

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра Інтелектуальні системи електропостачання

«ДО ЗАХИСТУ»

В.о. завідувача кафедри
_____ /Д. О. Босий/

« _____ » _____ 20 ____ р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Освітньо-професійна програма **Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії**

Тема **Дослідження режимів споживання навантаження малого побутового споживача**

Theme **Research of modes of consumption of loading of the small non-household consumer**

Керівник дипломної роботи проф. _____ Д. О. Босий

Нормоконтролер доц. _____ Т. М. Міщенко

Студент групи ЕС1922 _____ В. В. Власенко

Student Vlasenko Vladyslav

Дніпро – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
Факультет «Управління енергетичними процесами»
Кафедра «Інтелектуальні системи електропостачання»
Галузь 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Спеціалізація Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії
«ЗАТВЕРДЖУЮ»
завідувач кафедри
_____ Сиченко В.Г.
« 20 » січня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС магістр
студента групи ЕС 1922 Власенко Владислава Вікторовича

1 Тема дипломної роботи: «Дослідження режимів споживання навантаження
малого побутового споживача»

затверджена наказом по університету від «17» січня 2020 р. № 55 ст.

2 Термін подання студентом закінченої роботи «17» грудня 2020 р.

3 Вихідні дані до дипломної роботи: обсяги споживання електричної енергії
малими побутовим споживачи АТ «Укрзалізниця», структура системи
комерційного обліку електроенергії АТ «Укрзалізниця».

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки) :стан розвитку
електроенергетики України, заходи щодо зниження комерційних втрат
електроенергії, досвід роботи АСКОВ на ПАТ ДТЕК Дніпрообленерго та АТ
«Укрзалізниця», принципи побудови АСКОВ, прогнозування електроспоживання
побутового споживача

5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу)

Структура втрат електроенергії в Україні, функціональна схема АСКОВ ПАТ
ДТЕК Дніпрообленерго та АТ «Укрзалізниця», розробка моделі із використанням
штучних нейронних мереж, результати досліджень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %
1	Вступ	09.09	10
2	Стан розвитку електроенергетики України	21.10	30
3	Автоматизована система комерційного обліку електричної енергії як інструмент зниження комерційних втрат	11.11	30
4	Прогнозування електроспоживання непобутового споживача	25.11	25
5	Висновки	09.12	3
6	Список використаних джерел	16.12	2

Дата видачі завдання: «20» січня 2020 р.

Керівник дипломного проекту:	проф.	_____	Д. О. Босий
		(підпис)	
Завдання прийняв до виконання:	студент	_____	В.В.Власенко

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 95 сторінок, складається із 3 розділів та містить 33 ілюстрації, 9 таблиць, 29 використаних джерела.

Об'єкт дослідження – режим споживання електроенергії малого побутового споживача. Предмет дослідження – обсяг споживаної електричної енергії побутовими споживачами. Метою роботи є підвищення точності прогнозу споживання електроенергії, що передається розподільними мережами залізниці..

Дослідження проводилися з використанням теорії математичного моделювання, теорії штучних нейронних мереж та теорії комп'ютерного моделювання та обробки даних з використання пакету STATISTICA

При виконанні роботи вперше розроблено з використанням нейронних мереж науково обґрунтовану модель довгострокового прогнозування споживання електричної енергії для малих побутових споживачів залізничного транспорту, що дозволяє підвищити точність прогнозу споживання електроенергії, яка передається розподільними мережами залізниці; вперше проведено зіставлення результатів моделювання нейронних мереж різної архітектури з фактичним споживанням електроенергії, що дозволяє виявити найбільш придатні для подібних задач конфігурації нейронних мереж. Отримано модель на мові розмітки для прогнозного моделювання, яку можливо інтегрувати до аналітичних комп'ютерних систем для прогнозування споживання електроенергії споживачів, що живляться від мереж залізниці.

Ключові слова: РЕЖИМИ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, СИСТЕМА КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ, НЕПОБУТОВИЙ СПОЖИВАЧ, ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 СТАН РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ	9
1.1 Технічні втрати	9
1.2 Комерційні втрати	11
1.2.1 Структура комерційних втрат електроенергії	12
1.2.2 Актуальність проблеми зниження комерційних втрат	13
1.2.3 Заходи щодо зниження комерційних втрат електроенергії	16
1.3 Існуючі методи виявлення безоблікового споживання електричної енергії	17
2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗНИЖЕННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ВТРАТ	20
2.1 Принципи побудови АСКОЕ	20
2.2 Способи виявлення комерційних втрат - безоблікового споживання електроенергії за допомогою АСКОЕ	23
2.3 Досвід роботи АСКОЕ на ПАТ ДТЕК Дніпрообленерго	25
2.3.1 Запуск і налагодження системи аское на базі районних електричних мереж	27
2.3.2 Програмний комплекс NovaSyS для АСКОЕ	30
2.3.3 Опис лічильника електроенергії	33
2.3.4 Комутаційний контролер та контролер збору даних	35
2.3.5 Збір даних і їх обробка	36
2.4 Принцип побудови АСКОЕ Придніпровської залізниці	40
2.4.1 Комунікаційний модуль	42
2.4.2 Сервер АСКОЕ	53
3 ПРОГОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НЕПОБУТОВОГО СПОЖИВАЧА	59
3.1 Переваги штучних нейронних мереж для прогнозування зміни часових рядів	59

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробник		Власенко В.В.			Дослідження режимів споживання навантаження малого побутового споживача	Літ.	Арк.	Аркушів
							5	98
Керівник		Босий Д.О.				ДНУЗТ, ІСЕ, гр. ЕС1922		
Н. контр.		Міщенко Т.М.						

3.2 Прогнозування споживання електроенергії з використанням штучної нейронної мережі	64
3.3 Узагальнення розробленої нейронної мережі	70
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	74
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ	75
ДОДАТОК А РММЛ-МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	79

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність роботи. В умовах існування сучасної складної системи взаємовідносин у області виробництва, розподілу та споживання електроенергії, прогнозування споживання електроенергії стає складною та важливою задачею на короткий та тривалий період.

Використання апарату прогнозування споживання електроенергії дозволяє точно планувати навантаження енергосистеми та підтримувати баланс потужності у ній, дозволяє зменшити витрати на оплату електроенергії на ринку електроенергії, вибрати найбільш ефективну стратегію енергозбереження. Відмінність втрат від запланованих може свідчити про наявність без облікового споживання електроенергії.

При вирішенні задачі прогнозування необхідно враховувати значне число чинників, що впливають на зміну електроспоживання підприємств. Слід враховувати зміну вироблення продукції під впливом економічних умов, вплив плану ремонтів обладнання, залежність від метеорологічних і інших факторів.

У той же час розвиток систем автоматичного комерційного обліку електроенергії дозволяє проводити накопичення масиву даних про електроспоживання у кожній точці комерційного та технічного обліку, що значно спрощує підготовчий процес до побудови прогнозних статистичних моделей.

Зв'язок роботи з науковими напрямками діяльності кафедри. Обране дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, зокрема за наступною темою: «Розробка енергоефективної технології сумісної роботи системи централізованого тягового електропостачання та системи розподілених альтернативних джерел електроенергії.», номер держреєстрації 0117U004481.

Мета і поставлені задачі роботи. Підвищення точності довгострокового прогнозу споживання електроенергії, що передається розподільними мережами залізниці. Поставлено наступні задачі: проаналізувати структуру втрат

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

електричної енергії у електричних мережах; провести огляд систем комерційного обліку, що використовують для знання показань з лічильників електроенергії у побутовому та не побутовому секторі; дослідити режим споживання електроенергії малих непобутових споживачів залізниці, що живляться від спільного фідера тягової підстанції.

Об'єкт дослідження – режим споживання електроенергії малого непобутового споживача.

Предмет дослідження – обсяг споживаної електричної енергії непобутовими споживачами.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням теорії математичного моделювання, теорії штучних нейронних мереж та теорії комп'ютерного моделювання та обробки даних з використання пакету STATISTICA.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено з використанням нейронних мереж науково обґрунтовану модель довгострокового прогнозування споживання електричної енергії для малих непобутових споживачів залізничного транспорту, що дозволяє підвищити точність прогнозу споживання електроенергії, яка передається розподільними мережами залізниці.

2. Вперше проведено зіставлення результатів моделювання нейронних мереж різної архітектури з фактичним споживанням електроенергії, що дозволяє виявити найбільш придатні для подібних задач конфігурації нейронних мереж.

Практичне значення одержаних результатів. Отримано модель на мові розмітки для прогнозного моделювання, що дозволяє інтегрувати її до систем математичного моделювання та використовувати для аналізу споживання електроенергії інших споживачів.

Особистий внесок здобувача. Постановка мети та завдання дослідження, розробка комп'ютерної моделі. Здобувачем самостійно проведено комп'ютерне моделювання, розрахунки, зіставлення та аналіз отриманих результатів,

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк. 8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формулювання висновків.

Апробація результатів роботи.

Основні положення роботи і результати досліджень доповідалися здобувачем і обговорювалися на науково-практичній конференції «Міждисциплінарні наукові дослідження: особливості та тенденції» (Чернігів, 4 грудня 2020 р.)

Публікації за тематикою роботи.

Власенко В.В., «Прогнозування величини електроспоживання» / Міждисциплінарні наукові дослідження: особливості та тенденції: матеріали міжнародної наукової конференції (Т.2), 4 грудня, 2020 рік. Чернігів, Україна: МЦНД

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 СТАН РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

Електроенергетика є базовою галуззю національної економіки, ефективне функціонування якої є необхідною умовою стабільності та забезпечення структурних перетворень економіки, задоволення потреб населення та суспільного виробництва в електричній енергії. В умовах постійного збільшення попиту та зростання ціни на електричну енергію виникає потреба у розробці та впровадженні заходів щодо підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів.

Втрати електроенергії в електричних мережах – важливий показник економічності їх роботи, який можна розглядати як індикатор технічного стану та ефективності існуючої конфігурації електричних мереж. Наразі втрати у електричних мережах України становлять близько 10...11% від загального відпуску електроенергії у мережу проти 3...6% у США, Франції, Німеччини. Використання даного індикатора є ефективним методом інформування про проблеми які накопичуються, вони вимагають невідкладних рішень у розвитку, реконструкції та технічному переозброєнні електричних мереж, вдосконалення методів і засобів їх експлуатації та управління, в підвищенні точності обліку електроенергії, ефективності збору грошових коштів за поставлену споживачам електроенергію.

Загальні втрати електроенергії в мережах складаються із суми технічних і нетехнічних (комерційних) втрат (рис. 1.1).

1.1 Технічні втрати

Технічні втрати електроенергії ΔW_T , обумовлені фізичними процесами в проводах і електрообладнанні, що відбуваються при передачі електроенергії по електричним мережам, їх можна представити наступними структурними складовими:

- навантажувальні втрати в обладнанні підстанцій. До них відносяться втрати в лініях і силових трансформаторах, а також втрати в вимірювальних

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформаторах струму, високочастотних загороджувачів (ВЗ) ВЧ-зв'язку і струмообмежуючих реакторах. Всі ці елементи включаються в "розтин" лінії, тобто послідовно, тому втрати в них залежать від потужності що протікає через них;

- втрати холостого ходу, що включають втрати в електроенергії в силових трансформаторах, компенсуючих пристроях (КП), трансформаторах напруги, лічильниках і пристроях приєднання ВЧ-зв'язку, а також втрати в ізоляції кабельних ліній;

- кліматичні втрати, які включають в себе два види втрат: втрати на корону і втрати через струми витоку по ізоляторах ПЛ та підстанцій. Обидва види залежать від погодних умов.

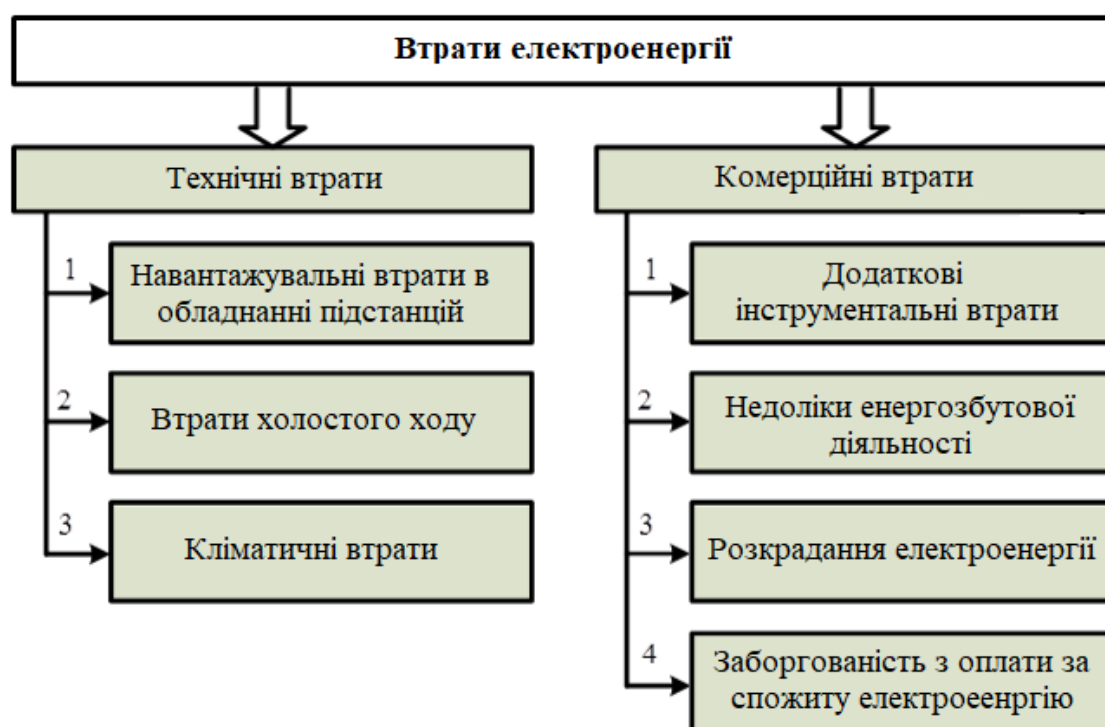


Рисунок 1.1 – Структура втрат електричної енергії

Розподільні мережі 0,38...6...10 кВ характеризуються значною часткою втрат електроенергії в сумарних втратах по всьому ланцюгу передачі електроенергії від джерел до електроприймачів. Це обумовлено особливостями побудови, функціонування, організацією експлуатації даного виду мереж: великою кількістю елементів, розгалуженістю схем, недостатньою забезпеченістю

приладами обліку, відносно малим завантаженням елементів і т.п [1].

1.2 Комерційні втрати

Комерційні втрати – являють собою вплив "людського фактору" і включають в себе всі його прояви: свідомі розкрадання електроенергії деякими абонентами за допомогою зміни показань лічильників, несплату або неповну оплату показань лічильників і іншими причинами в сфері організації контролю за споживанням енергії.

По суті, комерційні втрати являють собою не що інше, як фактичний небаланс електроенергії в електричній мережі, який в абсолютних одиницях обчислюється за формулою:

$$W_{\text{ВМ}} = W_{\text{КВ}} - W_{\text{Т}} - W ,$$

де $W_{\text{ВМ}}$ - відпуск електроенергії в мережу, визначається за різницею показань лічильників, що враховують електроенергію, що надійшла в електричну мережу від суміжних енергосистем, і лічильників, що враховують електроенергію, передану в електричній мережі суміжних енергосистем;

$W_{\text{КВ}}$ - корисний відпуск електроенергії споживачам, визначається для промислових, будівельних і прирівняних до них споживачів, бюджетних та інших організацій також за показаннями електролічильників.

$W_{\text{Т}}$ - технічні втрати електроенергії, повинні розраховуватися відповідно з нормативними документами.

Для побутових споживачів корисний відпуск визначається по платежу $П_{\text{Б}}$ і середньозваженому розрахунковому тарифу $T_{\text{Б}}$ на електроенергію:

$$W_{\text{ПО}} = \frac{П_{\text{Б}}}{T_{\text{Б}}} .$$

В ідеальному випадку небаланс електроенергії в електричній мережі

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

(комерційні втрати), що визначається за формулою (1.1), має дорівнювати нулю. Очевидно, однак, що в реальних умовах відпуск в мережу, корисний відпуск і технічні втрати визначаються з похибками. Різниці цих похибок фактично і є структурним складовими комерційних втрат. Вони повинні бути по можливості зведені до мінімуму за рахунок виконання відповідних заходів.

1.2.1 Структура комерційних втрат електроенергії

У загальному випадку складові комерційних втрат електроенергії пропонується об'єднати в чотири групи:

1) обумовлені похибками вимірювань відпущеної в мережу і корисно відпущеної електроенергії споживачам, заниженими класами точності і ненормованими умовами роботи вимірювальних трансформаторів струму (ТС) і напруги (ТН), лічильників і т.д.

Цю групу втрат пропонується класифікувати окремо (інструментальні втрати), тому що вона не знаходиться в прямій залежності від впливу «людського фактору»;

2) обумовлені заниженням корисного відпуску через недоліки енергозбутової діяльності. Включають кілька складових:

втрати при виставленні рахунків зумовлені недостатньою або помилковою інформацією про укладені договори, використанні спеціальних тарифів або пільг. Їх частка в структурі комерційних втрат мінімальна;

втрати через невідповідність дат зняття показань розрахункових лічильників з розрахунковим періодом. Викликані наявністю великої кількості споживачів і, як правило, недостатньою укомплектованістю електромережної компанії персоналом (контролерами, електромонтерами), а також вельми обмеженим використанням автоматизованих систем обліку електроенергії. Все це призводить до того, що показання лічильників у більшості споживачів знімаються раніше розрахункового періоду або ж передаються самим споживачем завчасно, що дозволяє йому занижувати споживання і відносити платежі на більш пізні терміни;

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

втрати через розрахунки спожитої електроенергії абонентом на основі договорів безоблікового електроспоживання (за відсутності встановлених у абонентів приладів обліку) можуть бути викликані помилковими розрахунками при споживанні електроенергії (заниження розрахункових значень в порівнянні з реальним енергоспоживанням);

3) втрати від розкрадання електроенергії. Пов'язані з незаконним підключенням споживачів і шахрайством з приладами обліку і т. д.

