,008
15	1513	1525	0,008
16	1550	1531	0,012
17	1605	1597	0,005

Продовження таблиці 3.5

18	1626	1618	0,005
19	1636	1630	0,004
20	1580	1593	0,008
21	1572	1560	0,008
22	1571	1591	0,013
23	1597	1581	0,010
24	1563	1584	0,013

З наведених далі розрахунків, навчання за алгоритмом зворотного поширення для промислового підприємства видно, що при збільшенні кількості епох до тисячі помилка не перевищує 4%.

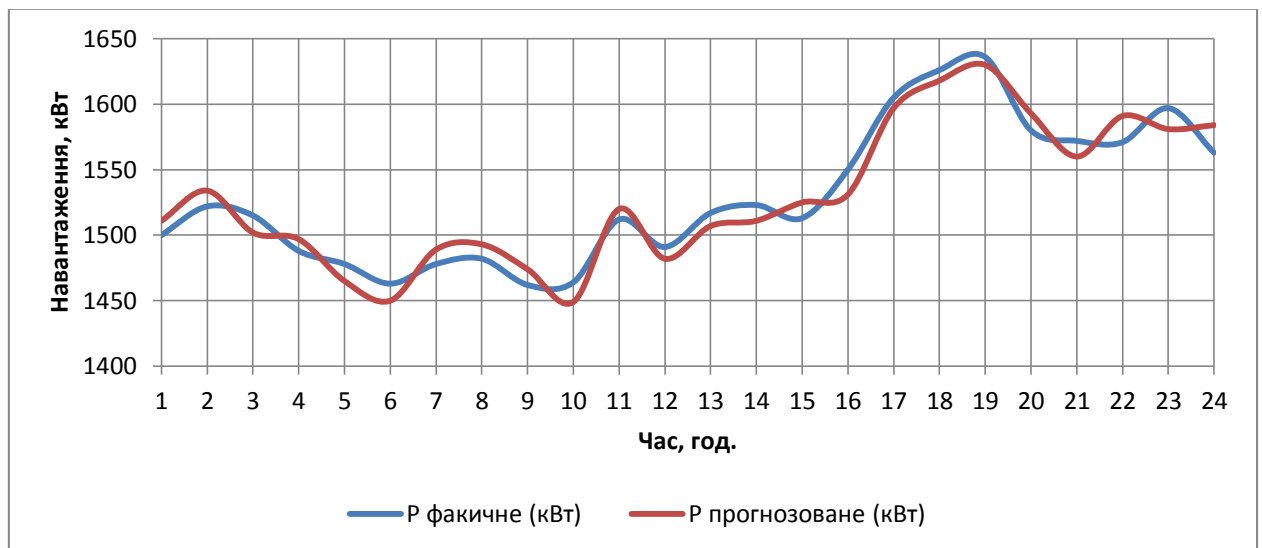


Рисунок 3.11 - Графік прогнозованих та фактичних навантажень 2-го еспериментального дня

Похибка перестає зменшуватися пройшовши п'ятсот епох, але існують ситуації коли для іншого набору навчальної вибірки (з іншою послідовністю робочих, святкових днів та вихідних) необхідно на сто епох більше (для першого дня), а на другий прогнозний день збільшується кількість епох і помилка навчання. Швидкість навчання була прийнята дослідним шляхом в сто епох, так як при маленькому кроці вибирається вірний напрям, що приводить до мінімуму помилки навчання.

Таблиця 3.6 Динаміка зміни MAPE за алгоритмом зворотнього розповсюдження помилки

№	Кількість епох	Середньоквадратична похибка прогнозу	$P_{факт}$	$P_{прогн}$	Похибка MAPE, %
1	100	3,511	1636	1572,15	3,903
2	200	3,384		1586,34	3,035
3	300	3,113		1597,52	2,352
4	400	2,977		1602,61	2,04
5	500	2,951		1604,88	1,902
6	600	2,982		1601,94	2,08
7	700	2,991		1600,23	2,186
8	800	3,016		1598,85	2,27
9	900	3,437		1585,91	3,062
10	1000	3,504		1573,67	3,81

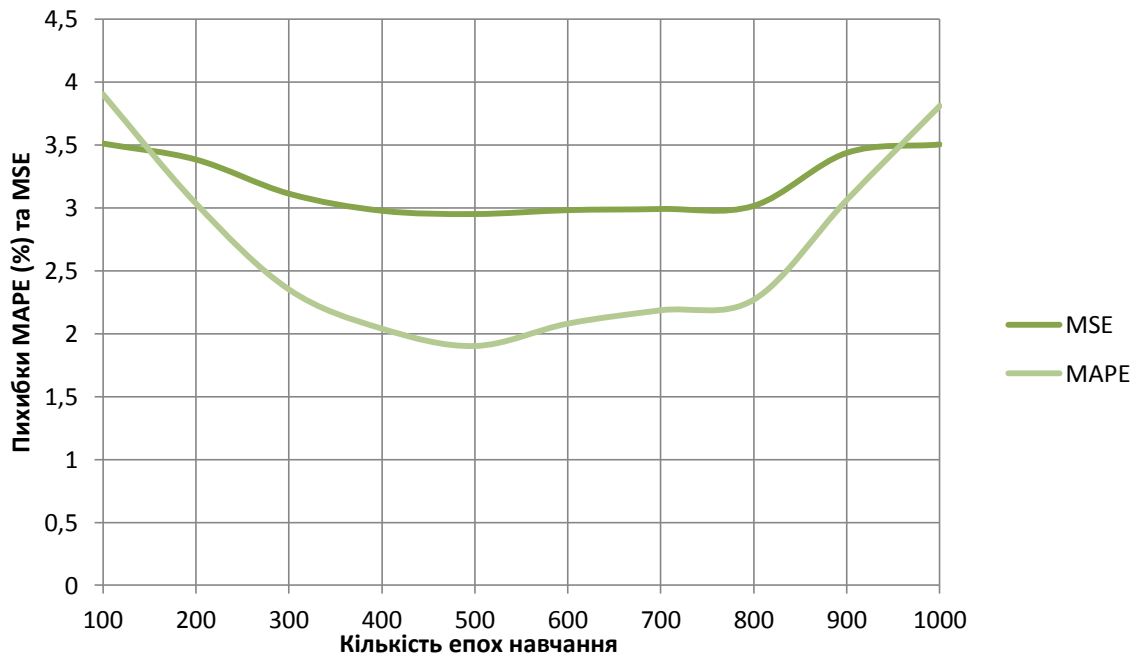


Рисунок 3.12 – Зв'язок кількості епох навчання, середньоквадратичної та середньої абсолютної похибок

Таким чином за представленими даними на рисунку 3.12, та результатами моделювання в таблиці 3.6 - варто зробити висновок, що для навчання за даним алгоритмом необхідно і достатньо не більше семи сотень епох.

3.5 Вибір якісно-оптимальної кількості споживачів-регуляторів для вирішення задачі управління електроспоживання на основі сформованого прогнозу

Для того, щоб ефективно знизити або підвищити значення електричного навантаження необхідно визначити межі, засоби якими будемо оперувати, та здійснити якісну оцінку знайдених рішень. Проблему меж регулювання вирішує прогнозна модель, а для вирішення задачі проблеми формування оптимальної групи споживачів-регуляторів застосуємо евристичний алгоритм.

Оцінка якості вибору споживачів для регулювання навантаження підприємства буде здійснюватись за критерієм $F(x) = (F_1(x); F_2(x))$, який є визначений у площині X .

Сам вектор $F(x)$ визначається такими складовими:

$$F_1(x) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m z_{ij} q_{ij}, \quad (3.14)$$

$$F_2(x) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_{ij}. \quad (3.15)$$

Оптимізація проводиться у такі області допустимих значень:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot q_{ij} \geq \Delta P. \quad (3.16)$$

Для знаходження компромісного варіанта вирішення двокритеріальної задачі пропонується метод, згідно з яким вибір споживачів, рекомендованих до відключення, здійснюється на проміжних рівнях ієрархії мережі підприємства. В якості початкового рівня, на якому вирішується завдання, вибирається найвищий рівень, що містить хоча б одого споживача з навантаженням, що менше за те, на яке необхідно зменшити - ΔP .

Склад споживачів, рекомендованих для зниження навантаження на цьому рівні, формується шляхом вирішення задачі лінійного програмування.

Так як кількість споживачів, що відключаються тісно пов'язана з величиною їх навантажень, як критерій оптимізації при вирішенні задачі пропонується мінімум суми зі складовими, в чисельнику яких поміщені економічні втрати від відключення, а в знаменнику поточні навантаження споживачів.

$$\sum_{i=1}^m \left(\frac{z_{ij}}{P_{ij}} \right) \cdot q_{ij} \rightarrow \min . \quad (3.17)$$

Рівняння обмежень у задачі що задає значення необхідного зменшення значення навантаження, буде виглядати так:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot q_{ij} \geq \Delta P. \quad (3.18)$$

Після рішення задачі на j -му рівні, з обраних на даному рівні споживачів відкидається n -й споживач, відключення якого призводить до максимального збитку:

$$y_n = \max\{q_{ij}; z_{ij}\}. \quad (3.19)$$

При цьому умова рівняння обмежень не виконується. Значення навантаження ΔP зменшується на величину сумарної потужності споживачів, що залишилися. Формування списку споживачів триває на $j+1$ -му рівні. Якщо подальший спуск по рівням неможливий, то останній з відкинутих споживачів включається в список і робота алгоритму закінчується.

Вибір споживачів для регулювання навантаження на рівні мережі проводиться за наведеним нижче алгоритмом. Рівень мережі j , для якого вирішується задача, кількість споживачів на цьому рівні n_{ij} і величина зниження навантаження ΔP задані. Обчислені також збитки z_{ij} і визначені поточні електричні навантаження P_{ij} споживачів. Блок схему алгоритму вибору споживачів для керування електроспоживанням наведено на рисунку 3.13

1. Ранжувати критерії: $\frac{z_{1j}}{P_{1j}} \leq \frac{z_{2j}}{P_{2j}} \leq \dots \leq \frac{z_{mj}}{P_{mj}}$.

2. Встановити початкові значення: $i=1$, $P_0=0$.
3. Якщо $q_{ij}=1$, то переходимо до кроку 4, інакше до кроку 6.
4. Розрахунок $P_0 := P_0 + P_{ij} \cdot q_{ij}$.
5. Якщо умова $P_0 > \Delta P$ дійсна перейти до кроку 9, інакше до кроку 6.
6. Присвоюємо: $i:=i+1$.
7. Якщо $i > m_j$, то переходимо до кроку 8, інакше – до кроку 3.
8. Помилка обчислення (неможливість розрахунку) перехід до кроку 13.
9. Виключити із множини споживачів M_j із найбільшим значенням витрат:

$$z_n = \max \left\{ \frac{z_n}{P_n} \in M_j \right\}. \quad (3.20)$$

10. Змінити значення ΔP на величину загальної потужності споживачів, що залишилися в області допустимих рішень M_j :

$$\Delta P = \Delta P - \sum P_{ij} \in M_j. \quad (3.21)$$

Перейти на наступний рівень присвоївши $j:=j+1$.

11. Закінчити роботу алгоритму.

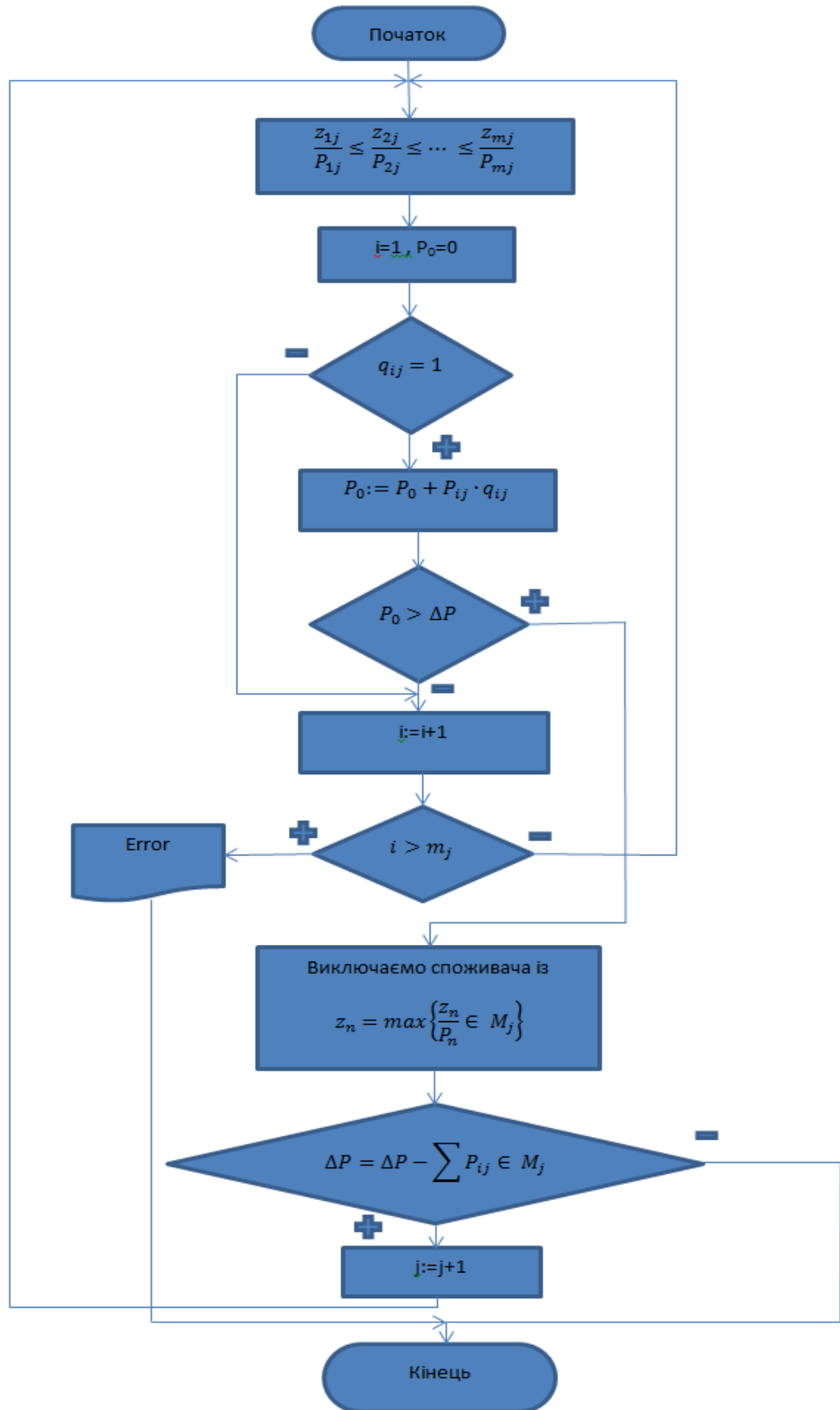


Рисунок 3.13- Блок-схема, алгоритм вибору споживача регулятора для курування електроспоживанням промислового підприємства

Висновок

Запропонована та апробована модель класифікації днів тижня є ефективним факторним джерелом даних для прогнозної моделі створеної на базі ШНМ. Результат співствалення похибок існуючої регресійної та ШНМ-моделі показав, що різниця сумарної похибки прогнозу за досліджені експериментальні дні коливається від 1.01 % до 2,68 % (всередньому 1,85%).

Завдяки моделюванню обрано методику визначення оптимальної кількості епох навчання шляхом зрівняння з похибкою прогнозу. Похибка перестає зменшуватися пройшовши п'ятсот епох, але існують ситуації коли для іншого набору навчальної вибірки (з іншою послідовністю робочих, святкових днів та вихідних) необхідно на сто епох більше (для першого дня), а на другий прогнозний день збільшується кількість епох і помилка навчання. Швидкість навчання була прийнята дослідним шляхом в сто епох, так як при маленькому кроці вибирається вірний напрям, що приводить до мінімуму помилки навчання.

Розроблений алгоритм керування електроспоживанням дозволяє отримати рішення поставленого завдання порівняно простими математичними засобами. Він реалізує вибір споживачів-регуляторів на окремих рівнях мережі за допомогою наближеного методу. При незначних витратах на реалізацію, для нього характерні певні втрати в точності по вибору навантаження, яке необхідно зменшити.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Сьогоднішня ситуація на в законотворенні та доповненні на ринку електричної потужності (електроенергії) в Україні вимагає від підприємств-споживачів впровадження чітких та впевнених заходів та технічних рішень задля задоволення своїх енергетичних потреб за комерційно привабливими цінами, що у свою чергу дають можливість покращити позиції конкурентоспроможності на ринку товарів та послуг. Мова, насамперед, іде про Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13 квітня 2017 року у якому прописані основні засади переходу ОЕС України на балансуєчий ринок і засади функціонування оптового ринку, які значною мірою звертають увагу саме на перевищення значення споживання замовленої потужності, та, як наслідок – вихід на балансуєчий ринок задля придбання додаткових необхідних об'ємів енергоресурсів за неринковою (завищеною) ціною.