Це одна з найбільш істотних складових комерційних втрат. Узагальнення міжнародного та вітчизняного досвіду по боротьбі з розкраданням електроенергії показало, що в основному їм займаються побутові споживачі. Мають місце крадіжки електроенергії, здійснювані промисловими і торговими підприємствами, але обсяг цих крадіжок не можна вважати визначальним.

Розкрадання електроенергії мають досить чітку тенденцію до зростання, особливо в регіонах з неблагополучним теплопостачанням споживачів;

4) обумовлені заборгованістю з оплати за спожиту електроенергію. Мають дві складові:

перша складова обумовлена затримками в оплаті за спожиту електроенергію пізніше встановленого терміну (в тому числі несвоєчасністю оплати за електроенергію побутовими споживачами - так званої «сезонної складової»). Побутові споживачі об'єктивно не в змозі одночасно зняти показання лічильників і оплатити за електроенергію. Як правило, платежі відстають від реального електроспоживання, що, безумовно, вносить похибку в визначення фактичного корисного відпуску побутовим споживачем і в розрахунок фактичного небалансу електроенергії, так як відставання може становити 1...3 місяців і більше;

друга складова комерційних (фінансових) втрат - довготривалі або безнадійні борги і неоплачені рахунки.

Також комерційні втрати на енергопідприємстві можуть мати і комплексні причини виникнення, наприклад при поганій організації роботи пунктів прийому

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

платежів. У цьому випадку можливі затримки платежів, а також зайві витрати на утримання платіжної інфраструктури, створювані самим енергопостачальним підприємством. У цьому випадку виникають втрати при затребуванні оплати, породжені недоліками в енергозбутовій діяльності [7].

1.2.2 Актуальність проблеми зниження комерційних втрат

Кризові явища в світі, в країні і в енергетиці зокрема негативним чином впливають на енергетичну ефективність передачі і розподілу електроенергії через втрати в електричних мережах. Характерним при цьому є той факт, що залежність між зростанням втрат в електричних мережах і фінансово-економічною кризою має місце не тільки в Україні, а й в інших країнах СНД, що вступили в період переходу від централізованих до ринкових методів управління економікою. Це пов'язано з ослабленням в даний період контролю за споживанням електроенергії, зниженням платоспроможності значної частини споживачів, в першу чергу побутових споживачів, з ростом розкрадань електроенергії, загостренням проблем через недосконалість традиційної системи обліку електроенергії [2]

Споживання електроенергії в Україні в січні-жовтні 2019 року склало 121,726 млрд. кВт/год. У структурі споживання (рис. 1.2) близько 86% займають споживачі, 4% експорт. При цьому частка втрат в розподільних мережах становить в середньому по країні 11% [3].

У процесі тривалої експлуатації в умовах переходу до ринкової економіки виникають порушення технології передачі і розподілу електроенергії. Ці порушення викликають додаткові (наднормативні) втрати електроенергії і напруги, що погіршує показники надійності, якості та економічності електропостачання споживачів, порушуючи Закон України "Про електроенергетику" та викликаючи економічні збитки.

Щоб не відбувалося в ОЕС України (зниження навантаження, знос обладнання, розкрадання електроенергії і т.д.), величина втрат в електричних мережах (рис. 1.2) за 2009...2019 рр. не надто різниться [4].

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

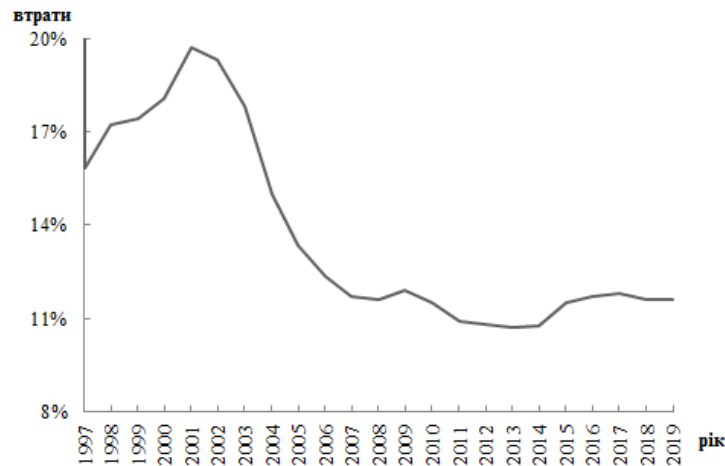


Рисунок 1.2 – Динаміка втрат електроенергії в розподільчих мережах України

Можна припустити, що зменшення квадратичного ступеня змінної складової нормативних втрат через зниження корисного відпуску електроенергії компенсується зростанням втрат під впливом порушень технології передачі і розподілу електроенергії.

Для порівняння, (рис. 1.3) фактичні втрати в розподільчих мережах Німеччини складають 5%, в Італії - 6,4%, у Франції - 7,4%, у Великобританії - 8,8%, в США - 5,4% [5]. Таким чином, в нашій країні величина втрат перевищена практично в два рази.

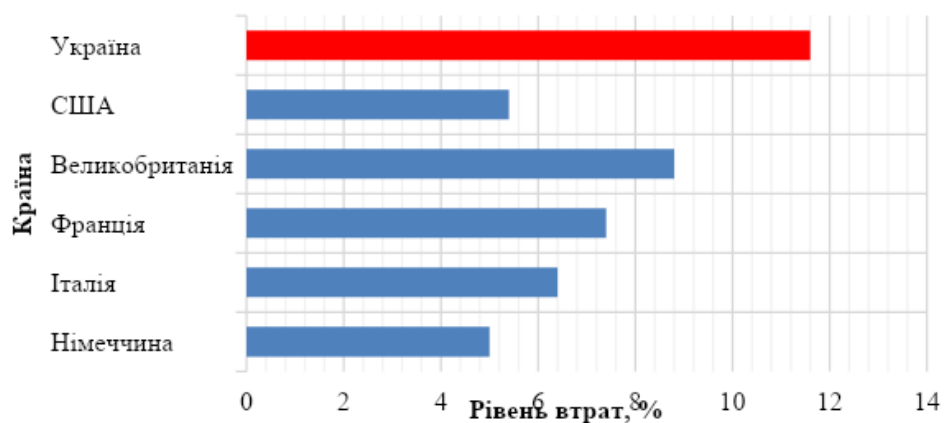


Рисунок 1.3 – Порівняння рівня втрат електроенергії в Україні та в електричних мережах зарубіжних країн

Вартість втрат є однією зі складових тарифу на електроенергію. Антимонопольний комітет ретельно аналізує обґрунтованість включення в тариф величини втрат електроенергії. Відповідно при зниженні рівня втрат електроенергії, можна очікувати поступове зниження тарифу, після того, як інвестиції вкладені в заходи з модернізації розподільчих мереж щодо зниження втрат будуть з часом повернуті.

Досить часто наявність комерційних втрат пояснюють розкраданнями електроенергії. Насправді, розкрадання електроенергії частина цих втрат, близько 50% втрат зумовлено недосконалістю і похибками системи обліку електроенергії, в тому числі порушеннями міжпіврічного інтервалу.

За оцінками зарубіжних експертів, максимально допустимі загальні втрати електроенергії в електричних мережах не повинні перевищувати 10% (в тому числі нетехнічна складова, що включає і втрати від затримки оплати, яка в передових енергокомпаніях становить не більше 1,5...2%) [6].

З установкою більш сучасних «розумних» лічильників електроенергії, старі методи розкрадання електроенергії стають не актуальними. Тому найбільш простим і недорогим способом розкрадання, який останнім часом набирає обертів не тільки в Україні але і в світі, стає застосування неодімових магнітів. Даний спосіб застосовується в основному в нічний час, коли енергозбутова (електромережева) компанія не проводить рейди по перевірці точок обліку електроенергії.

Зазначені обставини пояснюють актуальність розробки заходів, пов'язаних зі створенням і впровадженням ефективної системи автоматизації обліку, що комплексно вирішує проблему зниження комерційних втрат в електричних мережах

1.2.3 Заходи щодо зниження комерційних втрат електроенергії

На сьогоднішній день стає все більш очевидним, що головними напрямками вдосконалення системи обліку електроенергії є:

- заміна старих, що відпрацювали свій ресурс індукційних лічильників

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

класу точності 2,5 на сучасні, класу точності 0,5 і 1,0. Це дозволить в середньому підвищити корисний відпуск електроенергії на 10...12%;

- установка додаткових лічильників електроенергії, ТС і ТН, що забезпечують облік відпуску і втрат електроенергії по ступеням напруги;
- вдосконалення і впровадження атестованих в установленому порядку програм розрахунку технічних втрат електроенергії;
- активізація впровадження автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) на електричних станціях, підстанціях, у великих споживачів з поступовим переходом до впровадження АСКОЕ побутового споживання;
- створення автоматизованих баз даних по споживачах електроенергії (юридичним і фізичним особам) з їх прив'язкою до електричних мереж для контролю за динамікою обсягу споживання електроенергії по місяцях і роках;
- коригування ПУЕ, будівельних норм і правил проектної документації для захисту побутових електролічильників від розкрадань і руйнування споживачами, посилення заходів відповідальності за ці розкрадання і руйнування;
- виявлення несанкціонованого відбору електроенергії шляхом аналізу електроспоживання по вводах ТП і відходячих фідерів, установка групового обліку;
- установка приладів обліку в місцях, недоступних для різних маніпуляцій з ними, в окремих приміщеннях багатоквартирних будинків, на фасадах будинків та на опорах приватного сектора;
- заміна голих проводів на ізольовані на вводах у будинки, заміна внутрішньо будинкової мережі багатоквартирних будинків.

Практична реалізація перерахованих заходів вимагає значних капіталовкладень і часу і за попередніми оцінками експертів, дозволить зменшити комерційні втрати електроенергії максимум на 50%. Решта 50% комерційних втрат - це розкрадання електроенергії - тобто без облікове споживання [9].

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.3 Існуючі методи виявлення безоблікового споживання електричної енергії

В даний час електромережеві компанії ведуть активну роботу по виявленню і боротьбі з розкраданнями електроенергії. Для виявлення розкрадань електроенергії контролери електромережних підприємств планомірно обходять споживачів з перевітками, в ході яких перевіряється правильність включення приладів обліку електроенергії, цілісність місць пломбування, правильність показань та ін. Проте ефективність таких перевірок низька. Це обумовлено неможливістю початкового оперативного визначення місця і обсягу розкрадання електроенергії.

Методи виявлення неконтрольованого (несанкціонованого) споживання електроенергії (НСЕ) можна розділити на:

- 1) методи штучного інтелекту (на базі статистичних даних);
- 2) вимірювальні методи виявлення без облікового споживання електроенергії, до яких відносяться:

- використання приладів для виявлення прихованої електропроводки. Дані прилади реєструють електричне поле провідника, що знаходиться під напругою. З допомогою цього приладу контролери легко можуть виявляти приховану електропроводку. Для цього відключають автоматичний вимикач уувідному щиті і проходять з приладом по квартирі. У тому місці, де буде проходити прихована проводка, пролунає звуковий сигнал. До недоліків цих приладів можна віднести їх велику похибку при визначенні траси прихованої електропроводки, складову 10...15 см залежно від матеріалу стін, що ускладнює виявлення несанкціонованого підключення до електричної мережі;

- використання лічильників електроенергії з захистом від розкрадань. Ці лічильники формують сумарний сигнал із сигналів, пропорційних відповідно різниці і суми струмів фазного і нульового проводів ланцюга навантаження. Потім формують сигнал потужності з сигналу напруги навантаження і сигналу, що характеризує струм навантаження. Далі перетворюють сигнал потужності

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

навантаження в сигнал струму або напруги, а потім в частоту імпульсного сигналу. Підрахунок числа імпульсів є результатом виміру. При цьому перетворення в частоту імпульсного сигналу виконується незалежно від напрямку потужності навантаження. Однак ці лічильники не здатні захистити від розкрадань електроенергії при несанкціонованому підключенні споживачів до пристрою вимірювання електричної енергії;

– використання пристроїв для вимірювання електричної енергії з захистом від розкрадань. Ці пристрої містять зовнішній датчик потужності, підключений до введення в будинок, і базовий блок (лічильник електроенергії), підключений після введення в будинок. Датчик потужності і базовий блок вимірюють споживану потужність до введення в будинок і після введення в будинок. Шляхом порівняння потужностей визначається потужність без облікового споживання. В разі небалансу лічильник електроенергії формує сигнал на відключення навантаження, або переходить на облік електроенергії за більшим з двох показань вимірювальних блоків. Зв'язок між базовим блоком і зовнішнім датчиком потужності здійснюється по проводах з допомогою сигналу, що передається на фіксованих високих частотах. До недоліків цих приладів можна віднести їх високу вартість, необхідність сертифікації двох вимірювальних блоків, можливість розбіжності показань через власні похибки вимірювальних блоків (наприклад, через відмінності кліматичних умов), можливість блокування інформаційного високочастотного сигналу за допомогою додатково встановлених елементів (фільтрів або генератора перешкод) [10].

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗНИЖЕННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ВТРАТ

2.1 Принципи побудови АСКОЕ

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії – сукупність апаратних і програмних засобів, що забезпечують дистанційний збір, зберігання і обробку даних про енергетичні потоки в електричних мережах, а також дозволяють управляти приладами обліку електроенергії.

Основне завдання АСКОЕ – це забезпечення своєчасності, правильності і повноти платежів за спожиту в розрахунковий період електроенергію.

Інше завдання – використання АСКОЕ для виявлення і запобігання безоблікового споживання електроенергії. Для електромережної компанії - це зниження комерційних втрат і собівартості розподілу і передачі електроенергії. Для споживача – це обмеження зростання цін на електроенергію і відновлення принципу соціальної справедливості.

Рішення проблем енергообліку на підприємстві вимагає створення автоматизованих систем контролю й обліку енергоресурсів, в структурі яких в загальному випадку можна виділити чотири рівні (рис. 2.1):

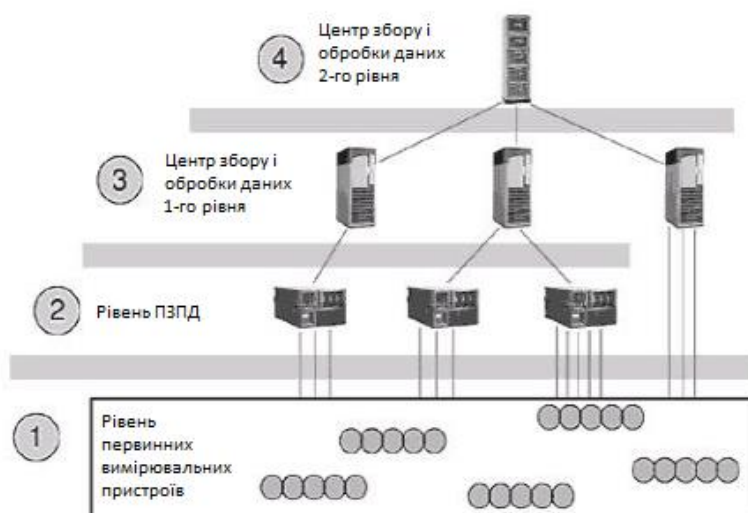


Рисунок 2.1 – Структурна схема АСКОЕ

– перший рівень – первинні вимірювальні прилади (ПВП) з цифровими виходами, які здійснюють безперервно або з мінімальним інтервалом вимірювання параметрів енергообліку споживачів (споживання електроенергії) по точках обліку;

– другий рівень – пристрої збору та передачі даних (ПЗПД), спеціалізовані вимірювальні системи або багатофункціональні програмовані перетворювачі з вбудованим програмним забезпеченням енергообліку, що здійснюють в заданому циклі інтервалу цілодобовий збір вимірювальних даних з територіально розподілених ПВП, накопичення, обробку та передачу цих даних на верхні рівні;

– третій рівень – персональний комп'ютер (ПК) або сервер центру збору та обробки даних із спеціалізованим програмним забезпеченням АСКОЕ, який здійснює збір інформації з ПЗПД (або групи ПЗПД), підсумкову обробку цієї інформації як по точкам обліку, так і за їх групами - по підрозділам і об'єктам підприємства, документування та відображення даних обліку у вигляді, зручному для аналізу і прийняття рішень (управління) оперативним персоналом служби головного енергетика та керівництвом підприємства;

– четвертий рівень – сервер центру збору та обробки даних із спеціалізованим програмним забезпеченням АСКОЕ, який здійснює збір інформації з ПК і / або групи серверів центрів збору і обробки даних третього рівня, додаткове агрегування і структурування інформації по групах об'єктів обліку, документування та відображення даних обліку в вигляді, зручному для аналізу і прийняття рішень персоналом служби головного енергетика та керівництвом територіально розподілених середніх і великих підприємств або енергосистем, ведення договорів на поставку енергоресурсів і формування платіжних документів для розрахунків за енергоресурси [11];

Завдання створення такої АСКОЕ ускладнюється двома факторами – великою кількістю вузлів обліку кінцевих споживачів і розосередженням їх на значній території, що істотно ускладнює доступ до них через традиційні канали

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

передачі даних типу вита пара і інтерфейс RS485.

Наведемо основні вимоги до АСКОЕ 0,4 кВ:

- забезпечення точності обліку, своєчасності, правильності і повноти платежів за спожиту електроенергію шляхом впливу на цей процес в рамках закону;
- виявлення розкрадань електроенергії і їх запобігання;
- забезпечення функцій оперативного, дистанційного, індивідуального диспетчерського управління в системі;
- контроль технологічних параметрів мережі електропостачання (оцінка якості електроенергії) і при необхідності захист електрообладнання споживачів в аварійних режимах;
- можливість отримання даних з приладів обліку без вторгнення на територію споживача або без його безпосередньої участі;
- технологічна надійність і захист від несанкціонованих впливів на систему;
- ефективна робота на територіях з різною концентрацією споживачів;
- мінімізація фінансових витрат на етапах створення і експлуатації [12].
- АСКОЕ як інструмент зниження комерційних втрат вирішує такі завдання:
 - підвищення повноти, достовірності та оперативності обліку;
 - зниження працездатності збирання та передачі даних;
 - підвищення швидкості обробки інформації;
 - забезпечення контролю за працездатністю приладів обліку;
 - здійснення комерційних розрахунків по диференційованим тарифам;
 - прогнозування значень величин енергообліку з метою мінімізації виробничих витрат на енергоресурси за рахунок планування енергоспоживання;
 - ліквідація безоблікового споживання електроенергії побутовим сектором [13].

АСКОЕ умовно можуть бути поділені на дві групи:

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

а) АСКОЕ зі збором телеметричної інформації по силовій мережі, радіоканалах, за допомогою телефонних або GSM-модемів.

б) АСКОЕ на основі лічильників з програмованими смарт-картами і можливістю комутації навантаження.

Прихильники АСКОЕ другої групи сподіваються на позитивний зарубіжний досвід, наприклад, ПАР (Південно-Африканської Республіки) і пропонують відразу замінити квитанції на електронні гроші за допомогою смарт-карт, що вставляються в лічильники з функцією комутації навантаження. Такі системи незалежні від концентрації споживачів. Тут чітко працюють товарно-грошові відносини: є «гроші» на смарт-карті, є електрика. Витрати на виробництво і експлуатацію таких систем значно менше ніж для першої групи (через відсутність каналів зв'язку), а питання надійної роботи - велика проблема, в першу чергу пов'язана з самими смарт-картами (виробничий брак, псування, підробка, втрата, технічне обслуговування і т.д.) [19].

Наслідки впровадження системи автоматичного обліку електроенергії у різних сферах (табл. 2.1), загалом, призводять до позитивних зрушень у різних сферах пов'язаних з електропостачанням електроенергії.

Таблиця 2.1 – Ефект від реалізації розумного обліку

Держава	• Зниження енергоспоживання • Прозорість структури енергоспоживання
Мережі	• Зниження втрат електроенергії • Згладжування піків енергоспоживання • Зниження операційних витрат за рахунок скорочення чисельності персоналу та обсягів ТО і Р
Збут	• Покращення оборотності заборгованості • Зменшення кількості звернень споживачів
Споживач	• Більш високий рівень задоволеності якістю енергопостачання • Можливість управляти обсягами і вартістю свого енергоспоживання

2.2 Способи виявлення комерційних втрат - безоблікового споживання електроенергії за допомогою АСКОЕ

Технічні та конструкторські рішення, прийняті при організації АСКОЕ, як правило, такі, що виключають обман чи блокування лічильника електроенергії без його механічного злому. Що стосується виявлення місць розкрадань електроенергії, то в АСКОЕ передбачені заходи щодо виявлення таких підключень:

- можливість контролю споживання електроенергії в лінії електропостачання при повністю відключеному комерційному навантаженні (споживання в лінії в режимі холостого ходу). Для цього диспетчер електромережної компанії в різний час доби формує команду «відключити навантаження всіх абонентів в лінії (або по фазі при наявності тільки однофазних абонентів)». Далі проводиться контрольний замір потужності на початку лінії (на трансформаторній підстанції) або в конкретній фазі. Якщо в лінії (або фазі) споживання перевищує норматив технічних втрат, значить, в ній є розкрадачі електроенергії. На обстеження цієї лінії необхідно загострити увагу контролерів оперативної виїзної групи;

- можливий контроль індивідуального споживання абонента на введенні його лінії електропостачання при дистанційно відключеному навантаженні абонента. При цьому диспетчером електромережної компанії формується команда «відключити навантаження» конкретного абонента, після чого контролер (не турбуючи) абонента заміряє електроспоживання безпосередньо на введенні абонента при відключеному навантаженні. Наявність електроспоживання свідчить про факт розкрадання електроенергії даними абонентом;

- на основі даних по енергоспоживанню, технічних характеристик елементів мережі і вимірів технологічних параметрів в різних вузлах і навантажувальних режимах з допомогою АСКОЕ можна розрахунковим методом визначити місця несанкціонованих підключень до ліній електропостачання.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Диспетчер електромережної компанії формує команду на лічильники «записати в пам'ять значення напруг і потужностей» споживання в вузлах навантажень. Далі ці дані беруться з пам'яті лічильників, наприклад за допомогою мобільного пристрою контролера, і передаються в електромережеву компанію. Проводиться розрахунок режимів роботи мережі електропостачання одним з методів, наприклад, методом вузлових напруг. Визначаються можливі місця (вузли) несанкціонованого відбору потужності (тобто розкрадань електроенергії) [20].

2.3 Досвід роботи АСКОЕ на ПАТ ДТЕК Дніпрообленерго

ДТЕК Дніпрообленерго активно впроваджує АСКОЕ з 2010 року. У місті Дніпро з роботою АСКОЕ вже знайомі більше 140 000 абонентів [14].

Завдяки системі АСКОЕ спеціалісти ДТЕК Дніпрообленерго можуть у режимі реального часу відстежувати:

- скільки електроенергії витрачає кожен споживач електроенергії;
- чи є на лініях проблеми — аварії, перевантаження мережі, втрати, несправність приладів обліку споживачів тощо.

У розумних системах електропостачання використовується прогресивна технологія збору інформації про виробництво та споживання електричної енергії, що дозволяє автоматично підвищувати результативність, надійність та економічний ефект виробництва, сприяє стабільності у виробництві та в процесі розподілення електроенергії.

Автоматизоване робоче місце оператора дозволяє в оперативному режимі стежити за станом всієї системи, контролювати параметри мережі, відстежувати споживання електроенергії в реальному часі. Тепер у ПАТ ДТЕК Дніпрообленерго немає необхідності направляти в зону обслуговування ТП і КТП контролерів для зняття показань приладів обліку. Вся інформація з ТП і підстанцій збирається за допомогою модемів на сервер, де обробляється. Фахівці Дніпрообленерго в режимі реального часу бачать споживання кожного абонента, можуть контролювати його добові витрати. Головний аргумент на користь АСКОЕ в тому, що комерційні втрати в тих житлових масивах де вже встановлена

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

система зведені нанівець.

Заміна електролічильників у квартирах житлового будинку, де встановлюється система АСКОЕ — обов'язкова складова процесу впровадження системи АСКОЕ.

Переваги зонних лічильників та системи АСКОЕ для побутових клієнтів:

- можливість законно економити на сплаті за електроенергію;
- показання лічильника знімаються дистанційно;
- показання лічильника знімаються в автоматичному режимі.

Фактор підвищення цін на енергоресурси дає підставу для переходу клієнтів на використання «Розумних» лічильників які самі враховують споживання електроенергії за декількома тарифами.

При розрахунках за зонним лічильником до діючого тарифу застосовуються коефіцієнти.

Для прикладу, у таблиці 2.2 нижче приведені коефіцієнти до тарифу при переході на розрахунки за спожиту електроенергію за одно-, дво-, та тризонним обліком.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти до тарифу, при переході на розрахунки за спожиту електроенергію за одно-, дво-, та тризонним обліком

Вид обліку	Умови	Період дії зони	Коефіцієнт до тарифу
1 зона	незмінний тариф протягом доби	незмінний тариф протягом доби	1,0
2 зони	день	07:00 – 23:00	1,0
	ніч	23:00 – 07:00	0,5
3 зони	пік	08:00 – 11:00	1,5
		20:00 – 22:00	
	напівпік	07:00 – 08:00	1,0
		11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	
	ніч	23:00 – 07:00	0,4

За основу взятий звичайний (однозонний) тариф «Для населення (у тому числі яке проживає в житлових будинках, обладнаних кухонними електроплитами)».

При однозонному обліку тариф на електроенергію залишається незмінним протягом доби.

Якщо лічильник двозонний, то в період дії зони «День» - вартість електричної енергії не зміниться, але в період дії зони «Ніч» вартість спожитої електричної енергії буде в 2 рази нижче.

Якщо лічильник тризонний, то заощадити можна до 40%, продумавши, коли дешевше користуватися енергоємними приладами. А «розумний» лічильник автоматично зафіксує споживання в три періоди доби: з 23:00 до 7:00 - електроенергія коштує на 60% дешевше, найдорожча з коефіцієнтом 1,5 - з 8:00 до 11:00 і з 20:00 до 22:00. В інший час діють звичайні тарифи [17].

Багатотарифний лічильник електроенергії на сьогоднішній день є найбільш затребуваним в порівнянні зі звичайним одностарифним, так як забезпечує можливість економії електроенергії. Його вартість вище, ніж у одностарифного лічильника. Проте, він окупає себе досить швидко за рахунок того, що він оснащений спеціальним пристроєм для програмування роботи за умовами кількох тарифів.

2.3.1 Запуск і налагодження системи аское на базі районних електричних мереж

Збір даних з лічильників електроенергії та аналіз балансу розподільної мережі 0,4 кВ для електромережної компанії є головним питанням при ринкових взаєминах зі споживачами. Для цих цілей вона змушена не рідше одного разу в півроку провести обхід всіх споживачів.

Щоб проаналізувати баланс споживання електроенергії трансформаторної підстанції та відходячих ліній 0,4 кВ повинні бути зняті показання всіх лічильників одноразово, тобто протягом декількох годин. Дана процедура забирає у співробітників електромережної компанії багато часу, сил і засобів. При цьому

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

часто трапляються помилки, тобто має місце так званий «людський фактор». Це призводить до перерахунку електроенергії у споживачів і некоректного аналізу балансу електричної мережі 0,4 кВ.

Щоб зрозуміти ефективність впровадження АСКОЕ та обґрунтувати доцільність її впровадження, були проведені натурні експерименти на базі кількох трансформаторних підстанцій в різних районах Дніпропетровська.

«Новокодацькі районні електричні мережі» стали місцем, де у 2016 році було вирішено провести натурний експеримент системи дистанційного збору даних по електричних мережах 0,4 кВ на основі технології PLC. Для натурального експерименту була обрана трансформаторна підстанція ТП-359 в побутовому секторі. Основним критерієм вибору району для монтажу обладнання було наявність в них великої величини небалансу електроенергії та утрудненого доступу до вузлів обліку споживачів.

Установка електролічильників проводилася в шафах обліку зовнішньої установки, в основному монтованих на фасадах будинків.

Відповідно до поставленої мети повинні були вирішуватися і наступні завдання:

- автоматизувати збір даних з приладів обліку;
- провести тестування працездатності технології PLC в реальних умовах розподільних мереж 0,4 кВ;
- виявити загальні втрати енергії за обраною ТП;
- виявити причини виникнення втрат;
- дати рекомендації щодо зниження втрат електроенергії з використанням АСКОЕ.

В якості системи для проведення натурального експерименту була обрана система АСКОЕ «Побут» на базі PLC (рис. 2.2), де збір інформації про споживання електроенергії здійснюється безпосередньо по самій розподільній силовій мережі 0,4 кВ, що найбільш відповідає критерію зниження собівартості точки обліку внаслідок відсутності необхідності в спеціальних каналах зв'язку з

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

окремо взятих електролічильників. Ефективне застосування всіх переваг сучасних багатофункціональних систем обліку електроенергії (контроль якості мережі, ведення тарифікації за зонами доби, можливість дистанційного відключення / включення навантаження споживача і т.д.) стає занадто скрутним і витратним без використання технології PLC.

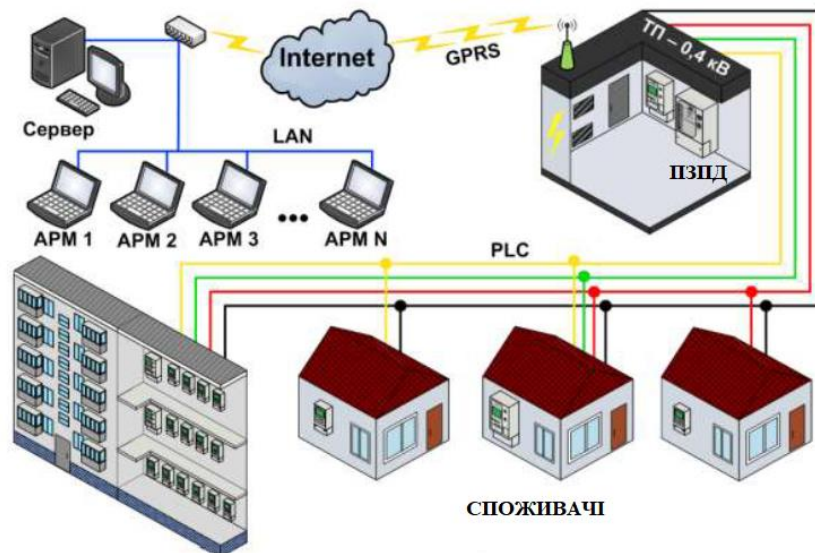


Рисунок 2.2 – АСКОВ на базі PLC технології

До складу використовуваної АСКОЕ входять наступні пристрої:

- лічильники електроенергії з функцією передачі даних по PLC-каналі у зберігання в незалежній пам'яті проміжних значень споживання;
- пристрій збору і передачі даних (ПЗПД), виконані у вигляді контролера з інтерфейсним модулем, - для зчитування по електромережі 0.4 кВ даних з лічильників, їх архівації та передачі в центральний диспетчерський пункт. У ПЗПД передбачена можливість як локального знімання даних через інтерфейс RS-485, так і віддалене знімання з допомогою вбудованого GSM \ GPRS модему, а також через мережі Ethernet (як провідного, так і бездротового);
- в комп'ютері центральної диспетчерської (ЦД) здійснюється обробка показань приладів обліку, розрахунок балансу електроенергії. Тут встановлюється спеціалізоване програмне забезпечення.

АСКОЕ «Побут» на базі PLC дозволяє вирішувати наступне коло завдань:

- дистанційне отримання в автоматичному або ручному режимах від кожного вузла обліку відомостей про відпущену або спожиту електроенергію;
- розрахунок балансу надходження і споживання електроенергії з метою виявлення і ліквідації втрат;
- застосування санкцій проти злісних неплатників шляхом обмеження допустимої потужності навантаження або повного відключення енергопостачання.
- контроль параметрів електромережі з виявленням та реєстрацією відключень мережевої напруги і відхилень параметрів електромережі від заданих уставок;
- виявлення фактів несанкціонованого втручання в роботу приладів обліку або зміна схем включення в електромережу;
- аналіз технічного стану або відмов приладів обліку;
- підготовку та експорт звітів про електроспоживання в білінгову компанію;

Перевагами використання АСКОЕ «Побут» на базі PLC-технології є:

- проста інсталяція системи без залучення сторонніх організацій;
- низька вартість точки обліку. Внаслідок відсутності спеціальних каналів зв'язку між лічильниками і ПЗПД складаючих істотну частку в кінцевій вартості АСКОЕ;
- відсутність обмежень по відстані. Кожен вузол обліку є ретранслятором інформаційних пакетів;
- надійна передача даних по силовій мережі 0,4 кВ. PLC модеми пристроїв збору та передачі даних і лічильників забезпечують високу надійність від мережевих перешкод;
- наявність силового реле в приладах обліку. Дозволяє дистанційно обмежувати недисциплінованих абонентів по потужності аж до повного відключення електроживлення;
- контроль напруги, струму і потужності абонента;

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

– контроль технічного стану вузла обліку. Відсутність інформації від лічильників можна інтерпретувати як вихід приладів обліку з ладу або маніпуляції зі способом включення лічильника в електромережу [21,22].

2.3.2 Програмний комплекс NovaSyS для АСКОЕ

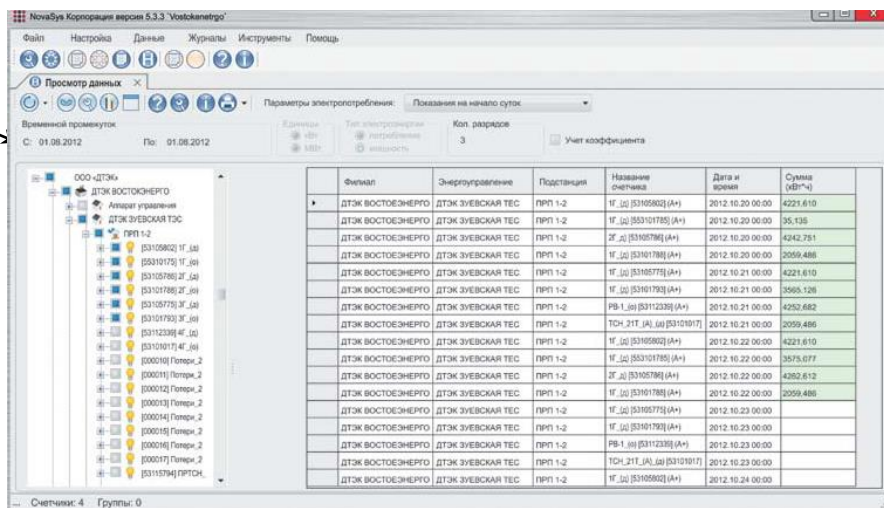
Програмний комплекс для АСКОЕ NovaSyS, розроблений фахівцями Департаменту інформаційних технологій компанії «НІК», - універсальна система обліку, яка працює з різними видами лічильників і будь-яким комунікаційним обладнанням. На рис. 2.3 приведений інтерфейс програмного забезпечення.