Сама концепція ринку «на добу наперед» та принципів балансуєчого ринку електроенергії в Україні стимулюють промислових споживачів (і не тільки промислових) до формування точних прогнозів і, як наслідок, отримання точних значень запланованого електроспоживання.

Оскільки вищевказаний Закон вступає в дію з 2019 року, то зараз найбільш сприятливий період для розроблення та апробації вищезгаданих моделей короткострокового прогнозування.

Ідея стартап-проекту полягає у розробленні інформаційно-технічного рішення короткострокового прогнозування навантаження на базі створеної моделі короткострокового прогнозування в магістерській дисертації, яке може бути використане для побудови короткострокових і оперативних прогнозів електроспоживання промислових підприємств та виробничих об'єднань. Окрім прогнозу, продукт видає аналітичні результати та рекомендації щодо подальшого управління електроспоживанням на основі прогнозу.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Аудит реалізації системи короткострокового прогнозування проведено у вигляді таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Аналіз етапів реалізації стартап-проекту

Ідея проекту	Технології та кроки її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Розробити програмне забезпечення (систему короткострокового прогнозування), що інтерпретована у програмне забезпечення АСКОЕ і на основі її бази даних забезпечить необхідну точність прогнозу для промислового підприємства та проаналізує набір техніко-економічних заходів для оптимального управління енергоспоживання.	Розробка моделі короткострокового прогнозування за допомогою якої буде здійснюватись прогноз.	розроблена	Є доступною оскільки автори є розробниками моделі
	Наявність систем АСКОЕ для поєднання з прогнозною моделлю задля створення необхідного програмно-технічного рішення	наявні	Один із авторів проекту має розроблені та впровадженні системи АСКОЕ
	Розробка, або наявність програмного забезпечення для функціонування АСКОЕ та можливість інтерпретувати в нього наяву систему прогнозування.	наявні	Розроблені НДІ «Енергія» програмні продукти функціонування систем АСКОЕ
	Створення програмного забезпечення інтерпретованого у систему АСКОЕ, що шляхом використання створеної моделі прогнозування буде виконувати поставлені задачі прогнозування та видачі рішень.	немає у наявності	Планується залучити ІТ-спеціалісті для реалізації цього етапу

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Промислові підприємства, об'єднання та групи становлять 42.7% або 41831 млн. кВт год споживання електроенергії в Україні з приростом 1,9% за 10 місяців 2017 року. Потенційними споживачами розробленого продукту будуть підприємства таких галузей:

- машинобудівна;
- паливна;
- металургійна;
- хімічна і нафтохімічна;
- харчова та переробна.

Для того, щоб короткострокова модель прогнозування могла охоплювати всі перераховані вище категорії споживачів планується створення команди фахівців, що буде виконувати функції встановлення, налаштування, обслуговування та підтримки програмного продукту, а також інтерпретації в вже наявні системи АСКОЕ. На таблиці 4.2 наведено проблематики яких стосується розроблений продукт та проаналізовано його вплив на них [32]. В таблиці 4.3 наведено ситуацію, що сформувалася на ринку.

Таблиця 4.2 – Аналіз обґрунтованості та актуальності вирішення проблематик, що охоплює стартап

Проблематика	Вплив на споживача	Рішення, яке пропонує проект
Балансуючий ринок	Ризик виходу на балансуючий ринок	Уникання виходу на балансуючий ринок, шляхом точного прогнозу
Новий механізм ринку електроенергії	Проблема якісного прогнозу і управління електронавантаженням в енергосистемі в цілому	Дозволяє чітко сформувати прогнозні звітності необхідні для оптимізації експлуатаційного стану енергосистем

Продовження таблиці 4.2

Ефективність енерговикористання	Непередбачувані процеси електроспоживання	Наявність чітких алгоритмів дій та рішень на основі прогнозів
Взаємовідносини між ЕПО та споживачем	Невизначеність договорів і обсягів	Чітка налагодженість взаємовідносин між суб'єктами ринку

Таблиця 4.3 – Показники стану ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	більше 50
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	більше ніж 50 млн.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідність сертифікації системи згідно законодавства України (державна метрологічна атестація п. 3.14 ПКЕЕ)
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	63,7% [Додаток Б]

Згідно електронних черг станом на 09.04.2018 р. У електронній черзі на впровадження або переснащення системи АСКОЕ (зміни РП, ТУ, тощо) знаходиться 11 компаній-учасників ОРЕ у чотирьох чергах [31] У майбутньому ці компанії стануть невід'ємною частиною балансуєчого ринку, що змусить їх впроваджувати продукти, що подібні до розробленої прогнозної моделі інтегрованої у систему комерційного обліку електроенергії.

Ситуація щодо впровадження в експлуатацію систем АСКОЕ (що являються потенційним клієнтним середовищем для стартапу) станом на 26.02.2018 року така:

- впроваджені в промислову експлуатацію АСКОЕ - 233;
- зареєстровано АСКОЕ виробників – 227
- всього зареєстровано АСКОЕ суб'єктів ОРЕ – 258;
- призупинено реєстрацію АСКОЕ-5;
- АСКОЕ ДП "НЕК "Укренерго" впроваджена в промислову експлуатацію та зареєстрована [31].

Наведені дані дозволяють сформулювати маркетинговий аналіз ринку (таблиця 4.4.) та обґрунтувати фактори конкурентоспроможності (таблиця 4.5).

Таблиця 4.4 – Маркетинговий аналіз ринку

<i>№</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до послуги</i>
1	Реалізація аналізу майбутніх енергетичних потреб підприємства	Промислові підприємства, їх планові звітності та логістичні витрати	Зменшення фінансових втрат внаслідок наявності точних зпрогнозованих даних, збільшення конкурентоспроможності їх продуктів. Наявність інструменту прийняття рішень та рекомендацій щодо управління електронавантаженням	Адекватність, простота застосування, аргументованість
2	Закон України «Про ринок електричної енергії»	Учасники ОРЕ України	Вимоги щодо формування об'ємів закупок електроенергії на ОРЕ України	Точність прогнозу
3	Перехід до балансуєчого ринку	Учасники ОРЕ України	Небажання виходу на балансуєчий ринок. Прогноз точних профілів електронавантаження	Точність прогнозу

Таблиця 4.5 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Принципова-універсальність і адаптивність моделі	В моделі використовується моделювання із застосування штучних нейронних мереж, що дає змогу навчати і адаптувати її до широкого спектру промислових споживачів.
2	Зміна методики функціонування ринку електроенергії в Україні	Перехід до нового підходу в купівлі-продажу на ринку електроенергії у 2019 році, що спонукає споживачів цільової групи до більш точного визначання майбутніх обсягів споживання електроенергії
3	Відносно невелика кількість компаній-конкурентів на ринку	Більшість компаній-конкурентів (компаній, які впроваджують системи АСКОЕ або ЛУЗОД), не надають послуги інтеграції в цю систему програмного забезпечення, що має прогнозно-аналітичні можливості.
4	Наявність кваліфікованих кадрів та досвіду впровадження подібних систем	У проекті задіяна команда фахівців, що мають велику кількість впроваджених проектів з позитивним результатом.
5	Принципова новизна послуги	На ринку надання послуг встановлення комерційних систем обліку електроенергії не виявлено компанії, яка пропонує прогнозну аналітику споживання сумісну і повністю інтегровану в цю систему.

За сформованими даними узагальнено SWOT-аналіз проекту (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 - SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ul style="list-style-type: none"> - невелика кількість конкурентних компаній; - принципова новизна продукту; - широкий спектр застосування щодо промислових підприємств; - спонукання споживача на законодавчому рівні до здійснення прогнозно-облікової діяльності; - відносно невеликі інвестиційні капітальні затрати; - наявність бази потенційних клієнтів (напрацьованої членами командою стартап-проекту), що потребують рішень в напрямі прогнозування; - необхідність впровадження подібних систем для об'єктів ВДЕ, що генерують в мережу електроенергію і продають її за зеленим тарифом. 	<ul style="list-style-type: none"> - можлива необхідність метрологічної атестації; - відсутність команди ІТ-фахівців; - складність інтеграції програмного забезпечення з системою АСКОЕ; - обмежена кількість об'єктів, що потребують даної послуги; - необхідність подальшої модернізації і підтримки наявної клієнтської бази.