Програмний комплекс NovaSyS забезпечує:

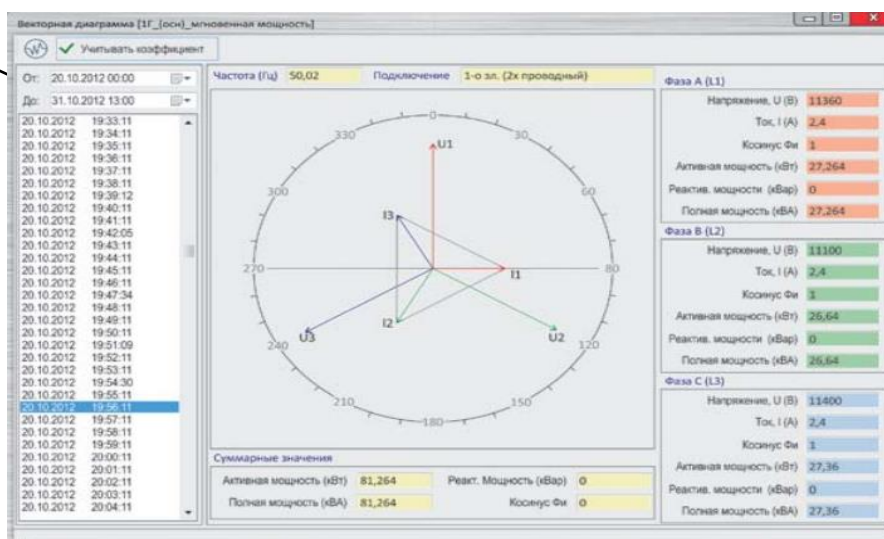
- можливість автоматизованого збору інформації по цифровому інтерфейсу (MEK1107 і MEK1142) для наступних типів електролічильників: LZQM, EMS, EPQS, GEM (ЕЛГАМА-Електроніка), NIK, «Альфа», «ЄвроАЛЬФА» (Ельстер Метроніка, Росія), «SL7000», «ACE6000» (Schlumberger), ET (ЕЛВІН), EMH, MTX, «Облік», «Меркурій», ZxB, ZxD (Landis & Gyr) і інших типів лічильників, рекомендованих енергопостачальними організаціями до застосування в якості розрахункових;
- автоматизоване збереження даних обліку електроенергії;
- відновлення даних первинної бази даних з резервних копій;
- інформаційний обмін даними з іншими автоматизованими системами суб'єктів ОРЕ України;
- автоматичне визначення величин обсягів надходження, відпуску і передачі електроенергії по кожній точці (групі) (основний / дублюючий і обвідний лічильник) обліку з необхідним періодом інтеграції;
- верифікацію даних, формування ознаки достовірності;
- формування автоматично і за запитом екранних звітних форм, з оперативним відновленням параметрів електроенергії на підставі інформації з масиву некоректних даних;
- безперервне накопичення і збереження оперативної інформації в базі даних, створення архівів на зовнішніх магнітних носіях;

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

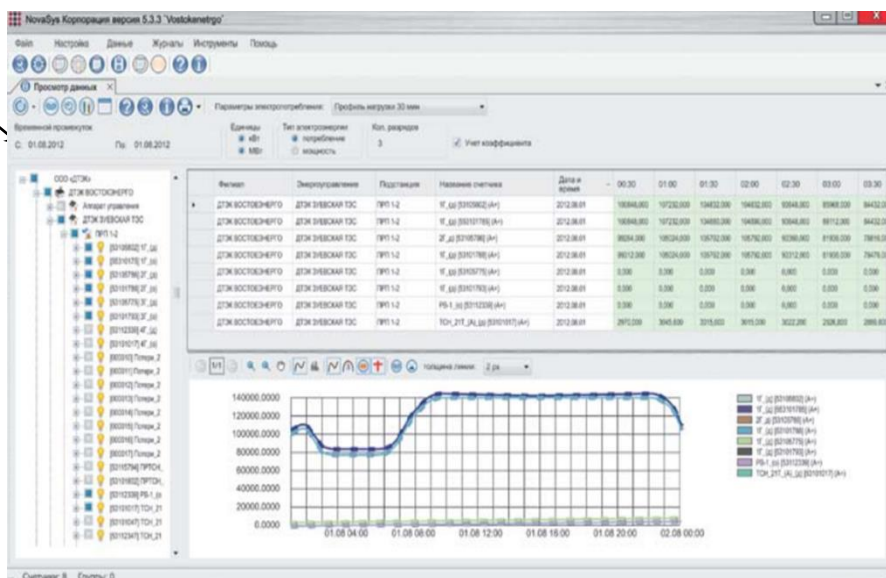
1



2



3



1 – показання лічильників на початок доби; 2 – параметри режиму електричної мережі; 3 – показання лічильників та часова діаграма споживання електроенергії

Рисунок 2.3 – Інтерфейс АСКУЕ NovaSyS Півгодинні графіки навантаження

- автоматичне визначення і оперативний контроль величини балансу електроенергії та потужності;
- автоматичну діагностику стану технічних засобів і каналів зв'язку системи;
- автоматичне ведення «Журналів подій» АСКОЕ та лічильників;
- можливість ручного введення даних;
- можливість гнучкого налаштування і конфігурації АСКОЕ;
- можливість оперативного прямого доступу до будь-якої інформації лічильників;
- захист інформації від несанкціонованого доступу, обмеження доступу до системи на основі паролів;
- ведення єдиного системного часу з можливістю його коригування;
- автоматичний або автоматизований перехід на резервні канали зв'язку при виході з ладу основних каналів;
- аналіз і планування електроспоживання [23].

2.3.3 Опис лічильника електроенергії

Лічильник електроенергії є кінцевим елементом АСКОЕ 0,4 кВ. Через лічильник електроенергії навантаження в електричній мережі абонента підключається до мережі електропостачання 0,4 кВ.

АСКОЕ «Побут» використовує лічильники електроенергії фірми NIK. Для приклада розглянемо багатотарифний лічильник електроенергії NIK 2104 (рис. 2.4, табл.2.3), який призначений для вимірювання електричної активної енергії, миттєвих значень потужності, напруги та сили струму.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34



Рисунок 2.4– Лічильник електричної енергії NIK 2104 багатотарифний

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики лічильника NIK 2104

Найменування	Параметр
Клас точності лічильника	1,0
Номінальна напруга $U_{ном}$, В	220
Робочий діапазон напруг, В	від 143 до 300
Номінальна сила струму $I_{ном}$, А	5
Максимальна сила струму $I_{мах}$, А	60
Чутливість, мА (Вт)	12,5
Номінальна частота мережі, Гц	50
Тарифні параметри: Багатотарифний облік споживання активної енергії	до 4-х тарифів і 12 часових зон
Міжповірочний інтервал, років	не більше 16
Маса, кг	не більше 1
Ступінь захисту	IP 54
Лічильник має середнє напрацювання на відмову, з урахуванням технічного обслуговування	не менше 200 000 год

Основні переваги:

- кількість вимірювальних елементів - 1 або 2 (в якості датчиків струму використовуються шунт і трансформатор);
- можливість установки реле управління навантаженням до 80 А;
- підвищена ступінь захисту від впливу постійних і змінних магнітних полів (СОУ-Н МПЕ 40.1.35.110:2005);
- мале власне енергоспоживання;
- довготривала робота при $U = 380$ В (до 24 годин);
- можливість підключення зовнішнього джерела живлення з напругою від 9 до 15 В для зняття показань за відсутності напруги мережі (в залежності від виконання);
- захист від розкрадань енергії: зворотного напрямку (реверса) струму, неправильних підключень;
- зберігання в незалежній пам'яті подій з міткою дати і часу для багатотарифного виконання;
- можливість відключення навантаження споживача при перевищенні встановлених значень: ліміту потужності, сили струму і напруги, впливу постійного магнітного поля понад 100 мТл і електромагнітного поля більше 10В/м, відключення за несплату;
- можливість установки додаткового модуля інтерфейса: «ZigBee», GSM, RS485 або PLC для дистанційного зчитування даних, програмування лічильників і застосування їх в АСКОЕ [24].

2.3.4 Комутаційний контролер та контролер збору даних

Комутаційний контролер КК-01 (рис. 2.5, табл. 2.4) представляє собою функціональний пристрій, призначений для роботи у складі системи АСКОЕ.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



Рисунок 2.5 – Комутаційний контролер КК-01

Контролер дозволяє зв'язати між собою лічильник електроенергії, обладнаний модулем радіоканала і контролер збору даних.

Передача даних між лічильниками і комутаційним контролером забезпечується через радіоканал стандарту IEEE 802.15.4 (2,4 ГГц), а з контролером збору даних - по одному із заздалегідь вибраних інтерфейсів [25].

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики комутаційного контролера КК-01

Найменування	Параметр
Номінальна напруга живлення $U_{ном}$, В	220
Робочий діапазон напруг, В	від 143 до 253
Потужність споживання, Вт	не більше 5
Номінальна частота мережі, Гц	50
Робоча частота радіомодуля, ГГц	2,4
Вихідна потужність радіомодуля	+17 dBm
Діапазон температури, °С:	від - 40 до +70
Маса, кг	не більше 1

Контролер збору даних КС (рис. 2.6, табл. 2.5) призначений для дистанційного збору, накопичення, і передачі на сервер інформації про спожиту електричну енергію з однофазних і трифазних лічильників електроенергії [26].



Рисунок 2.6 – Контролер збору даних КС

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики контролера збору даних КС

Найменування	Параметр
Максимальна кількість лічильників, що можуть одночасно з'єднуватися з контролером, шт	1000
Обсяг енергонезалежної пам'яті контролера, МБ	300
Обсяг оперативної пам'яті, МБ	60
Частота центрального процесора, МГц	180
Робоча частота радіомодуля, ГГц	2,4
Робочі діапазони GSM/GPRS модема, МГц	900/1800/1900
Вихідна потужність радіомодуля, dBm	+17
Відповідність класам GSM	Class 4 (2 W @ 900 MHz) Class 1 (1 W @ 800/1900 MHz)
Номінальна напруга живлення $U_{ном}$, В	220
Робочий діапазон напруг, В	від 143 до 400
Потужність споживання, Вт	не більше 10
Номінальна частота мережі, Гц	50
Діапазон температури, °C: робочий зберігання	від -25 до +70 від -45 до +80
Відносна вологість повітря при температурі +30 °C, %	не більше 95
Маса, кг	не більше 2

Контролер отримує і обробляє дані, як з самих лічильників електроенергії, так і з комутаційних контролерів, які можуть бути інсталювані в системі в ролі проміжних ланок між лічильниками і контролером збору даних. Управління приладом здійснюється віддалено, через Ethernet мережу або GPRS зв'язок.

2.3.5 Збір даних і їх обробка

У мережах напругою 0,4 кВ знання споживачів електроенергії забезпечує розуміння їх споживчої поведінки, яке останнім часом стало важливим в галузі електропостачання. Володіючи цими точними даними, постачальники електроенергії мають можливість обчислювати баланс споживання, визначати причини втрати, розвивати нові маркетингові стратегії і пропонувати свої послуги на основі споживчого попиту. Одним з найбільш поширених методів, використовуваних в отриманні знань про поведінку споживача - профіль навантаження, визначається як «модель споживання електроенергії абонента або групи абонентів протягом періоду». Профіль навантаження був використаний протягом багатьох років на об'єктах енергетики для розробки тарифів, системи планування та розробки маркетингових стратегій.

У даній роботі для аналізу втрат і виявлення джерела безоблікового споживання електроенергії застосовується інтелектуальний аналіз профілів навантаження. Профіль навантаження кожного абонента будується на базі одержуваних на щодобовій основі збережених в пам'яті лічильників даних за допомогою АСКОЕ. Інтелектуальний аналіз даних одержуваних за допомогою АСКОЕ та спеціалізоване програмне забезпечення дозволить персоналу електромережної компанії оперативно виявляти місця без облікового споживання в лінії електропостачання, що пояснюється на прикладі повітряної лінії (ПЛ) 0,4 кВ.

Методологія дослідження, запропонована в даній роботі з метою розробки інтелектуальної системи виявлення, ідентифікації та прогнозування діяльності по безобліковому споживанню електроенергії показана на рисунку 2.7.

На стадії введення первинних даних по втратах в програмне забезпечення

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

збору даних вносяться дані з технічних втрат для даної трансформаторної підстанції. Як було вже згадано вище, значення технічних втрат виявляється розрахунковим шляхом, затвердженим уповноваженими органами. Також на цій стадії вносяться дані про групи ризику - тобто про тих абонентів, які раніше були замішані в несанкціоноване використання електроенергії. Дана інформація буде використана на стадії виявлення джерела без облікового використання електроенергії.



Рисунок 2.7 – Послідовність дій при виявленні безоблікового споживання

Стадія збору даних описується більш детально і включає в себе роз'яснення об'єкта АСКОЕ. На рисунку 2.8 показана трансформаторна підстанція (ТП), на якій встановлений силовий трансформатор (Т). Живлення трансформатора здійснюється на напрузі вище 1 кВ. До збірних шин (ЗШ) нижчої напруги 0,4 кВ підключений головний лічильник електроенергії (Wh), струмові кола яких приєднані через трансформатори струму (ТС1 ... ТС3) на різні фази відходячої від збірних шин ПЛІ напругою 0,4 кВ. Кожен споживач електроенергії (СЕн) підключений до ПЛІ в місцях кріплення ізоляторів на опорах ПЛІ (опора ПЛ1 ... опора ПЛn) через абонентські лічильники електроенергії (ЛЕ).

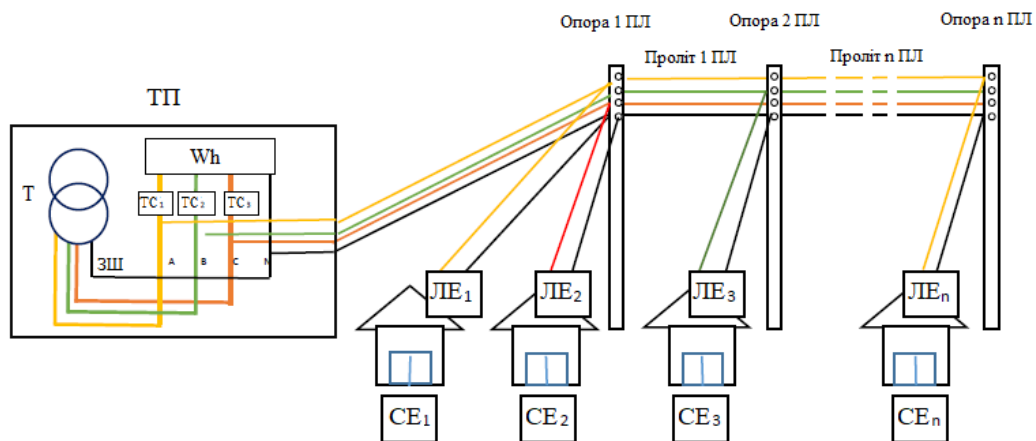


Рисунок 2.8 – Схема повітряної лінії

Вхідний лічильник електроенергії відрізняється від лічильників встановлених у споживачів тим, що встановлюється безпосередньо на шинах ТП і вимірює значення фазних напруг, струмів на вході ліній і споживану в кожній фазі ліній потужність.

З метою збору даних з лічильників електроенергії та зведення балансу по споживанні електроенергії, в базу даних програмного забезпечення АСКОВЕ і в пам'ять ПЗПД вносяться всі дані по ТП і ЛЕ, які включають:

1. Дані по ЛЕ встановлених на ТП і на фідерах;
2. Прізвище, ім'я, по батькові особовий рахунок, адресу, контактні телефони споживача електроенергії;
3. Номер ТП, номер фідера і номер фази з якої отримує електроенергію;
4. Індивідуальний ідентифікаційний номер лічильника електроенергії та його тип;
5. Технічні параметри лічильника електроенергії.

При зборі даних пристроєм збору і передачі даних звернення до лічильника електроенергії відбувається за індивідуальним ідентифікаційним номером. Кожну добу пристрій збору і передачі даних збирає по лінії 0,4 кВ дані зі всіх лічильників встановлених на ТП та у споживачів електроенергії. Ці дані містять в собі споживання на кінець попередньої доби, поточне значення по тарифам і сумарне споживання. Всі отримані дані зберігаються в пам'яті

пристрою збору і передачі даних. За запитом з центрального сервера або за заданим розкладом ПЗПД відправляє всі дані в центральний сервер. На центральному сервері відбувається вся обробка даних, щоб з частотою в кожен день в автоматичному режимі контролювати баланс електроенергії.

На стадії обробки даних і розрахунку втрат, отримані дані проходять попередню обробку. Наприклад:

- перевіряється адекватність отриманих даних - тобто перевіряється значення дельта (різниця). Якщо є нульова різниця між поточним значенням отриманих даних і даних за попередню добу по конкретному абоненту, здійснюється спроба повторного опитування даного абонента і порівнюється з отриманими даними;

- видаляються дані, що мають нульове значення за останні 24 дня.

Стадія класифікації абонентів за питомою вагою має на меті визначення частки споживання від загального споживання електроенергії кожним абонентом по конкретній трансформаторній підстанції 10/0,4 кВ. Дана інформація дасть уявлення про можливе відхилення від середнього споживання електроенергії, в разі будь-яких махінацій з боку споживача електроенергії.

Для цих цілей використовуються наступні дані:

- показання загального лічильника на момент розрахунку, встановленого в якості головного обліку на ТП;
- рівень нормативних втрат;
- показання кожного лічильника на момент розрахунку.

2.4 Принцип побудови АСКОЕ Придніпровської залізниці

АСКОЕ створюється як комерційна система і призначена для вимірювання, збору, обробки, збереження, відображення та документування інформації о постачанні та споживанні електроенергії службами та підрозділами дистанцій електропостачання філії «Придніпровська залізниця».

Об'єктами обліку являються точки комерційного обліку електроенергії, встановленні на межі балансової приналежності дистанцій електропостачання

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

філії «Придніпровська залізниця». Додатковими можливостями АСКОЕ є можливість здійснювати технічний облік електроенергії (тяга, власні потреби тягової підстанції, залізничні та сторонні споживачі).

Система складається з трьох рівнів:

- нижній рівень (НР) АСКОЕ розташовано на тягових та трансформаторних підстанціях і включає в себе комутаційні модулі (КМ) або прилади віддаленого опитування (ПВО) та електронні лічильники обліку електричної енергії;

- середній рівень (СР) АСКОЕ – регіональні сервера ЕЧ-1 (Нікополь), ЕЧ-4 (Запоріжжя), ЕЧ-6 (Кривий Ріг), ЕЧ-7 (Павлоград), котрі включають в себе сервер збору даних (СЗД), сервер бази даних (СБД), автоматизовані робочі місця (АРМ).

- верхній рівень (ВР) АСКОЕ (рівень філії «Придніпровська залізниця») – Центральний сервер АСКОЕ виконує задачі регіонального рівня для ЕЧ-2 (ст. «Нижньодніпровськ-Вузол») та ЕЧ-3 (Верхівцеве).

Процес збору та передачі даних виконується наступним чином: на тих об'єктах, де встановлені комунікаційний модуль (здебільшого це тягові підстанції) в неприливному режимі з інтервалом 3...5 хвилин, збирають інформацію з лічильників електроенергії (півгодинні значення споживання активної, реактивної енергії, добові показники, журнал подій лічильника) і накопичують значення в своїй власній базі даних (БД). Раз на добу з 00:00 до 01:00 регіональний сервер збору даних по комутуваних телефонних лініях та GSM-каналам збирає з КМ інформацію за минулу добу.

На об'єктах, де встановлено ПВО, інформацію з лічильників зчитує безпосередньо сервер через комутаційне обладнання ПВО по GSM-каналам.

Дані з точок комерційного обліку, котрі не заведені в АСКОЕ, додаються в БД в ручному режимі шляхом введення показників знятих з лічильника візуально та переданих диспетчеру Енергозбуту.

Регіональний сервер передає отриману інформацію на центральний сервер АСКОЕ, де після цього формуються макети про споживання електричної енергії і

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

виконується передача макетів відповідним заінтересованим сторонам збору і передачі інформаційних даних від приладів обліку (інтелектуальних лічильників енергії), що мають інтерфейси RS485, RS-422, RS-232, ИППС (струмова петля) до пристрою збору даних автоматизованої системи обліку енергії.

2.4.1 Комунікаційний модуль

Комунікаційний модуль «КМ-64» (рис. 2.9) призначений для організації збору та передавачі інформації в системі АСКУЕ.



Рисунок 2.9 – Фотографія комунікаційного модулю

Функціональні можливості «КМ-64»:

- прийом облікової, оперативної, і діагностичної інформації від інтелектуальних лічильників електроенергії з послідовними UART-сумісними інтерфейсами. Період опитування всіх каналів обліку - від 1 хвилини;
- ведення календарної дати і часу, автоматичний перехід зима-літо;
- корекцію часу по команді з верхнього рівня АСКОЕ;
- автоматичну синхронізацію часу приладів обліку по внутрішнім годинником «КМ-64»;

- зберігання облікової інформації по всіх каналах обліку в незалежній пам'яті, гарантію незмінності облікових даних, що забезпечується конструкцією пристрою;
- парольний захист облікової інформації на читання;
- формування груп обліку;
- формування графіка навантаження (ГН) при роботі зі спрощеними приладами обліку, які не обладнані блоком ГН;
- розрахунок споживання електроенергії по зонах доби при роботі зі спрощеними приладами обліку, які не обладнані блоком зонного обліку;
- розрахунок споживання електроенергії по звітних періодах при роботі з приладами обліку, які не обладнані блоком архівування покарань по звітних періодах;
- каскадне підключення декількох «КМ-64» до одного каналу зв'язку з ВР АСКОВ. Каскадне включення виконується через UART або Ethernet порт;
- передачу інформації за запитом (або події) на ВР АСКОВ в уніфікованому протоколі або в режимі емуляції протоколу приладу обліку одночасно за кількома напрямками - через UART або Ethernet порт;
- режим прямого доступу до приладів обліку з ВР АСКОВ та арбітраж доступу до приладів обліку декільком абонентам;
- підтримку резервного каналу зв'язку з ВР;
- можливість комплектації вбудованими ТЧ і GSM модемами;
- роботу по протоколу TCP/IP - через UART або Ethernet порт;
- автоматичне тестування і діагностика УСПД, приладів обліку, каналоутворюючого обладнання, каналів зв'язку, ведення журналу подій УСПД;
- висновок сигналізації про працездатність на зовнішні світлові індикатори;
- дистанційна конфігурація і моніторинг - через UART або Ethernet порт.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

До основних елементів «КМ-64» належить процесорний модуль з двома асинхронними портами (UART) RS-232, модуль мультипортовий з чотирма асинхронними портами RS-232, систему безперебійного електроживлення, що забезпечує роботу «КМ-64» при відключенні напруги живлення, модуль УС-LPT-2М, що забезпечує режим індикації роботи «КМ-64» і апаратне перевантаження модулів зв'язку з ВУ, Ethernet порт із зовнішнім роз'ємом. На модулях встановлених на тягових підстанціях додатково встановлюється термостатний модуль та GSM модем. Для роботи з приладами обліку, що підтримують інтерфейс RS-485 (RS-422), в «КМ-64» використовується модуль перетворювача інтерфейсу RS-485 типів I-7520AR або універсальний УМИ. Для роботи з приладами обліку, що підтримують інтерфейс ІРПС (4-х провідний або 2-х провідної), використовується модуль перетворювача інтерфейсу УМИ.

Процесорний модуль призначений для управління роботою пристроїв зв'язку з ВР і модулем мультипортових ICOP-1800. Процесорний модуль також забезпечує виконання функцій прийому і передачі даних, контролю і діагностики складових частин комунікаційного модуля. Як процесорний модуль застосовується модуль ICOP-6070. Модуль мультипортових ICOP-1800 призначений для збільшення числа послідовних портів. Зовнішній вигляд та характеристики представлені відповідно на рисунку 2.10 та у таблиці 2.6.

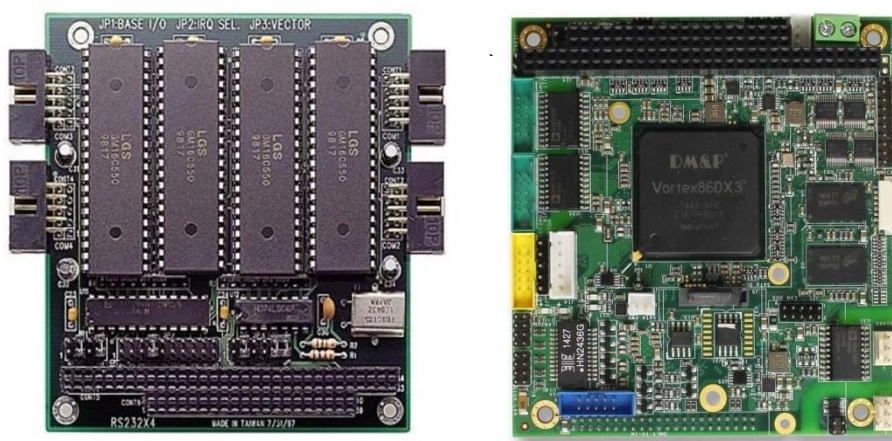


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд мультипортового ICOP-1800 (а) та процесорного модулю ICOP-6070 (б)

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики ICOP-6070 та ICOP-1800

Найменування	Параметр
Процесорний модуль ICOP-6070	
Процесор	Vortex86-166MHz
Обсяг RAM, Мбайт	64
Кількість портів RS-232	2
Кількість паралельних портів	1
FDD інтерфейс	1
HDD інтерфейс	1
Шина інтерфейсу	PC-104
Напруга живлення, В	5
Споживаний струм не більше, А	1,2
Габаритні розміри, мм	90x96x25
Діапазон робочих температур, °С	-20 ... +60
Мультипортний модуль ICOP-1800	
Кількість портів RS-232	4
Підтримка сигналів	TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, GND
Швидкість передачі, Кбіт / с	50...115,2
Шина інтерфейсу	PC104
Напруга живлення, В	5
Споживаний струм не більше, А	80
Маса, кг	0,08
Габаритні розміри, мм	90 x 96 x 19
Діапазон робочих температур, °С	-20 ... +55

Для підключення різних додаткових пристроїв введення-виведення модуль процесорний оснащений інтерфейсною шиною PC-104. Для зберігання програм і даних процесорного модуля служить Flash-диск з інтерфейсом IDE (рис.2.7).



Рисунок 2.11– Flash-диск з інтерфейсом IDE (IDEFlashDrive)

Під управлінням програм процесорного модуля відбувається виконання всіх функцій, покладених на «КМ-64». Живлення процесорного модуля відбувається від джерела постійного струму +5 В. На відміну від звичайного процесора процесорний модуль має інтегровані пристрої. Конструктивно виконаний на друкованій платі розміром 90х96 мм.

Після включення електроживлення модуля проводиться його тестування і, після успішного завершення тестування, у RAM (ОЗП) з Flash-диска автоматично записується керуюча програма (Windows NT). Після її запуску процесорний модуль переходить в основний режим роботи, в якому він знаходиться до виключення живлення. У разі «зависання» керуючої програми таймер через деякий час виконує перезавантаження процесора.

Модуль послідовних портів ICOP1800 виконаний на стандартній друкованій платі з шиною PC104 розміром 96х90 мм і містить наступні функціональні вузли:

- інтерфейс шини PC-104;
- адресний селектор;
- чотири UART

Модуль універсального перетворювача інтерфейсу УМИ-3 призначений для перетворення інтерфейсу RS-232 в інтерфейс «струмова петля» ІРПС, RS-485/422, RS-232, а також для гальванічної розв'язки між «КМ-64» і приладами обліку.

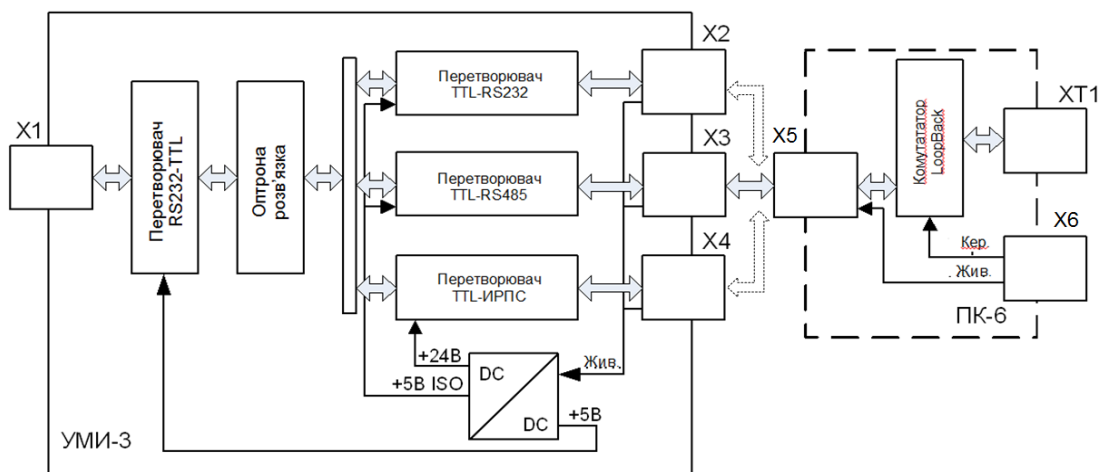
Для підключення до модуля живлення і зовнішніх ланцюгів інтерфейсних ліній модуль комплектується додатковою клемною платою ПК-6.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Основні технічні характеристики модуля УМИ наведені в таблиці 2.7. Структурна схема пристрою представлена на рисунку 2.12.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики УМИ-3

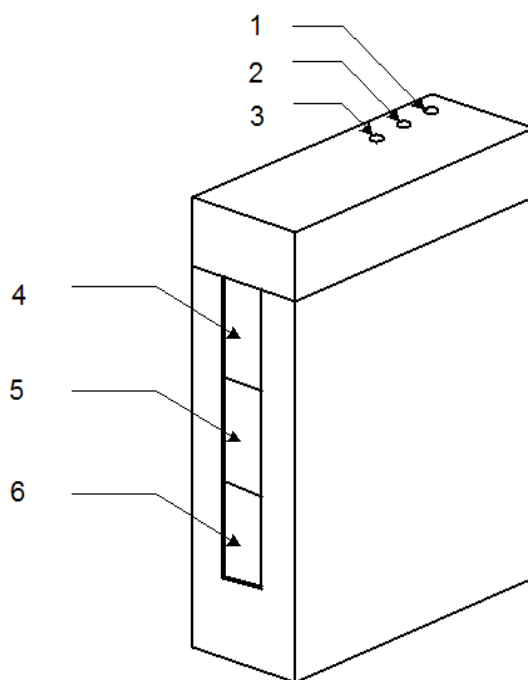
Найменування	Параметр
Вхідний інтерфейс	RS-232
Вихідний інтерфейси	RS-232, RS-485/4222-х/4-х, ІРПС 20 мА
Перемикання в режим передачі	автоматичне
Швидкість передачі інформації, Кбіт / с	0,3 ... 115,2
Напруга ізоляції не менше, В	3000
Напруга живлення, В	12
Споживана потужність не більше, Вт	0,2
Опір лінії не більше, кОм	3
Габаритні розміри не більше, мм	140 x 140 x 70
Діапазон робочих температур, °С	-10 ... +70



X1 – роз’єм для підключення до мультипортової плати; X2 – роз’єм для підключення лічильників з інтерфейсом RS-232; X3 – роз’єм для підключення лічильників з інтерфейсом RS-485/422; X3 – роз’єм для підключення лічильників з інтерфейсом «стумова петля»; X5 – вихідний порт плати ПК-6; X6 – роз’єм живлення ПК-6 та перемикання у режим LoopBack; XT1 – клемна колодка підключення інтерфейсних ліній до пристроїв обліку

Рисунок 2.12 – Структурна схема модуля УМИ-3 та ПК-6

Модуль конструктивно виконаний на друкованій платі, яка встановлена в пластмасовий корпус (рис. 2.13).



- 1 – світлодіод-індикатор живлення; 2 – світлодіод-індикатор приймання сигналу;
3 – світлодіод-індикатор передачі сигналу; 4 – порт інтерфейсу RS232;
5 – порт інтерфейсу RS485; 6 – порт інтерфейсу «струмова петля»

Рисунок 2.13 – Загальний вигляд УМИ-3

На бічні сторони корпусу виведені з'єднувачі X1 (див рис. 2.13), для підключення до послідовного порту контролера (інтерфейс RS-232), і X2...X4, для підключення живлення і зовнішніх кіл інтерфейсних ліній. Для індикації режиму прийому передачі на модулі виведені світлодіодні індикатори прийому «Rx», передачі «Tx» і наявності живлення. На платі розміщені перетворювач напруги, опорна розв'язка і три перетворювача інтерфейсів. Напруга живлення 10...36 В подається через роз'єм X2 клемної плати, а потім через відповідний з'єднувач на імпульсний стабілізатор на мікросхемі і перетворюється в напругу плюс 5 В, яка використовується для живлення первинного перетворювача сигналів RS232 в рівні TTL. Мікросхемою вхідна напруга перетворюється в напругу плюс 24 В (використовується для живлення вихідних каскадів інтерфейсу ИРПС), з якої імпульсним стабілізатором напруга плюс 5 ISO для живлення

вторинних ланцюгів модуля. Первинний перетворювач рівнів RS-232 в рівні TTL виконаний на мікросхемі, яка живиться від джерела плюс 5 В, необхідні рівні напруг інтерфейсу RS-232 забезпечуються вбудованим перетворювачем напруги мікросхеми. Оптрони забезпечують необхідну гальванічну розв'язку інтерфейсних сигналів TTL-рівня. Гальванічно розв'язані сигнали інтерфейсу і напруги живлення подаються на перетворювач інтерфейсів та індикатори прийому і передачі інформації по лініях Rx і Tx, виконані на інверторах і світлодіодах.

Вибір типу інтерфейсу проводиться з'єднанням відповідного роз'єму модуля з роз'ємом X5 блоку ПК-6. При підключенні до роз'єму X2 модуля, модуль працює в режимі RS-232 і сигнали цього інтерфейсу підключаються до мікросхеми, яка забезпечує перетворення рівнів TTL в рівні інтерфейсу RS-232.

При підключенні до середнього роз'єму X3 модуля, модуль працює у режимі RS-485/RS-422 і сигнали цього інтерфейсу підключаються до мікросхем, що забезпечує перетворення рівнів TTL в диференціальні сигнали інтерфейсів RS-485/RS-422. При підключенні до нижнього роз'єму X4 модуля, модуль працює в режимі ІРПС і CS. Модуль працює в режимі з активними приймачем і передавачем. Струм 20 мА для передавача і приймача забезпечується каскадами на транзисторах. Вибір типу інтерфейсу ІРПС або CS здійснюється схемою підключення до роз'єму X4.

Вузол тестової петлі (LoopBack) розташований поза модулем (на клемній платі ПК-6) і виконаний на реле і керуючому каскаді на транзисторі на клемній платі ПК-6. Вузол забезпечує подачу вихідних сигналів інтерфейсів на клемну колодку XT1 в робочому режимі або комутацію сигналів інтерфейсів з виходу передавачів на вхід приймачів, що дозволяє перевірити наскрізне проходження сигналів через кожен перетворювач інтерфейсів в режимі LOOPBACK. Даний режим включається з'єднанням виводів 2 і 9 роз'єму X3.

Для захисту модуля від впливу підвищеної напруги на платі ПК-6 з боку зовнішніх ланцюгів (з боку роз'єму XT1) встановлені захисні субресори, що забезпечують «поглинання» надлишкової енергії до безпечного рівня.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Модуль зв'язку з ВР GSM/GPRS виконаний на базі GSM-модему «Fastrack» M1206B (рис 2.14) і призначений для організації каналу зв'язку між «КМ-64» і сервером збору даних по радіоканалу GSM.



Рисунок 2.14 – Зовнішній вигляд GSM-модему «Fastrack» M1206B

Резервний пристрій зв'язку з ВР 4-х провідний модем IDC 5614 BXL/VR з інтерфейсним, лінійними кабелями і адаптером (блоком живлення), забезпечує прийом даних зі швидкістю до 56000 біт/с, передачу даних зі швидкістю до 33600 біт/с. Характеристики GSM-модему показано у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики GSM-модему «Fastrack» M1206B

Найменування	Параметр
Стандарт	GSM900 МГц (2Вт) GSM 1800/1900 МГц (1Вт)
Вхідний опір, Ом	50
Інтерфейс послідовного порту	RS-232
Швидкість передачі по радіоканалу, Кбіт/с	9600
Напруга живлення, В	5...32
Струм навантаження (середній), мА	330
Габаритні розміри не більше, мм	110x 54x25
Діапазон робочих температур, °С	-20 ... +55
Маса, кг	0,13

Пристрій перезавантаження УС-LPT-2М призначений для установки в комунікаційний модуль «КМ-64» і виконує наступні функції:

- періодичне перезавантаження мікропрограм каналотворюючої апаратури КМ-64 (модеми) під управлінням команд зовнішнього процесора;
- формування сигналу управління світлодіодами, що вказують на режим роботи «КМ-64»;
- формування сигналу скидання зовнішнього модуля центрального процесора, при збої в програмному забезпеченні, шляхом видачі команди повторного включення. Команда ПВ формується, шляхом розмикання контактів вбудованого реле, на час 8 с в ланцюзі живлення модуля центрального процесора КМ-64, проводиться виробом апаратно.

Термостат встановлюється в комунікаційному модулі з внутрішньої сторони дверей шафи для забезпечення роботи при впливі негативних температур. Модуль термостат складається з термореле і нагрівача. При зниженні температури всередині виробу до температури виставленої на регуляторі термореле включається нагрівач. При перевищенні температури в виробі виставленої на регуляторі термореле нагрівач вимикається, чим забезпечується робота виробу при температурі нижче плюс 5°C.

Максимальна кількість приладів обліку, що підключаються до «КМ-64»: 8 за інтерфейсом RS232, 64 за інтерфейсом RS422, 64 за інтерфейсом RS485, 32 за інтерфейсом CS/ІРПС.