Продовження таблиці 4.6

Можливості:	Загрози:
<ul style="list-style-type: none"> - можливість самостійно контролювати ліміти споживання електричної потужності в години максимального навантаження енергосистеми; - вихід на енергетичні ринки інших країн; - інтерпретація моделі й програмного забезпечення для інших галузей з замовленою потужністю більше 150кВт, або річним споживанням понад 50 тис. кВт·год; - залучення програмного забезпечення на основі прогнозної моделі та розроблених алгоритмів рішень під час відновлення промислових підприємств окупованих територій Донецької та Луганської областей; - відкриття представництв в інших країнах та презентація продукту з метою залучення інвестицій для створення аналогічних прогнозних моделей для ЕПО інших країн; - продаж за франшизою. 	<ul style="list-style-type: none"> - проблеми із створенням кокурентоспроможного програмного забезпечення; - загроза ускладнень з метрологічною атестацією систем, що мають у складі розроблені прогнозні моделі; - зміна законодавства (наприклад стосовно зеленого тарифу для об'єктів ВДЕ); - складність налагодження безперебійної системи авторизації (безпеки) для технічної підтримки клієнтської бази; - інвестиційний ризик зв'язаний з погіршенням суспільно політичного та економічного стану економіки в країні.

4.3.1 Визначення цільової групи споживачів та дослідження ринку

У 2013-2015 рр. на фоні нестабільності економічної ситуації в Україні у галузі спостерігалось скорочення споживання (рисунок – 4.1). Наведена гістограма чітко демонструє залежність енергоспоживання галузі із економічними аспектами впливу на економіку (падіння споживання у 2009 та 2015 рр.). Лінія тренду вказує на неспинне спадання енергоспоживання галузі. У 2015 можна зафіксувати мінімум споживання галуззю за часів незалежності. Цьому сприяла як економіко-політична ситуація в Україні так і невизначеність у роботі значної частини машинобудівних підприємств на окупованих територіях, оскільки там розміщено багато осередків саме найбільш енергоємних споживачів галузі – енергоємного, металомісткого машинобудування. Енергетична ситуація галузі у загальному масштабі

енергоспоживання в Україні протягом останніх років змінюється і потребує досліджень.

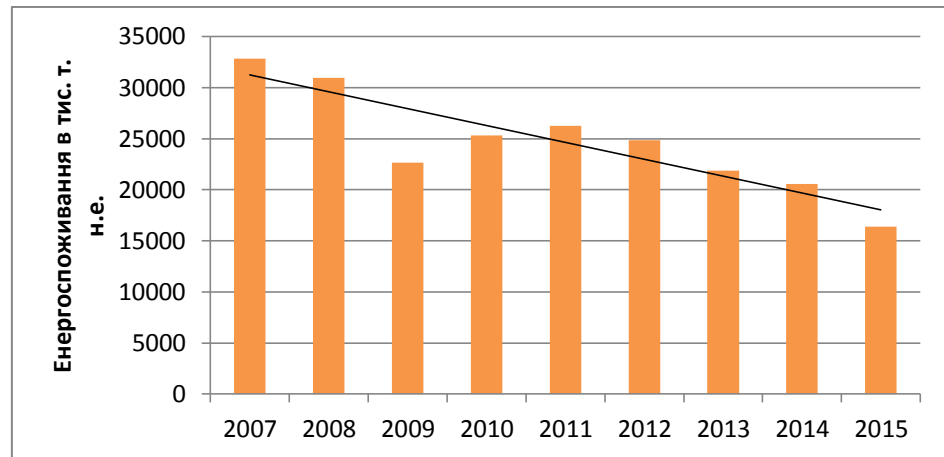


Рисунок 4.1 – Динаміка енергоспоживання промисловості України за 2007-2015 роки [6]

Проблема покриття нерівномірних графіків електричного навантаження ОЕС вирішується, як правило, трьома основними шляхами: створенням у енергосистемі оптимальної структури генеруючих потужностей, використанням перетоків із сусідніми енергосистемами та залученням споживачів до вирівнювання графіка навантаження енергосистеми за рахунок адміністративних (обмежуючих) та економічних (стимулюючих) мір. [34]

Коефіцієнт впливу. Щоб дослідити вплив однієї групи споживачів на загальний графік ОЕС було проведено розрахунок коефіцієнту впливу (таблиця 4.7). У розрахунку розглянуто дві складові сумарного графіка: покази машинобудування та металообробки і покази решти споживачів графіка ОЕС України, тому формула для розрахунку набула такого вигляду:

$$K_{\text{впл}} = \frac{D_{\text{сп}} + \sum_{j=1}^{m-1} COV_{\text{сп},j}}{D_{\text{ОЕС}}}, \quad (4.1)$$

де $D_{\text{сп}}$, $D_{\text{ОЕС}}$ - дисперсія графіків добового навантаження досліджуваного споживача та ОЕС України відповідно, $COV_{\text{сп},j}$ - сума коваріацій між досліджуваним добовим графіком споживача та добовими графіками інших споживачів, m - загальна кількість графіків, що складають сумарне навантаження енергосистеми [35].

Таблиця 4.7 – Розрахунок коефіцієнту впливу за режимний день 15.06.2016 .

	Україна	Машинобудування і металопереробка	Всі інші споживачі
Середнє значення	12089	464	11524
Дисперсія	1620822	24192	1379582
Коефіцієнт впливу, %	1	8,188	91,111

Таблиця 4.8 – Розрахункові значення коефіцієнта впливу за режимні дні ОЕС України 2015 – 2016 років.

	17.06.2015	16.12.2015	15.06.2016	21.12.16
Машинобудування і металопереробка	9,343	8,083	8,188	9,073
Всі інші споживачі	90,55	91,91	91,111	90,92
Україна	100	100	100	100

Згідно з розрахунками (таблиця 4.8) машинобудування і металопереробка має дуже суттєвий вплив на енергетичну систему України, відповідно є однією з найбільш впливаючих галузей на ОЕС разом із хімічною промисловістю та чорною металургією. Саме характер пікових годин споживання надає машинобудівній галузі такі високі значення коефіцієнту впливу, внаслідок чого в графіку навантаження мають місце ясно виражені піки та нерівномірності навантаження.

Коефіцієнт внеску. Значення коефіцієнту впливу для чотирьох режимних днів 2015-2016 років отримані за формулою.

$$K_{вн} = \frac{\bar{P}_{сн.}}{\bar{P}_{ОЕС}} \cdot R_{сн.ОЕС} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

де $\bar{P}_{cn.}$, \bar{P}_{OEC} - середньодобове споживання електроенергії споживача та ОЕС України відповідно; $R_{cn.OEC}$ - коефіцієнт кореляції між добовими графіками навантаження споживача та енергосистеми. [32]

Результати розрахунків занесені до таблиці 4.9

Таблиця 4.9 – Розрахунки

	17.06.2015	16.12.2015	15.06.2016	21.12.16
$K_{вн}, \%$	2,681	2,682	2,574	3,131

Значення внеску машинобудування та металообробки у загальний графік навантаження коливається від 2,5 – 3 %. Це є досить суттєвою часткою, проте цього недостатньо, щоб стверджувати, що зазначена галузь, є одним із основних (найвагоміших) складових графіка ОЕС України. Основною проблемою являється те, що ці невисокі покази коефіцієнта внеску мають такий характер навантаження, що вносить несприятливі профілі навантаження в графік ОЕС України.

Класстеризація. Для того щоб проаналізувати місце машинобудування та металообробки в графіку навантаження ОЕС України серед графіків навантажень інших галузей, визначити подібні за характером і структурою навантаження галузі, виконано кластерний аналіз. Для виконання зазначеного аналізу було використано програмне забезпечення PASW Statistics [36, 37].

Кластерний аналіз проводився за такими характеристиками графіків навантаження:

- коефіцієнт нерівномірності графіка навантаження K_H ;
- коефіцієнт заповнення графіка навантаження K_3 ;
- коефіцієнт максимуму графіка навантаження K_{max} ;
- коефіцієнт внеску в графік навантаження $K_{вн}$;
- коефіцієнт впливу на графік навантаження $K_{впл}$.

Всі вищезазначені коефіцієнти було підраховано для чотирьох режимних днів, у таблиці 4.10 наведені результати розрахунків для зимнього режимного дня 2016 року.

Таблиця 4.10 – Розраховані значення коефіцієнтів графіків навантажень обраних галузей для режимного дня 21.12.16 р.

Показники	K_H	K_{max}	K_3	K_{BH}	K_{BPL}
1. Паливна	0,85	1,07	0,93	-0,85	-0,31
2. Чорна металургія	0,87	1,05	0,95	-14,73	-5,56
3. Кольорова металургія	0,93	1,03	0,97	0,51	0,09
4. Хімічна та нафтохімічна	0,84	1,11	0,90	1,26	5,88
5. Машинобудування та металообробка	0,42	1,60	0,63	3,13	9,07
6. Лісова та деревообробка	0,66	1,25	0,80	1,18	1,58
7. Будівельних матеріалів	0,76	1,15	0,87	1,06	0,86
8. Скляна та фарфорофаясова	0,86	1,07	0,94	-0,02	-0,01
9. Легка	0,41	1,53	0,65	0,32	1,05
10. Харчова	0,74	1,17	0,85	2,64	2,59
11. Інші промис. виробн.	0,66	1,24	0,81	1,84	0,10

Дендрограми кластиризації (Додаток А) дозволяють провести аналіз і зазначити що машинобудування та металообробка об'єднуються в спільний кластер з іншими галузями аж на 16-18 рівні, при чому роблять це і у 2015 році і влітку 2016 року разом із легкою промисловістю (спостерігається повторюваність). Чітко можна зазначити, що машинобудування і галузь легкої промисловості утворюють окремий кластер, щоправда з дендрограми 2016 році видно, що ці галузі мають вже більшу розбіжність графіків навантаження. Найподібнішою галуззю до машинобудування та металообробки згідно кластерному аналізу за характером графіка навантаження є легка промисловість. Наступні за подібністю хімічна і нафтохімічна галузь та чорна

металургія [38]. Спорідненість машинобудування та легкої промисловості можна пояснити, подібністю режимів їх роботи (переважно денна зміна), спорідненістю типів, розмірів і кількості підприємств, тощо(дендрограми кластиризації за 2015-2016 роки наведені в Додатку А)

У таблиці 4.11 наведено розрахунок грошового потоку впровадження стартапу до існуючої АСКОЕ, також у Додатку Б наведено розрахунки:

- річної економії від впровадження моделі:

$$E = 113436 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

- простого та динамічного (при ставці дисконтування на рівні 20%) термінів окупності:

$$T_{\text{ок}}^{(\text{пр})} \approx 1 \text{ рік } 10 \text{ місяців,} \quad (4.4)$$

$$T_{\text{ок}}^{\text{дин}} \approx 2 \text{ роки } 4 \text{ місяців;} \quad (4.5)$$

- внутрішньої норми рентабельності:

$$IRR = 63,7\%. \quad (4.6)$$

Визначені величини показують чітко сприятливу картину перспективи купівлі послуг стартап-компанії в прогнозуванні за допомогою ШНМ моделей.

Таблиця 4.11 - Планування грошових потоків впровадження моделі прогнозування

Час життя	Капітальні затрати, грн/рік	Амортизаційні відрахування, грн	Експлуатаційні витрати, грн/рік	Економія, грн	Грошовий потік CF, грн	Кумулятивний CF, грн	Коефіцієнт дисконту K_i	Дисконтований CF ^o , грн	Кумулятивний CF ^o , грн
0	192272	0	0	0	-192272	-192272	1,00	-192272	-192272
1	0	1000	8613	113436	104723	-87549	0,833	87234,259	-105037,741
2	0	1000	8613	113436	104723	17174	0,694	72677,762	-32359,979
3	0	1000	8613	113436	104723	121897	0,579	60634,617	28274,638
4	0	1000	8613	113436	104723	226621	0,482	50476,486	78751,124
5	0	1000	8613	113436	104723	331344	0,402	42098,646	120849,77
6	0	1000	8613	113436	104723	436067	0,335	35082,205	155931,975
7	0	1000	8613	113436	104723	540790	0,279	29217,717	185149,692
8	0	1000	8613	113436	104723	645513	0,233	24400,459	209550,151
9	0	1000	8613	113436	104723	750236	0,194	20316,262	229866,413
10	0	1000	8613	113436	104723	854959	0,162	16965,126	246831,539
11	0	1000	8613	113436	104723	959682	0,135	14137,605	260969,144
12	0	1000	8613	113436	104723	1064405	0,112	11728,976	272698,12
13	0	1000	8613	113436	104723	1169128	0,093	9739,239	282437,359
14	0	1000	8613	113436	104723	1273851	0,078	8168,394	290605,753
15	0	1000	8613	113436	104723	1378574	0,065	6806,995	297412,748

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту та формування системи збуту

Маркетингова програма, як складова ефективної підготовки виводу стартап-проекту на ринок є формування маркетингової концепції послуги наведено у таблиці 4.12 [33, 39].

Таблиці 4.12 - Маркетингова концепція послуги

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
<i>1</i>	<i>Облік електроенергії</i>	<i>Наявність атестованої системи обліку</i>	<i>Простота, та відповідність концепції ціна-якість, надання послуг супроводу метрологічної атестації та швидкість виконання проектів.</i>
<i>2</i>	<i>Прогнозування електроспоживання</i>	<i>Здійснення прогнозу в короткостроковій перспективі</i>	<i>Наявність моделі, що принципово відрізняється своєю адаптивністю під різні зміни в технологічному процесі</i>
<i>3</i>	<i>Аналіз електроспоживання</i>	<i>Глибока аналітика даних</i>	<i>Програмне забезпечення дозволить формувати звіти, графіки, різні аналітичні рішення</i>
<i>4</i>	<i>Збір даних</i>	<i>Визначення техніко-економічних показників об'єкту</i>	<i>Наявність програмних рішень, що збирають такі дані</i>

Маркетингова концепція товару дозволяє перейти до розробки тривірневої маркетингової моделі проекту:

- основною та базовою потребою яку задовольняє товар є облік та прогнозування обсягів споживання електроенергії промисловими підприємствами;
- основною якісною характеристикою продукту є середня абсолютна відносна похибка (2-7% для розробленої прогнозної моделі);

- якісно характеризує систему АСКОЕ та комплекс в цілому також сертифікація її Укрметртестандартом;
- від копіювання товар планується захистити патентом на прогнозну модель, створенням системи авторизації програмного забезпечення та надання технічної підтримки.

Формування системи збуту буде відбуватися з залученням власних сил компанії та залучення інших підприємств-сателітів до процесу реклами та розповсюдження товару.

Великою перевагою компанії є вже створена база клієнтів, які вже користуються встановленими системними рішеннями АСКОЕ, та повна застосовуваність розробленої прогнозної моделі до них. Тому перш за все компанія буде розглядати їх як потенційних клієнтів.

Необхідним кроком в успішному виході на ринок є рекламна частина, для нарощування попиту нових споживачів на ринку. Для цього планується звернутися до рекламного відомства, створити рекламне середовище в інтернеті, оскільки 80 % всіх операцій знаходження клієнта за даним напрямом відбувається в інтернеті і 100% компаній, що працюють в галузі мають свої інтернет-ресурси. На рекламу плануються затрати що складають 50 тис. ум. од. за перші 1,5 роки.

Висновок

Здійснення аналізу етапів реалізації стартап-проекту показало, що процес виведення розробленої ідеї на ринок досить тривалим, але лише за рахунок того, що саме програмне забезпечення не розроблене і не інтерпретоване в систему АСКОЕ (воно випробуване окремо на базі Matlab, а дані з АСКОЕ зібрані окремо). Проте великим плюсом є наявність кваліфікованої команди фахівців з створення та введення в експлуатацію систем АСКОЕ будь якої складності та їх сертифікації.

Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту показує, на енергетичному ринку України у наявності дуже багато груп споживачів, яким

необхідний прогностичний продукт на кшталт розробленого в дисертаційній роботі, грошові об'єми даного напрямку за даними ДП «Енергоринок» складають 50 млн. ум. од. Крім того нас цікавлять об'єми ринку не тільки встановлення АСКОВЕ, а й безпосередня їх модернізація і інтерпретації з розробленою прогностичною моделлю. Великі можливості перед проектом відкриває перехід енергетики у 2019 році на балансуєчий ринок, що спонукає підприємства шукати прогностичні рішення.