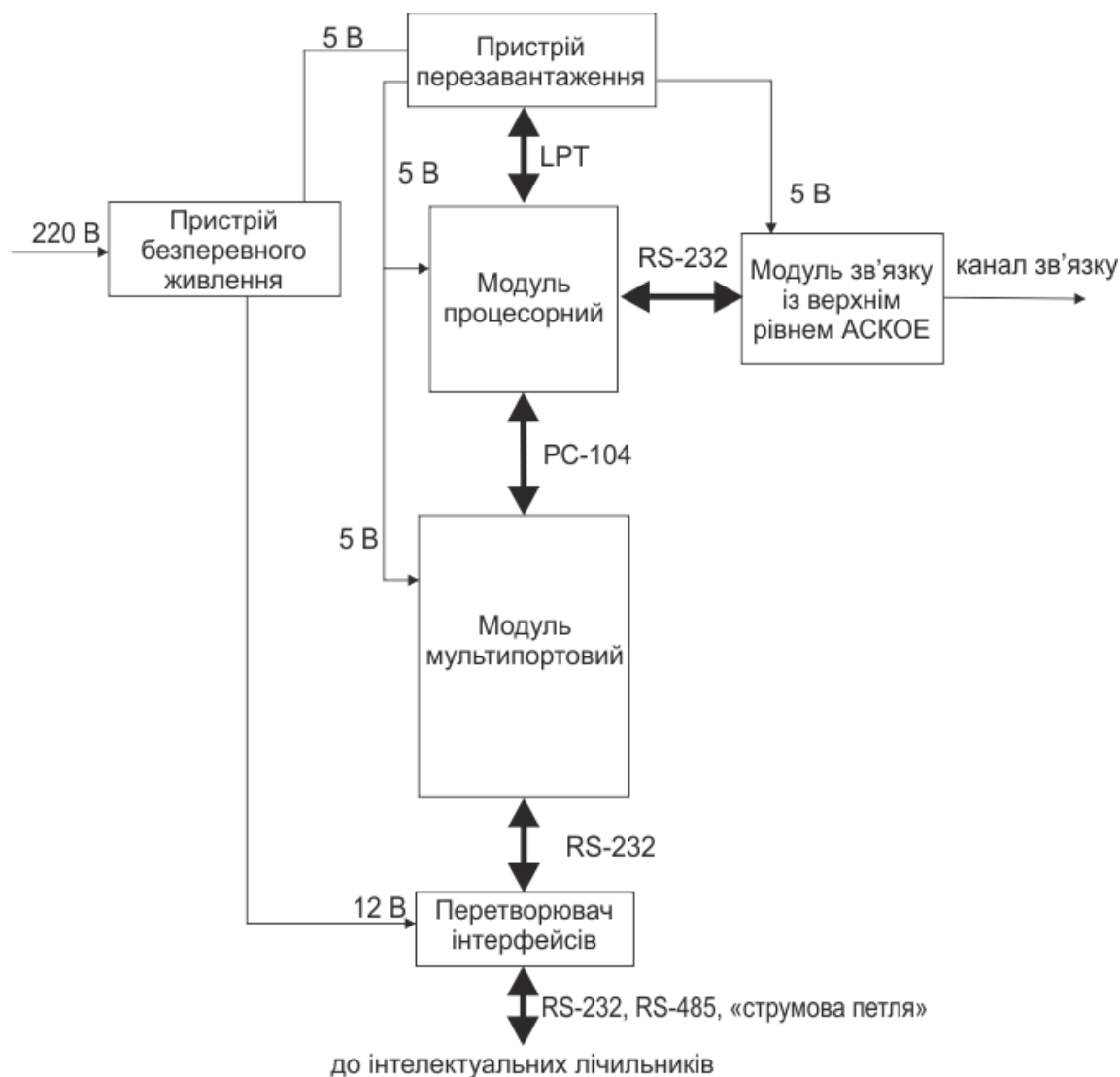
Живлення «КМ-64» від мережі змінної напруги 220 В. Елементи комунікаційного модулю живляться від напруги 5 та 12 В, яку вони отримують або безпосередньо від блока живлення, або від пристрою перезавантаження УС-LPT-2М. На рисунку 2.15 позначені провідні інтерфейси, які забезпечують передачу інформації між елементами «КМ-64» та лічильниками електричної енергії.

Для забезпечення можливості підключення до комунікаційного модулю лічильників різних типів, із різними комунікаційними інтерфейсами, «КМ-64»

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

обладнаний декількома УМІ-3 та ПК-6. Кожний із комплектів підключений до лічильників із одним інтерфейсом. Процесорний модуль керує процесом збору та передачі інформації.

Взаємодія основних елементів комунікаційного модулю можна проілюструвати структурною схемою зображеною на рисунку 2.15.



LPT – паралельний інтефейс, що відповідає міжнародному стандарту для підключення периферійних пристроїв персонального комп'ютера; RS-323 – стандарт інтерфейсу обміну даними між двома пристроями шляхом послідовної передачі даних; RS-485 – стандарт передачі даних двопровідним напівдуплексним багато точковим послідовним каналом зв'язку; «струмова петля» – послідовний асинхронний інтерфейс, який забезпечує передавання інформації в старт-стопному режимі постійним струмом; PC-104 – шина розширення;

Рисунок 2.15– Спрощена структурна схема КМ-64

Робота «КМ-64» в режимі «завантаження» і «основна робота» здійснюється автоматично після включення живлення виробу, перехід в режим «Тест» здійснюється по команді оператора.

Після включення живлення виробу проводиться завантаження робочих програм. У процесі завантаження робочої програми проводиться самодіагностика модулів виробу, результати якої відображається на світлодіодному індикаторі «режим».

Для цієї мети в виробі на передній стороні дверцят шафи встановлений здвоєний червоно-зелений світлодіод, що забезпечує світіння трьома кольорами: червоний, жовтий, зелений.

Перехід в режим «основна робота» свідчить про справність і нормальне функціонування пристрою.

У режимі «основна робота» «КМ-64» виробляє періодичне опитування пристроїв обліку та збереження отриманих від них даних, що включають в себе дані опитаних приладів за вибраний часовий інтервал на Flash-диску процесорного модуля.

При передачі даних, що надходять з верхнього рівня виробу здійснює «видачу» зібраної інформації на сервер ВР.

Передача зібраної інформації на сервер ВР здійснюється за допомогою пристроїв зв'язку з ВР (модемів) вбудованих в виріб.

Для обслуговування та настройки виробу при експлуатації на його нижній стороні ліворуч установлений стандартний з'єднувач «Lan», що дозволяє підключати до виробу технологічну ПЕОМ, при цьому необхідно користуватися спеціальним ПЗ, встановленому на технологічній ПЕОМ: «Термінал УСД КМ».

2.4.2 Сервер АСКОЕ

Верхній рівень включає один або кілька комп'ютерів-серверів, об'єднаних в загальну локальну мережу, з програмним забезпеченням ТОВ «Хартеп» встановленого на базі операційної системи Windows Server. Сервер АСКОЕ змонтований на телекомунікаційній стійці – конструкції каркасного типу,

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

призначеної для зручного, компактного, технологічного і безпечного кріплення телекомунікаційного обладнання. Безпосередньою експлуатацією серверу займається диспетчерська група АСКОЕ, що входить у склад регіонального відділення Енергозбуту залізниці.

Сервер представляє собою ЕОМ, подібну до персонального комп'ютеру, із відповідним периферійним устаткуванням (пристроями вводу-виводу інформації). Основною відмінністю є наявність каналоутворюючого обладнання. Для утворення каналу зв'язку між комунікаційним модулем та сервером до останнього через розмножувач портів NPort 5610/5630 (рис. 2.16) підключенні GSM-модеми «Fastrack» M1206B.



Рисунок 2.16 – Сервер доступу для пристроїв з послідовним інтерфейсом Serial – Ethernet NPort 5610/5630

Серія NPort 5610/5630 забезпечує зручний і простий шлях підключення до 16 пристроїв з послідовним інтерфейсом RS-232/422/485 до Ethernet для побудови індустріальних мереж управління. Крім того, серія NPort 5610/5630 забезпечує двосторонню передачу даних між пристроями з послідовним інтерфейсом і Ethernet. Пристрій дозволяє також централізувати управління послідовними пристроями і керувати через мережу.

З метою резервування та зменшення часу опитування точок обліку застосовується 17 модемів (рис. 2.17). Тривалість періоду опитування всіх точок обліку становить 60 хв.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Рисунок 2.17 – GSM-модеми «Fastrack» M1206B встановленні у серверній стійці

Диспетчеру АСКОЕ сторонні споживачі, що мають відповідне обладнання (АСКОЕ або ЛУЗОД), повинні надавати доступ до цього обладнання.

Основне програмне забезпечення за допомогою якого проводиться опитування точок обліку є «АРМ АСКОЕ».

Програмне забезпечення АСКОЕ призначене для реалізації (спільно з технічними засобами АСКОЕ) наступних функціональних завдань:

- оперативний автоматичний контроль і облік параметрів споживання і параметрів міжсистемних перетоків електроенергії по кожній точці (групі) обліку з заданим періодом контролю;
- зберігання параметрів обліку в базі даних з додатковою можливістю архівації інформації на зовнішніх носіях;
- багатотарифний (до 4-х тарифних зон протягом доби) облік споживання електроенергії і погодинний облік міжсистемних перетоків електроенергії;
- контроль дотримання лімітів енергоспоживання;
- обмін даними між суб'єктами АСКОЕ.

Параметри споживання, контрольовані і враховуються ПО АСКОЕ по кожній групі або точці обліку:

- значення спожитої електроенергії (окремо за тарифними зонами і в цілому за добу, місяць, рік);
- значення спожитої і виданої реактивної енергії (окремо за тарифними зонами і в цілому за добу, місяць, рік);

- еквівалентне значення показань лічильників електроенергії на початок кожної доби (спожита активна енергія окремо за тарифними зонами, спожита і видана реактивна енергія);
- значення усередненої спожитої активної потужності за кожен інтервал часу, початок якої кратний, а тривалість дорівнює періоду контролю;
- значення усередненої спожитої і виданої реактивної потужності за кожен інтервал часу, початок якої кратний, а тривалість дорівнює періоду контролю;
- значення чинного ліміту потужності, розрахункового базового навантаження, дозволеного навантаження і відхилення фактичного навантаження від дозволеного (визначається для всіх груп обліку за кожен інтервал часу, початок кратно, а тривалість дорівнює періоду контролю).

Програмне забезпечення автоматизованого робочого місця (ПО АРМ) АСКОЕ призначене для організації зручного доступу до даних сервера бази даних АСКОЕ. ПО АРМ основної програми інтерактивного доступу до даних і основна частина документа присвячена опису роботи з її оболонкою.

ПО АРМ виконує наступні функції:

- відображення інформації з обліку електроенергії та функціонування системи на дисплеї за запитом оператора;
- документування інформації з обліку електроенергії на принтері за запитом оператора;
- редагування і введення даних в БД (при необхідності) оператором АСКОЕ;

Комплекс завдань формування та перегляду екранних форм відноситься до групи завдань отримання вихідної інформації АСКОЕ, яка є основною з точки зору спілкування АСКОЕ з користувачами.

Вихідна інформація в АСКОЕ може бути отримана користувачем у вигляді:

- екранних форм;
- звітних документів.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Кожен вид вихідної інформації дозволяє отримати і проаналізувати всі необхідні користувачу відомості. Відмінність вихідної інформації у вигляді звітних документів полягає в тому, що користувачеві надається друкований документ, який може бути більш детальним і, тому, більш зручним для подальшого аналізу і вжиття заходів. Звітний документ може бути підшитий до відповідної книги документації або відісланий іншим споживачам інформації. Екранні форми виводять запитувану інформацію, як правило, з одночасним графіком зміни параметрів і, тому, можуть бути більш наочними для візуального сприйняття. Кожен вид вихідної інформації АСКОЕ доповнює один одного. Наприклад, може бути проаналізована ситуація з екранній формі, а потім для документальної її фіксації, або для отримання більш детальних відомостей з метою подальшого аналізу роздруковується звітний документ аналогічного змісту.

Екранні форми призначені для візуального відображення на екрані дисплея параметрів, контрольованих і врахованих АСКОЕ по групам і точкам обліку, а також перегляду інформації журналів. Структурно кожна екранна форма містить такі реквізити:

- найменування групи або точки обліку;
- найменування інтервалу вибірки;
- найменування екранної форми;
- таблицю результатів вибірки по кожному елементу групи обліку;
- графік зміни обраних величин по інтервалу вибірки.

У кожній екранній формі користувач може задати часовий інтервал, за який буде здійснюватися вибірка інформації.

Розроблено екранні форми з вибіркою інформації в наступних інтервалах часу:

- за рік;
- за місяць;
- за добу;

- за годину.

Для екранних форм з вибіркою за рік підсумковий стовпець таблиці результатів вибірки містить результат вибірки за весь рік із зазначенням обраного року. Всі інші стовпці містять результати вибірки за кожен місяць заданого року (від січня до грудня). Графік будується за весь рік, по осі часу - назви місяців.

Для екранних форм з вибіркою за місяць підсумковий стовпець містить результат вибірки за заданий місяць із зазначенням найменування місяця. Всі інші стовпці містять результати вибірки за кожне число заданого місяця. Графік будується за місяць, по осі часу - числа місяця від 01 до 30 (або 31).

Для екранних форм з вибіркою за добу підсумковий стовпець містить результат вибірки за вибрані добу із зазначенням конкретної дати. Всі інші стовпці містять 10 результатів вибірки за кожні півгодини заданих діб. Графік будується за добу, по осі часу - півгодини від 00:30 до 24:00.

Користувач може задати інтервал вибірки даних (рік, місяць, добу) безпосередньо в спеціальній екранній формі задання параметрів вибірки при вибірці групи/точки обліку, профілю і дати. Другий варіант завдання інтервалу вибірки здійснюється шляхом натискання правої кнопки миші безпосередньо на екранній формі. На екранній формі з інтервалом вибірки рік при натисканні правої кнопки миші на назві будь-якого місяця (наприклад, січень) відбувається перехід на екранну форму наступного рівня тимчасової деталізації (з інтервалом вибірки за місяць). На екранній формі з інтервалом вибірки місяць при натисканні правої кнопки миші на назві конкретної дати місяця (наприклад, 01.08) відбувається перехід на екранну форму нижчого рівня тимчасової деталізації (з інтервалом вибірки за добу). На екранній формі з інтервалом вибірки доба при натисканні правої кнопки миші на назві конкретної півгодини доби (наприклад, 00:30) відбувається перехід на екранну форму останнього рівня тимчасової деталізації (з інтервалом вибірки за годину).

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НЕПОБУТОВОГО СПОЖИВАЧА

3.1 Переваги штучних нейронних мереж для прогнозування зміни часових рядів

На сьогоднішній день відомо багато методів довгострокового прогнозування енергоспоживання. Одним з найпоширеніших є математико-статистичний метод передбачення часових рядів. Розрахунок виконується на регресійних багатофакторних моделях з обов'язковим попереднім статистичним аналізом і з використанням великої сукупності статистичних даних.

У методичному плані основним інструментом будь-якого прогнозу є схема екстраполяції. Розрізняють формальну і прогнозну екстраполяцію. Формальна базується на припущенні про збереження в майбутньому минулих тенденцій розвитку об'єкта прогнозу. При екстраполяції фактичний розвиток ув'язується з гіпотезами про динаміку досліджуваного процесу з урахуванням в перспективі його фізичної і логічної сутності.

Основу екстраполяційних методів [28] прогнозування становить вивчення часових рядів, що представляють собою впорядковані в часі набори вимірювань тих чи інших характеристик досліджуваного об'єкта.

Найбільш поширеними методами оцінки параметрів залежностей є метод найменших квадратів і його модифікації, метод експоненціального згладжування, метод імовірнісного моделювання та метод адаптивного згладжування.

Суть методу найменших квадратів полягає в знаходженні параметрів моделі тренду, що мінімізують її відхилення від точок вихідного часового ряду

$$S = \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_i) \rightarrow \min ,$$

де $\bar{y}_i$ - розрахункові значення вихідного ряду;

y_i - фактичні значення вихідного ряду;

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

n - число спостережень.

Використання процедури оцінки, заснованої на методі найменших квадратів, передбачає обов'язкове задоволення цілого ряду передумов, невиконання яких може призвести до значних помилок.

Основні переваги методу експоненціального згладжування полягають в можливості обліку ваг вихідної інформації, в простоті обчислювальних операцій, в гнучкості опису різних динамік процесів. Метод експоненціального згладжування дає можливість отримати оцінку параметрів тренда, що характеризують не середній рівень процесу, а тенденцію, що склалася до моменту останнього спостереження. Найбільше застосування метод знайшов для реалізації середньострокових прогнозів.

Вираз

$$S_t^{[k]} = \alpha \sum_{i=0}^n (1-\alpha)^i S_{t-1}^{[k]}(y)$$

називається експоненціальною середньою k -го порядку для ряду y_t , де α - параметр згладжування.

При визначенні параметра згладжування: зі зменшенням α зменшується середньоквадратична помилка, але при цьому зростає помилка в початкових умовах, що в свою чергу впливає на точність прогнозу. У ряді випадків параметр α вибирається таким чином, щоб мінімізувати помилку прогнозу, розрахованого за ретроспективною інформацією.

Прогнозування з використанням імовірнісних моделей базується на методі експоненціального згладжування. Імовірнісні моделі за своєю суттю відмінні від екстраполяційних моделей часових рядів, в яких основою є опис зміни в часі процесу. У часових рядах моделі являють собою деяку функцію часу з коефіцієнтами, значення яких оцінюються за спостереженнями. В імовірнісних моделях оцінюються ймовірності, а не коефіцієнти.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Процес, який реалізує оцінки ймовірностей, описується вектором згладжування за формулою:

$$\bar{p}(t) = \alpha \bar{u}_k + (1 - \alpha) \bar{p}(t-1).$$

Кожна компонента вектора змінюється за законом простого експоненціального згладжування між нулем і одиницею. Якщо вектор $p(t-1)$ імовірнісний, то всі його компоненти повинні бути невід'ємними і їх сума повинна дорівнювати 1. Значення оцінки $p_k(t)$ є результат експоненціального згладжування, і якщо розподіл ймовірностей спостережень $x(t)$ не змінюється, то одержувані ймовірності і будуть дійсними можливостями k -го події.