Аналіз динаміки ринку показав темпи зростання і навіть те, що на ринку існує дефіцит компаній-конкурентів, оскільки наявні споживачі в черзі й компаній, що надають послуги зв'язані саме з прогнозуванням.

Визначено галузь, що найбільше потребує втручання прогнозування та управління електричним навантаженням у відповідності до графіку ОЕС України.

Фактори конкурентоспроможності у таблиці 4.5 свідчать, про те, що обґрунтування конкурентних переваг є досить актуальними та надають не аби який поштовх до інвестування в даний сегмент ринку, що надає можливість отримання стартам-компанією великих прибутків.

SWOT-аналіз свідчить про потенційно великі можливості розширення ринку в майбутньому та інтерпретацію моделей для інших галузей, проте тут також постають фактори загроз – найбільшою з них є неготовність саме програмного забезпечення системного рішення продукту, інвестиційний ризик та проблема захисту від копіювання розробленого рішення.

Логічним завершенням розділу є розробка маркетингової стратегії проекту, яка призведе до успішного виведення її на ринок. Маркетингова концепція наведена в таблиці 4.12 показує перелік базових потреб, що повністю, або частково вирішує розроблене програмне рішення. Ця стратегія свідчить, що перелік завдань, які розроблена система дозволяє вирішити є актуальним, необхідним у майбутньому та навіть базовим для багатьох підприємств-споживачів на ринку. Трирівнева маркетингова модель показує особливості

позитивної якості та захищеності ідеї, проте вказує на необхідність покращення питань захищеності ідеї. Сформовано основні напрями діяльності, концепції реалізації та фінансові показники системи збуту та реклаमाції продукту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Совершенствование информационного обеспечения задач моделирования и управления режимами СЭС в условиях реформирования электроэнергетики/ А. Праховник, В. Попов, В.Ткаченко, Е. Луцько// Энергетика: економіка, технології, екологія, № 1, 2010, стор. 42-47
2. Автоматизація управління енергооб'єднаннями / ред. С. А. Совалова. - М. : Энергия, 2001. - 432 с.
3. Баринов, В. А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления / В. А. Баринов, С. А. Совалов. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 439 с.
4. Электрические системы. В 7 кн. Кн. 7. Автоматизированные системы управления режимами энергосистем : учеб. для вузов по спец. «Кибернетика электр. систем» [Текст] / В. А. Богданов, В. А. Веников, Я. Н. Лугинский, Г. А. Черня. — М. : Высш. шк., 2003. - 448 с.
5. Хронусов, Г. С. Формирование эффективных режимов электропотребления промышленных предприятий [Текст] / Г. С. Хронусов. - Екатеринбург : Изд-во УГТА, 1998 - Ч. 1. — 340 с.
6. А.В.Праховник, В.П.Калінчик, А.В.Волошко, О.В.Коцар. Системи обліку електроенергії в умовах функціонування Smart Grid технологій/ Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Частина 2, 2011.- С.14-22.
7. Шпак О.Л., Луців П.Д., Праховник А.В., Калінчик В.П., Шиянов О.О. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії ВАТ ЕК „Хмельницькобленерго”/ Электрические сети и системы. Спецвипуск, 2010.- С.22-31.
8. Річний звіт / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України / Державне підприємство «Національна енергетична компанія «УКРЕНЕРГО», 2015. – 52с.

9. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. - М.: Финансы и статистика, 1979. - 199 с.

10. Бенн, Д. В. Моделі прогнозування електричного навантаження, що базуються на порівнянні / Д. В. Бенн, Е. Д. Фармер; Переклад з англійської. - М.: Енергоатом, 1987. - 568 с.

11. Евланов, Л. Г. Экспертные оценки в управлении / Л. Г. Евланов, В. А. Кутузов. - М.: Экономика, 1978. - 134 с.

12. Воронов, И. В. Определение параметров, влияющих на электропотребление промышленного предприятия, с помощью метода экспертных оценок [Текст] / И. В. Воронов, Е. А. Политов, В. М. Ефременко // Вестник КузГТУ. - 2009. - № 5. - С. 61

13. Агеева, Е. В. Проблемы прогнозирования потребности в электроэнергии как база для проектирования региональной электроэнергетики [Текст] / Е. В. Агеева, Ю. В. Власова, Ю. М. Коган // Энергетик. - 2008. - № 6. - С. 9 - 11.

14. Особливості короткострокового прогнозування електричного навантаження енергосистеми із суттєвою складовою промислового електроспоживання / П. О. Черненко, О. В. Мартинюк, В. О. Мірошник // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. - 2016. - Вип. 43. - С. 24-31.

15. Андерсон, Т. Статистичний аналіз часових рядів / Т. Андерсон; Перекл. з англ. - М.: Мир, 1976. - 760 с.

16. Льюїс, К. Д. Методи прогнозування економічних показників / К. Д. Льюїс; перекл. з англ.: Е. З. Демиденко. - М.: Фінанси и статистика, 1986. - 132 с

17. Кудрин, Б. И. Методика обеспечения почасового прогнозирования электропотребления предприятий с учетом погодных факторов [Текст] / Б. И. Кудрин, А. В. Мозгалин // Вестник МЭИ. - 2007. - № 2. - С. 105 - 108.

18. Бокс, Дж. Аналіз часових рядів. Прогноз і управління / Дж. Бокс, Г. Дженкінс. - М.: Мир, 1974. - 520 с.
19. Курбацкий, В. Г. Прогнозирование электрической нагрузки с использованием искусственных нейронных сетей [Текст] / В. Г. Курбацкий, Н. В. Томин // Электрика. - 2006. - №- С. 26 - 32.
20. Makridakis, S. Forecasting: methods and applications. / S. Makridakis, S. Wheelwright, R. Hyndman. - N-Y.: John Wiley & Sons, 1998. - 420 p.
21. Болн, Б. Багатометричні статистичні методи / Б. Болн, К. Дж. Хуань. - М.: Наука, 1979. - 348 с.
22. Политов, Е. А. Принципы построения прогнозной модели электропотребления промышленного предприятия на основе искусственной нейронной сети [Текст] / Е. А. Политов, И. В. Воронов, В. М. Ефременко // Вестник КузГТУ. - 2009. - № 5. -
23. Закон України «Про ринок електричної енергії», Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28, ст.312
24. Кудрін, Б. І. Електропостачання промислових приладів: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Б. І. Кудрін. - М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 672
25. Меламед М. А. Сучасні методи аналізу та прогнозування режимів електроспоживання в електроенергетичних системах / М. А. Меламед // Підсумки науки і техніки. - Сер. Енергетичні системи та їх автоматизація. - 1988. - Т. 4. - С. 4-11.
26. Рутковська Д. Нейронні мережі, генетичні алгоритми та нечіткі системи / і Д. Рутковська, М. Піліньскій, Л. Рутковський; пер. з пол. І. Д. Рудинського. - М.: - Телеком, 2008. - 452 с.
27. Шумілова Г. П. Прогнозування електричних навантажень ЕЕС з використанням методів штучного інтелекту / Г. П. Шумілова, Н. Е. Готман, Т. Б. Старцева // Збірник праць Російського національного симпозиуму з енергетики, Казань, 10-14 сент. 2001 г. - М.: КГЕУ, 2001. - С. 103-106.

28. Воронов, І. В. Огляд типів штучних нейронних мереж і методів їх навчання [Текст] / І. В. Воронов, Е. А. Політов, В. М. Єфременко // Вісник КузГТУ. - 2007. - № 3. - С. 38 - 42.
29. Кудрін, Б. І. Методика забезпечення погодинного прогнозування електроспоживання підприємств з урахуванням погодинних факторів [Текст] / Б. І. Кудрін, А. В. Мозгалін // Вісник МЕІ. - 2007. - № 2. - С. 105 - 108.
30. Рекомендації щодо змісту й структури магістерських дисертацій розроблено на підставі «Положення про магістратуру НТУУ «КПІ» [НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», Київ-2007] і «Основних вимог до дисертацій та авторефератів дисертацій» [Бюлетень ВАК України. – 2007, № 6, С. 9-17]
31. Офіційний сайт Державного підприємства «Енергоринок» [Електронний ресурс]. – Посилання: http://www.er.gov.ua/data/zvit_dyrektor_dpe.pdf
32. УДК 621.311 Ю.С. Олійник Українська інженерно-педагогічна академія, Аналіз впровадження АСКОЕ на підприємствах, Харків 2016 р.
33. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
34. Річний огляд діяльності Держенергонагляду за 2016 рік / - 2017 рік- 54с.
35. Методичні рекомендації до виконання розрахункової роботи кредитного модуля «Маркетингові дослідження в енергетиці» для студ. спец. «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергетичний менеджмент» / Уклад. : А. І. Замулко, Ю. В. Чернецька, Ю. А. Веремійчук. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 65 с.
36. Розен В. П. Підвищення якості проведення енергетичного моніторингу ВНЗ шляхом застосування методів кластерного ієрархічного аналізу та центрографічного методу визначення концентрації згущення об'єктів

/ В. П. Розен, Ф. В. Ткаченко // Енергетика та електрифікація. — 2013. — № 3. — С. 32—37.