При достатній кількості вихідної інформації ймовірнісна модель може дати цілком надійний прогноз. Крім того, ця модель відрізняється великою простотою і наочністю. Оцінки, одержувані за допомогою цієї моделі, мають цілком конкретний зміст. Недоліком моделі є вимога великої кількості спостережень і незнання початкового розподілу, що може привести до неправильних оцінок. Проте, при визначенні процедури початкового розподілу або за допомогою байєсівського методу, коректуючи його, можна розглядати вірогідну модель як ефективний метод прогнозу.

Одним з найбільш поширених способів отримання багатфакторних прогнозів є згадуваний раніше класичний метод найменших квадратів і побудова на його основі моделі множинної регресії. Для лінійного випадку модель множинної регресії записується у вигляді

$$y_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \varepsilon_j,$$

де α - коефіцієнти моделі;

y_j, x_i - відповідно значення j -й функції (залежної змінної) і i -й незалежної

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

змінної;

$i = 0, n; j = 1, N$, - випадкова помилка;

n - число незалежних змінних в моделі (в ряді випадків вважається, що α_i - вільний член і $x_{0j} = 1$).

Авторегресійна модель (AR) (англ. Autoregressive model) - модель часових рядів, у якій значення часового ряду в даному певному моменту часу залежать від попередніх значень цього же ряду. Авторегресійний процес порядку p (AR (p)) - процес) визначає наступний чином

$$\varepsilon_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i} + \delta_t,$$

де α - деякий числовий коефіцієнт, що не перевищує за абсолютною величиною одиницю;

δ_t - послідовність випадкових величин, що утворює білий шум.

Модель рухомого середнього (moving-average model) порядку q (MA (q)) - модель часового ряду виду:

$$\varepsilon_t = \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \delta_t,$$

де θ - деякий числовий коефіцієнт, що не перевищує за абсолютною величиною одиницю;

δ_t - послідовність випадкових величин, що утворює білий шум.

Один і той же загальний лінійний процес може бути представлений або у вигляді AR-моделі нескінченного порядку, або у вигляді MA-моделі нескінченного порядку. Представлення процесу типу MA у вигляді процесу авторегресії недоцільно з точки зору його параметризації. Аналогічно процес AR не може бути економічно представлений за допомогою моделі змінного

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

середнього. Тому для отримання економічної параметризації іноді буває доцільно включити в модель як члени, що описують авторегресію, так і члени, що моделюють залишок у вигляді змінного середнього і називаються процесами авторегресії - рухомого середнього порядку (p, q) (ARMA (p, q)). Модель авторегресії - проінтегрованим рухомих середнім (ARIMA (p, k, q)) – модель. Вона призначена для опису нестационарних часових рядів. ARIMA (p, k, q) - модель аналізованого процесу. AR, MA, ARMA, ARIMA-моделі засновані на сімействі методів Боксу-Дженкінса. У класичному варіанті ARIMA не використовуються незалежні змінні. Моделі спираються тільки на інформацію, що міститься в передісторії прогнозованих рядів, що обмежує можливості алгоритму. У методології ARIMA передбачається будь-яка чітка модель для прогнозування даної тимчасової серії.

Штучні нейронні мережі – це елемент програмного коду, що формує нейронну сітку. Кожний нейрон сприймає вхідні дані, опрацьовує їх, та передає далі за допомогою «синапсу». Такі нейрони — це базові одиниці штучного інтелекту. Нейронна мережа — комп’ютерна реалізація мозку людини.

Аналіз всіх існуючих методів прогнозування споживання електроенергії на довгостроковий період показує, що найкращим для вирішення поставленого завдання є використання нейронних мереж.

Переваги використання нейронної мережі:

- нелінійність (дозволяє встановлювати складні залежності вихідних даних від вхідних, що дає меншу похибку прогнозування в порівнянні з іншими методами);
- самонавчання мережі по наданій їй вибірці з оцінкою значимості кожного наданого фактора;
- узагальнююча здатність;
- адаптивність (мережа може бути додатково навчена при надходженні нових даних, що забезпечує гнучке підстроювання під умови, що змінилися).

Штучна нейронна мережа являє собою пристрій паралельних обчислень,

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

що складається з взаємодіючих простих елементів – нейронів. Кожен нейрон має справу тільки з періодично одержуваними сигналами і сигналами, які він періодично посиляє іншим нейронам; проте, будучи з'єднаними в досить велику мережу з керованою взаємодією, такі прості елементи здатні вирішувати складні завдання.

Таким чином, при використанні нейронної мережі для довгострокового прогнозування електроспоживання відпадає необхідність в зборі великої кількості вихідних даних.

Процес прогнозування навантажень, за допомогою нейронних мереж, складається з наступних основних етапів:

- підбір архітектури нейронної мережі (кількість вхідних і вихідних нейронів, число прихованих шарів і ін.);
- вибір навчальних даних (поділ навантажень за характерними днями - робочі, вихідні, тимчасова глибина навчальної вибірки, облік сезонності і т.п.);
- тренування нейронної мережі, її тестування з контрольними даними і при необхідності донавчання мережі;
- використання мережі для прогнозування навантаження;
- можливість навчання та коригування мережі за результатами її використання.

3.2 Прогнозування споживання електроенергії з використанням штучної нейронної мережі

Для дослідження взято погодинний графік елетроспоивання непобутового споживача отриманий за допомогою системи автромаічного обліку електроенергії за період з 01.05.2020 до 31.07.2020. Графік електроспоживання показано на діаграмі рис. 3.1.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

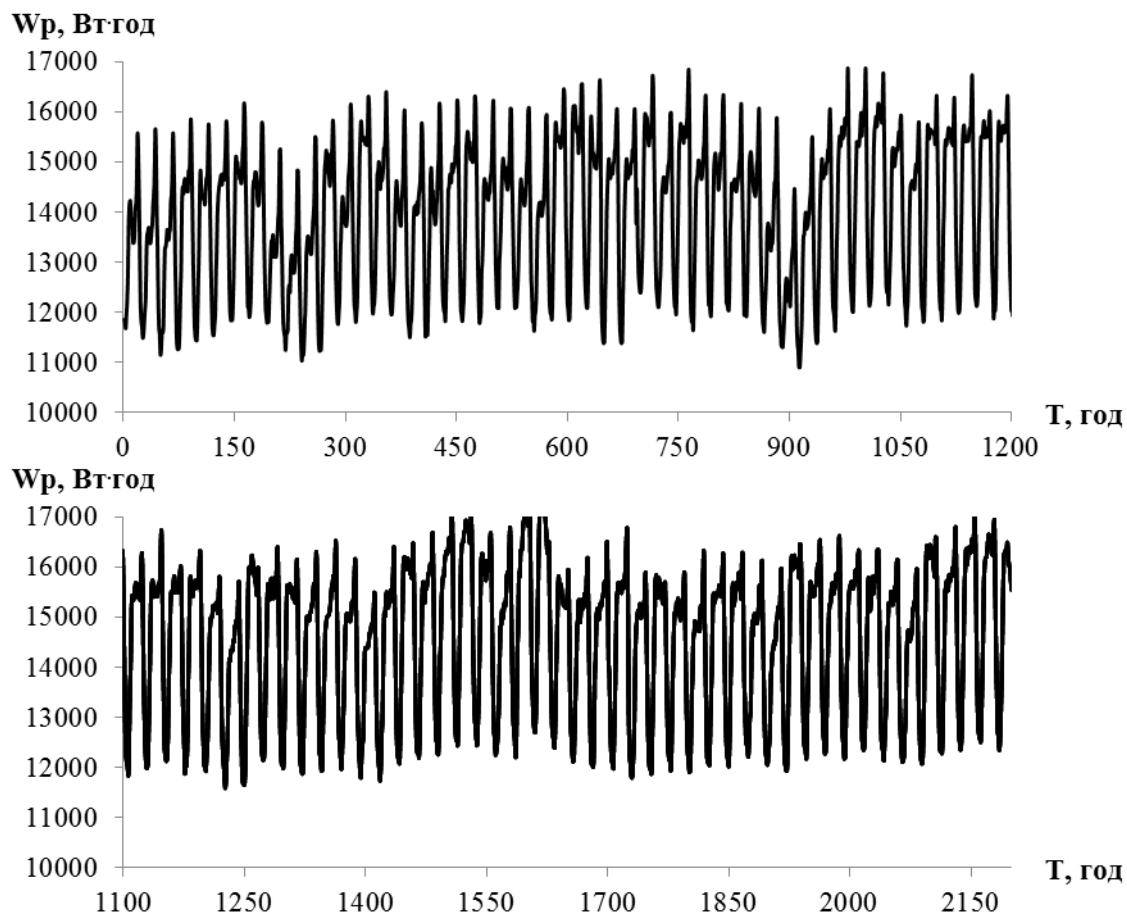
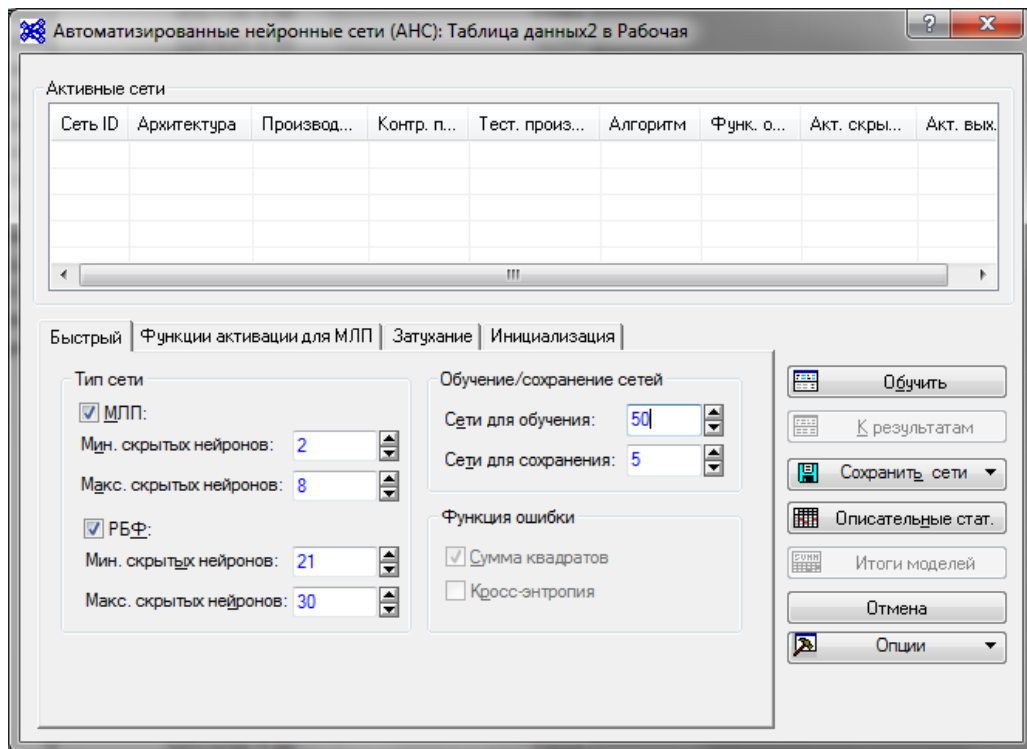


Рисунок 3.1 – Графік споживання активної електроенергії

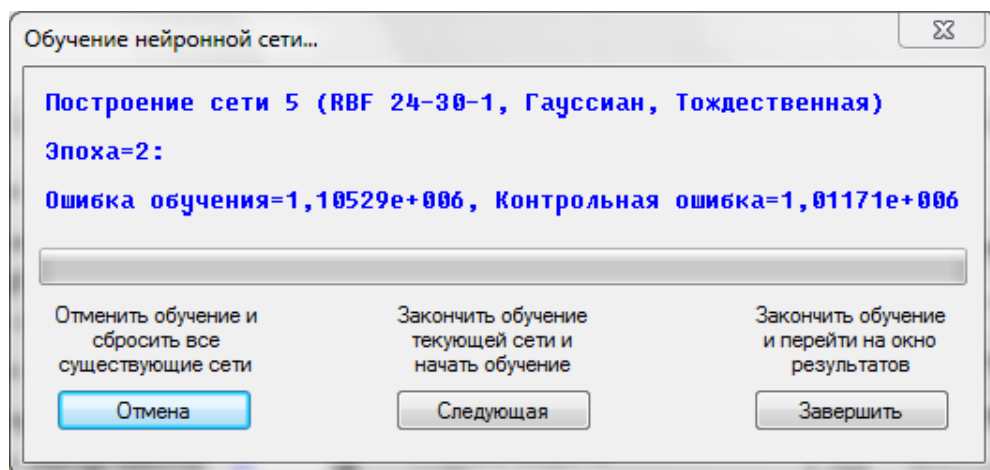
У якості вхідних даних для навчання нейронної мережі візьмемо масив даних про споживання електроенергії споживачем у період з 01.05.2020 до 30.06.2020. Споживання за останній місяць липень візьмемо для перевірки здатності прогнозування розробленої нейронної мережі.

Для розробки нейронної мережі використано пакет статистичного аналізу STATISTICA. Використано метод багатократних підбірок під час якого створюються множина нейронних моделей для відтворення заданного часового ряду. Для розробки використовувались нейронні мережі радіального типу та багат шарового персептрона. Пакет STATISTICA розробив 50 нейронних мереж та представив п'ять найкращих.

Задання архітектури та додаткових параметрів нейронних мереж та процес атоматичного навчання показано на рис. 3.2.



а



б

Рисунок 3.2 – Діалогове вікно для встановлення архітектури нейронних мереж (а) та процес автоматичного розрахунку мереж (б)

Зведена характеристика отриманих нейронних мереж із найкращою продуктивністю приведенні у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика отриманих нейронних мереж

№	Архітектура	Продуктивність	Алгоритм навчання	Функція активації	Функція виходу
1	MLP 24-8-1	0,990154285	BFGS 62	Експоненціальна	Гіперболічна
2	MLP 24-17-1	0,991492659	BFGS 115	Логістична	Синусоїда
3	MLP 24-8-1	0,989775214	BFGS 43	Гіперболічна	Логістична
4	MLP 24-12-1	0,991530394	BFGS 142	Логістична	Експоненціальна
5	MLP 24-9-1	0,991269712	BFGS 84	Гіперболічна	Тотожна

Візуально порівняємо реальне споживання електроенергії споживачем за липень 2020 р. з споживанням (рис.3.3-3.7) прогнозованим нейронними мережами з кращою продуктивністю.

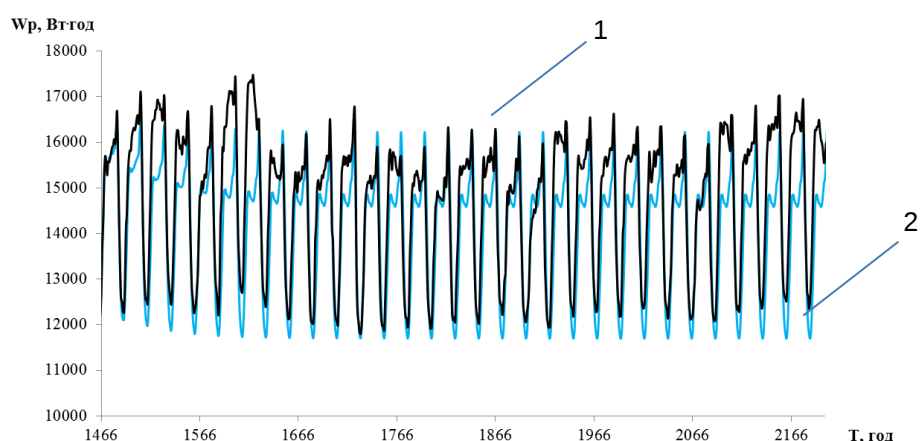


Рисунок 3.3 – Зіставлення реального споживання (1) та прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-8-1 (2)

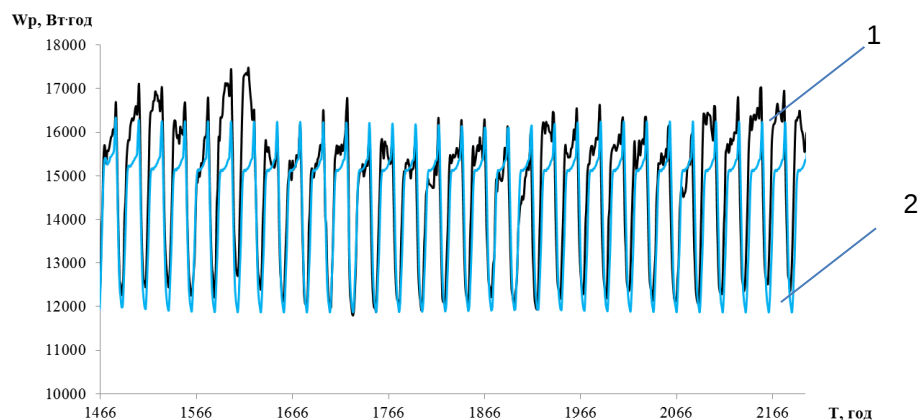


Рисунок 3.4 – Зіставлення реального споживання (1) та прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-17-1(2)

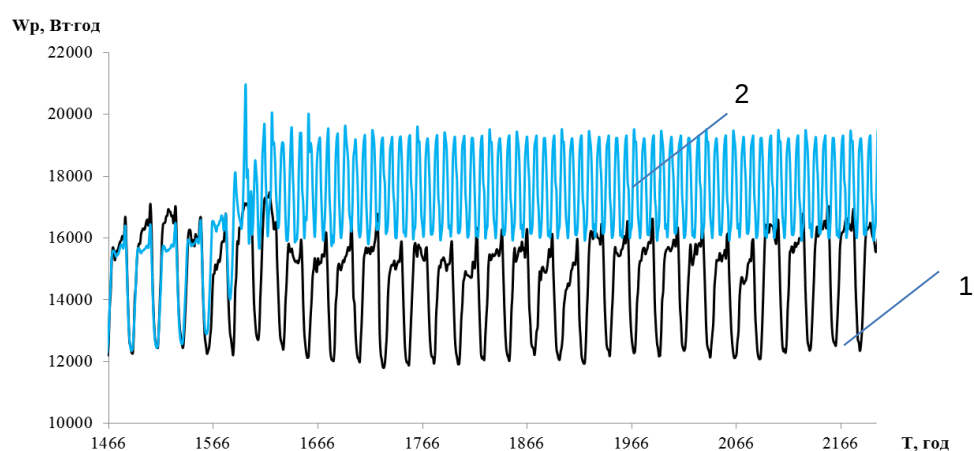


Рисунок 3.5 – Зіставлення реального споживання (1) та прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-8-1 (2)