37. Лукань Л. Застосування кластерного аналізу для оцінки розвитку малого підприємництва в регіонах України / Л. Лукань, Г. Цегелик // Формування ринкової економіки в Україні. — 2009. — Вип. 19. — С. 73—80.

38. Звіти вимірів електричного навантаження в режимний день/ Укренерго – 2015 р.

39. Звіти Укрстату: Економічна статистика / Економічна діяльність / Енергетика / Кінцеве енергоспоживання за 2007 - 2015 роки.

ДОДАТОК А

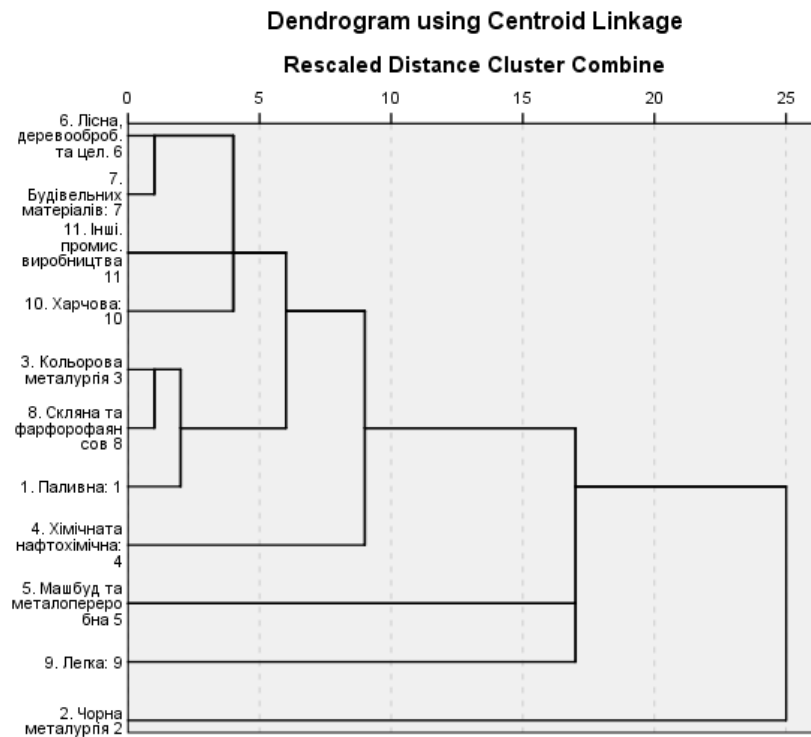


Рисунок А1 – Дендрограма кластеризації за літні режимні дні 2015-2016рр.

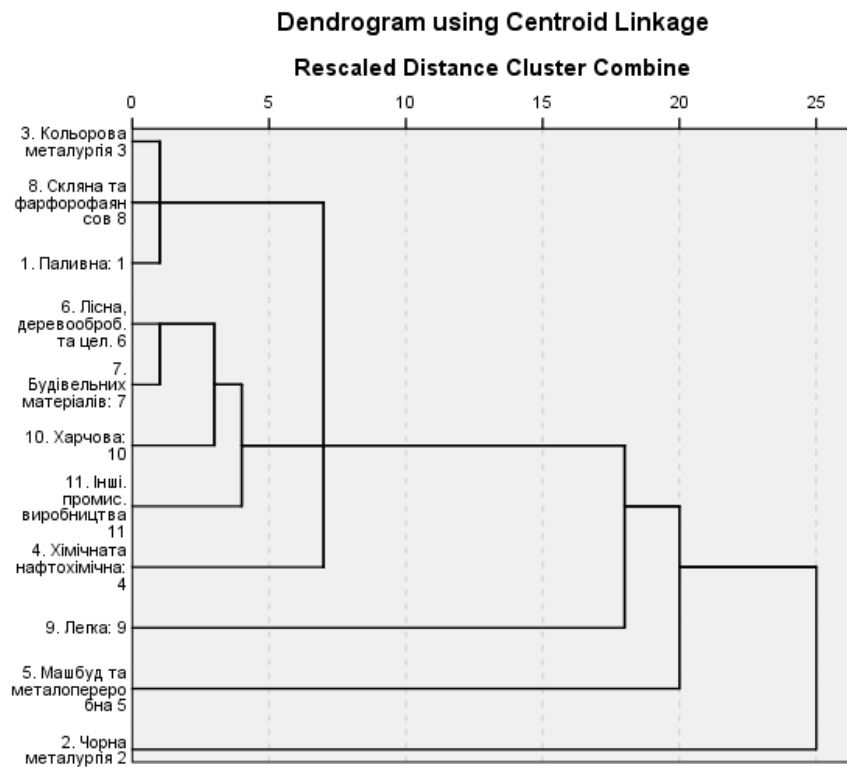


Рисунок А2 – Дендрограма кластеризації зимні режимні дні 2015-2016рр.

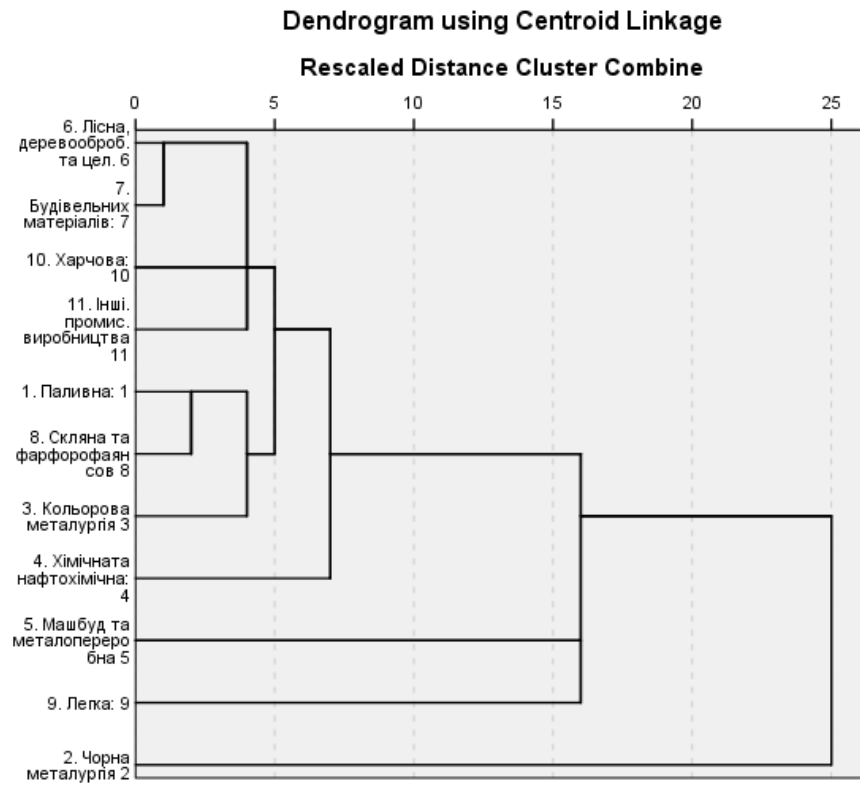


Рисунок А3 – Дендрограма кластеризації за 15.06.16 р.

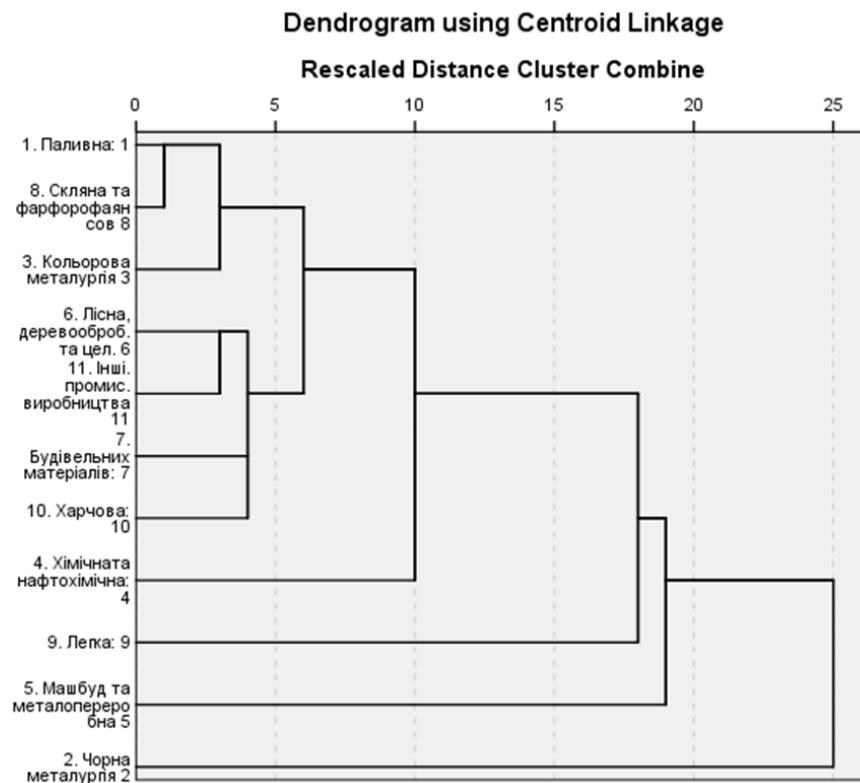


Рисунок А4 – Дендрограма кластеризації за 21.12.16 р.

ДОДАТОК Б

Експлуатаційні витрати це витрати, що складаються з щорічного профілактичного розбору і профілактики та становлять 1000 грн.

Щорічна економія електроенергії від впровадження заходу розрахована у підрозділі 3.4 шляхом співствалення похибок регресійної та ШНМ-моделі різниця сумарної похибки прогнозу за добу коливається від 1.01 % до 2,68 % (всередньому 1,85%) . Враховуючи тариф за споживання понаддоговірних величин для юридичних осіб станом за 2017 рік підприємство сплатило за викирстання цієї електроенергії 6 131 726 гивень, отже економія в розмірі 1,85% від цієї суми складе приблизно :

$$E = 113436 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні відрахування складають 5% від вартості обладнання.

Приймаємо ставку дисконтування – 20%.

Час життя проекту – 15 років, оскільки саме на цей термін фірма та підприємство обладнання заключатимуть контракт.

Капітальні витрати на допрацювання вже наявної АСКОЕ-системи:

$$172272 + 20\ 000 = 192272 \text{ грн.}$$

Тоді експлуатаційні відрахування: $172272 \cdot 0,05 = 8613 \text{ грн.}$

Для оцінки ефективності впровадження заходу необхідно провести такі економічні розрахунки:

- 1) простий термін окупності $T_{ок}^{np}$ (роки);
- 2) динамічний термін окупності $T_{ок}^{din}$ (роки);
- 3) чисту приведену вартість NPV (гривні)

$$NPV_1 = \sum_{i=0}^{15} CF_i^{\theta} ;$$

4) внутрішню норму рентабельності IRR (%)

$$IRR = A + \frac{a(B - A)}{(a - b)},$$

де А – величина ставки дисконту, при якій ЧПВ додатна;

В – величина ставки дисконту, при якій ЧПВ від’ємна;

а – величина додатної ЧПВ, при величині ставки дисконту А;

б – величина від’ємної ЧПВ, при величині ставки дисконту В.

Розрахуємо термін окупності.

Як бачимо з таблиці 2.8.1 кумулятивний грошовий потік міняє своє значення з негативного на позитивне між 1-м і 2-им роками, тому простий термін окупності капітальних вкладень дорівнюватиме:

$$T_{\text{ок}}^{(\text{пр})} = 1 \text{ рік } X \text{ місяців.}$$

Де X знайдемо з співвідношення:

12 місяців – 104723 грн

X місяців – 87549 грн.

$$X = \frac{12 \cdot 87549}{104723} = 10,03 \text{ місяців.}$$

Тоді простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}}^{(\text{пр})} \approx 1 \text{ рік } 10 \text{ місяців}$$

Як видно, з приведених розрахунків у таблиці 2.8.1 кумулятивний грошовий потік, що дисконтується, міняє своє значення з негативного на позитивне між 2-м і 3 м роками, тому динамічний термін окупності капітальних вкладень дорівнюватиме:

$$T_{\text{ок}}^{(\text{дин})} = 1 \text{ рік } Y \text{ місяців.}$$

Де Y знайдемо з співвідношення:

12 місяців – 104723 грн

Y місяців – 32359 грн.

Таблиця Б1 - Планування грошових потоків впровадження моделі прогнозування

Час життя	Капітальні затрати, грн/рік	Амортизаційні відрахування, грн	Експлуатаційні витрати, грн/рік	Економія, грн	Грошовий потік CF, грн	Кумулятивний CF, грн	Коефіцієнт дисконту K_i	Дисконтований CF ⁰ , грн	Кумулятивний CF ⁰ , грн
0	192272	0	0	0	-192272	-192272	1,00	-192272	-192272
1	0	8613	1000	113436	104723	-87549	0,833	87234,259	-105037,741
2	0	8613	1000	113436	104723	17174	0.694	72677,762	-32359,979
3	0	8613	1000	113436	104723	121897	0,579	60634,617	28274,638
4	0	8613	1000	113436	104723	226621	0,482	50476,486	78751,124
5	0	8613	1000	113436	104723	331344	0.402	42098,646	120849,77
6	0	8613	1000	113436	104723	436067	0,335	35082,205	155931,975
7	0	8613	1000	113436	104723	540790	0,279	29217,717	185149,692
8	0	8613	1000	113436	104723	645513	0,233	24400,459	209550,151
9	0	8613	1000	113436	104723	750236	0,194	20316,262	229866,413
10	0	8613	1000	113436	104723	854959	0,162	16965,126	246831,539
11	0	8613	1000	113436	104723	959682	0.135	14137,605	260969,144
12	0	8613	1000	113436	104723	1064405	0,112	11728,976	272698,12
13	0	8613	1000	113436	104723	1169128	0.093	9739,239	282437,359
14	0	8613	1000	113436	104723	1273851	0,078	8168,394	290605,753
15	0	8613	1000	113436	104723	1378574	0,065	6806,995	297412,748

$$Y = \frac{12 \cdot 32359}{104723} = 3,71 \text{ місяців.}$$

Тоді динамічний термін окупності:

$$T_{\text{ок}}^{\text{дин}} \approx 2 \text{ роки } 4 \text{ місяців.}$$

З таблиці 2.8.1 видно, що чиста приведена вартість (NPV):

$$NPV_1 = -192272 + \dots + 6806,9 = 297412 \text{ грн.}$$

Знайдемо внутрішню норму рентабельності. Для цього приймаємо ставку дисконту $i_2 = 70\%$. Розрахунки зведемо таблицю-2.8.2

Таблиця Б2- Планування грошових потоків енергозберігаючого проекту

Час життя	Грошовий потік CF, грн	Коефіцієнт дисконту K_i	Дисконтований CF, грн
0	-192272	1,00	-192272
1	104723	0,588235294	61601,76471
2	104723	0,346020761	36236,33218
3	104723	0,203541624	21315,48952
4	104723	0,119730367	12538,52325
5	104723	0,070429628	7375,601909
6	104723	0,041429193	4338,589358
7	104723	0,024370113	2552,111387
8	104723	0,014335361	1501,241993
9	104723	0,008432565	883,083525
10	104723	0,004960332	519,4608971
11	104723	0,002917843	305,5652336
12	104723	0,001716378	179,744255
13	104723	0,001009634	105,7319147
14	104723	0,000593902	62,19524396
15	104723	0,000349354	36,58543762

Як видно з таблиці Б2 чиста приведена вартість:

$$NPV_2 = -192272 + \dots + 36,58 = -42720 \text{ грн.}$$

В результаті розрахунків отримали такі дані:

$$i_1 = 20\% - NPV_1 = 297412 \text{ грн.}$$

$$i_2 = 70\% - NPV_2 = -42720 \text{ грн.}$$

Розрахуємо внутрішню норму рентабельності:

$$IRR = 20 + \frac{297412 \cdot (70 - 20)}{(297412 + 42720)} = 63,7\%.$$