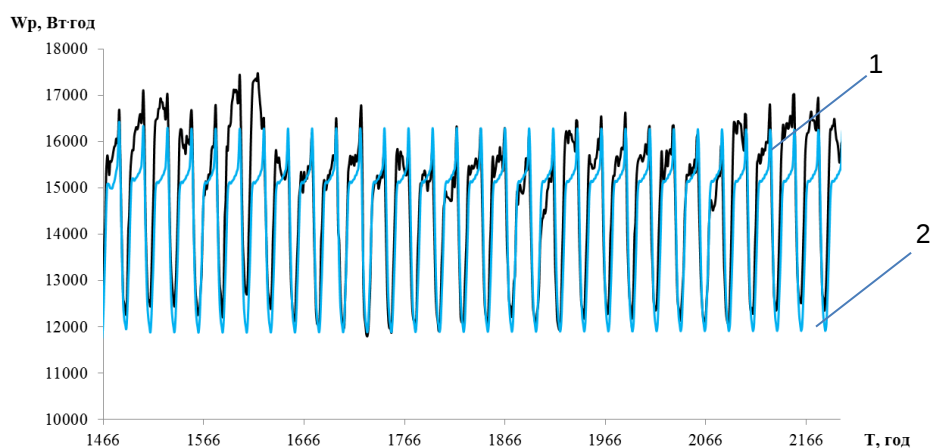


Рисунок 3.6 – Зіставлення реального споживання (1) та прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-12-1 (2)

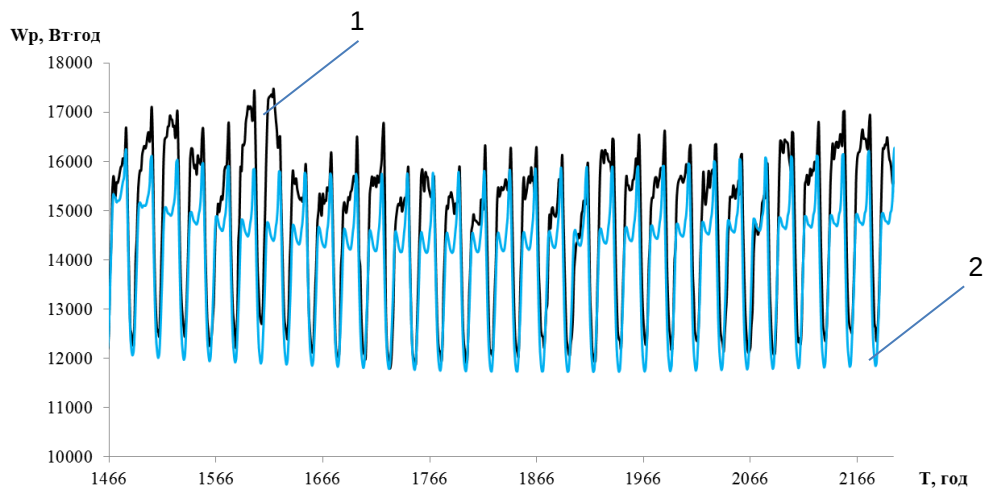


Рисунок 3.7 – Зіставлення реального споживання (1) та прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-9-1 (2)

Вочевидь, що нейронна мережа № 3 (табл. 3.1, рис. 3.5) не «вловила» тенденцію споживання електроенергії споживачем, тому продовжимо аналіз отриманих моделей виключивши її.

Далі отримаємо відносні відхилення прогнозованого від реального споживання детерміноване за годинами. Відповідні часові діаграми показані на рис. 3.8 – 3.11. На діаграмах також вказано середнє значення абсолютних відхилень.

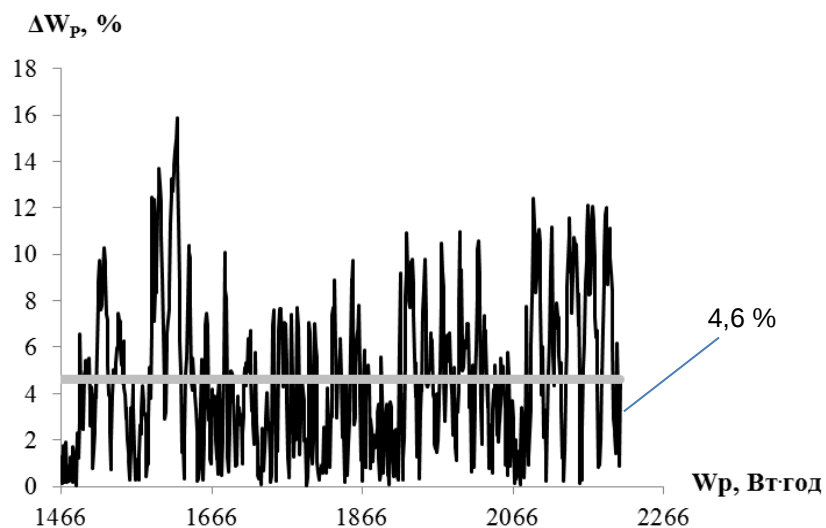


Рисунок 3.8 – Відхилення прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-8-1 від реального погодинного споживання

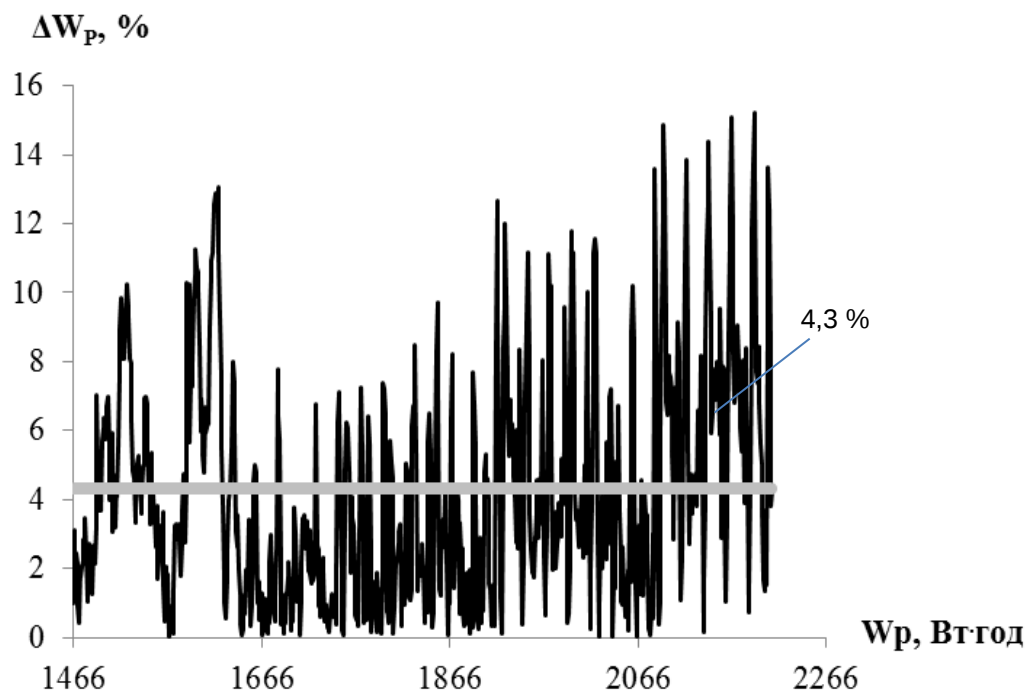


Рисунок 3.9 – Відхилення прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-17-1 від реального погодинного споживання

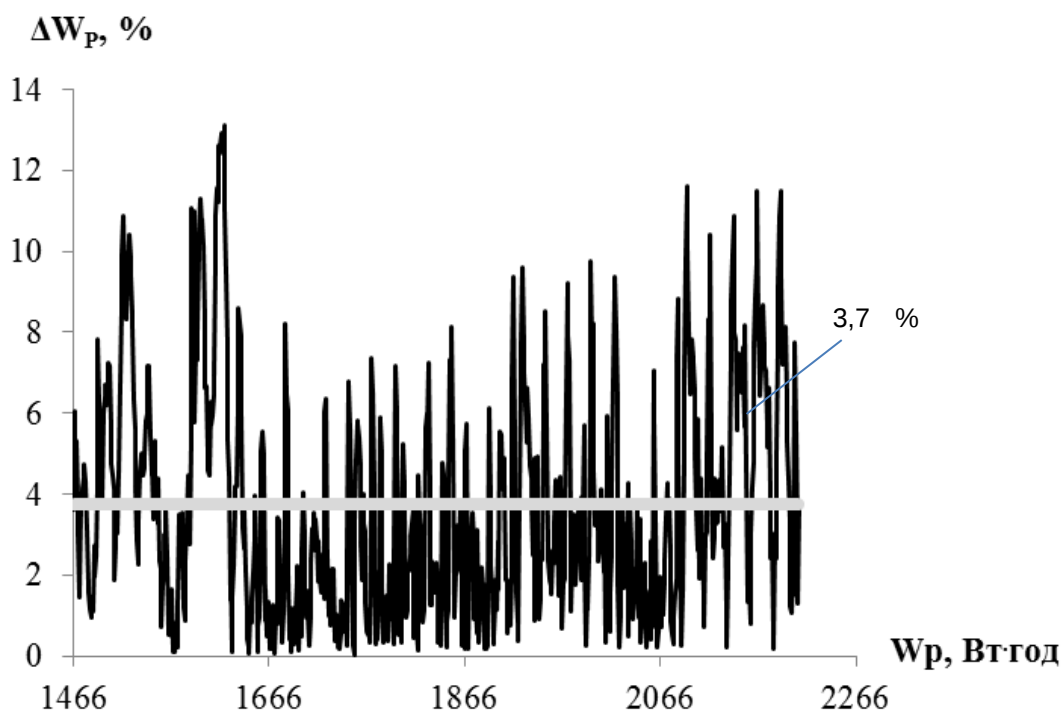


Рисунок 3.10 – Відхилення прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-12-1 від реального погодинного споживання

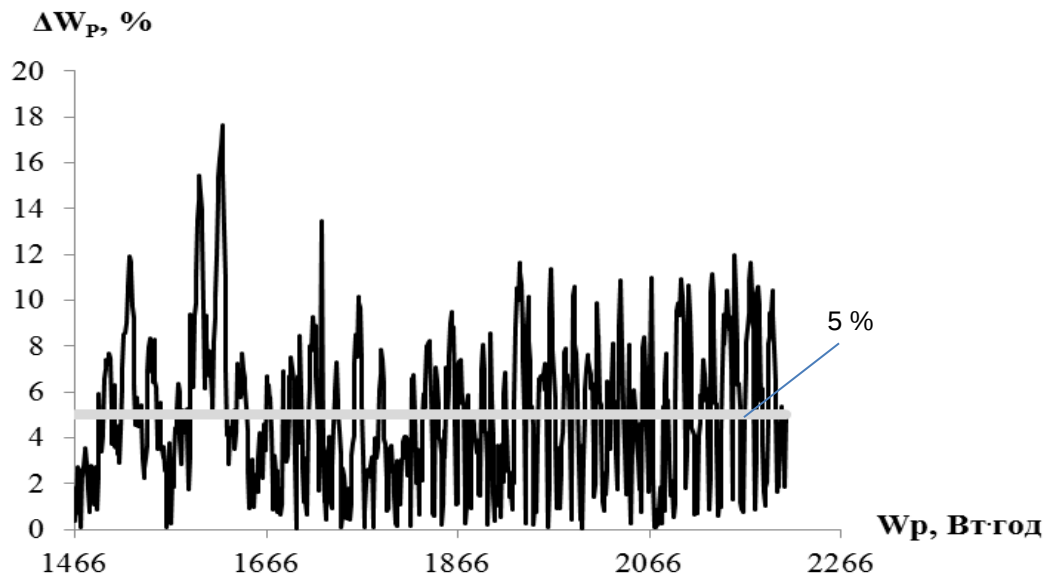


Рисунок 3.11 – Відхилення прогнозу нейронної мережі архітектури MLP 24-9-1 від реального погодинного споживання

Нейронна мережа з архітектурою MLP 24-12-1 (рис. 3.10) має найменший діапазон відхилень, до 14 %, та найменше їх середнє значення, тому дає підстави вважати, що отримана модель для прогнозу має найбільш достовірний результат.

Проведемо статистичну оцінку адекватності розробленої нейронної мережі, використовуючи непараметричний критерій Смирнова [29] для перевірки однорідності вибірок. Використання непараметричного критерію пояснюється ненормальним розподілом частот споживання електроенергії (рис. 3.12).

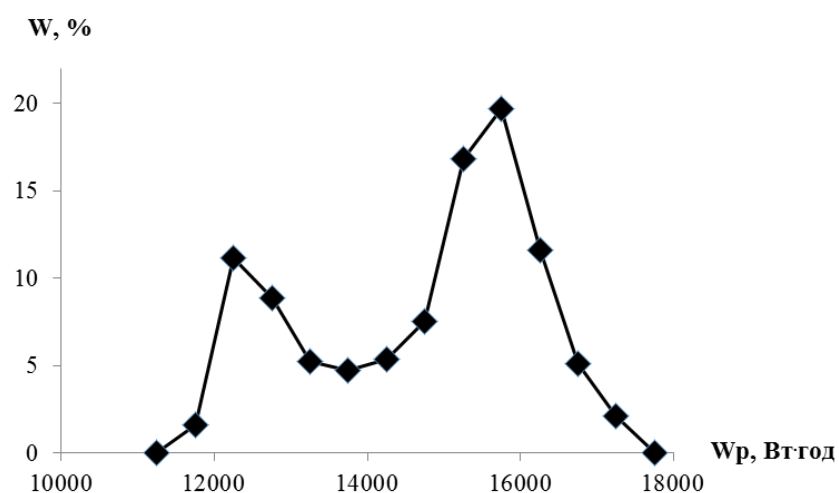


Рисунок 3.12 – Полігон відносних частот споживання електроенергії за липень 2020 р.

Критичне відносне значення критерію для 744 вибірок становить 0,0625. Інтегральні функції розподілів для реального та прогнозного споживання зображені на рис. 3.13.

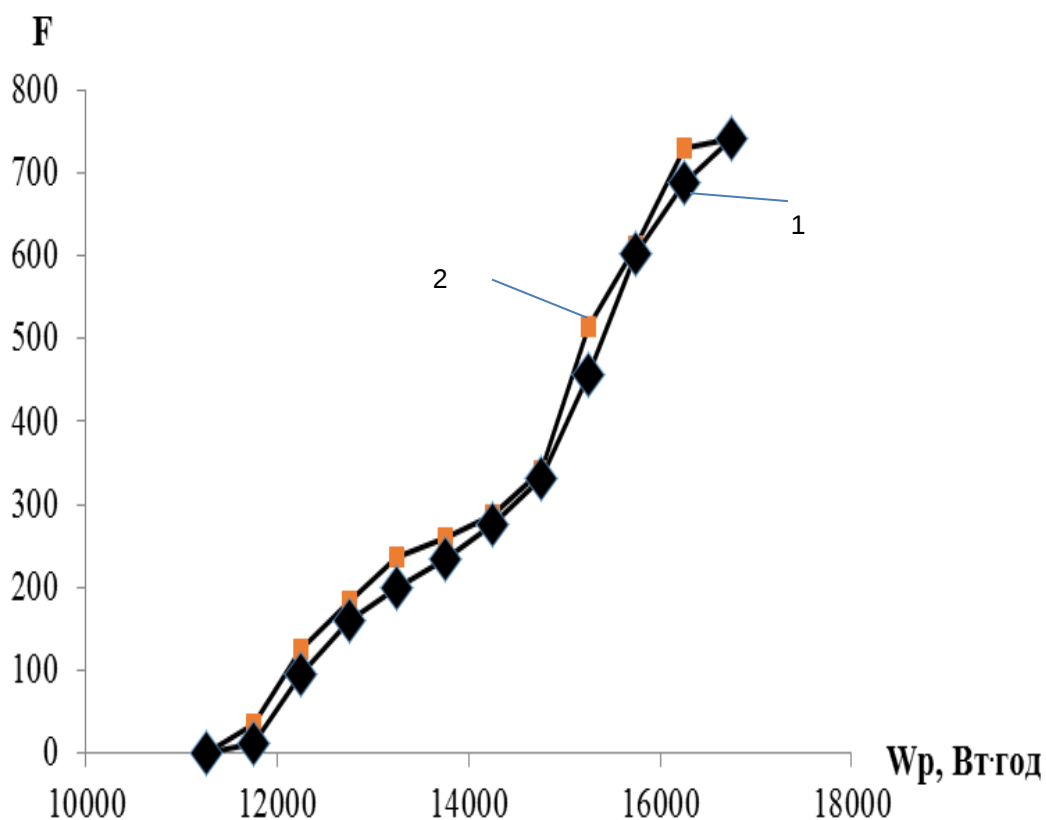


Рисунок 3.13 – Інтегральна функція розподілу реального (1) та прогнозного споживання електроенергії (2)

Максимальна відносна різниця між кумулятивами становить 0,05, що свідчить про однорідність вибірок та адекватність розробленої нейронної мережі як моделі для прогнозування.

3.3 Узагальнення розробленої нейронної мережі

Отримаємо узагальнену модель нейронної мережі у форматі мови PMML. Мова розмітки для прогнозного моделювання (Predictive Model Markup Language - PMML) забезпечує спосіб визначення моделей, що відносяться до прогнозної аналітики і аналізу даних, а також обмін такими моделями між PMML-сумісними програмами. PMML надає незалежний від виробників метод визначення моделі, тому проблема несумісності перестає бути перешкодою для обміну моделями між програмами. Він дозволяє користувачам розробляти моделі у програмі одного виробника і використовувати програми інших виробників для візуалізації, аналізу, оцінки та іншого використання моделей.

Структура документу може мати наступні компоненти.

Тема: містить загальну інформацію про документ PMML, наприклад, інформацію про авторське право на модель, її опис, інформацію про програму, використаному для створення моделі, наприклад його назву і версію. Він також містить атрибут для тимчасової мітки, використовуваний для визначення дати створення моделі.

Словник даних: містить визначення всіх можливих полів, використовуваних в моделі. Саме тут поле визначається як безперервне, категоріальне або порядкове. Залежно від цього визначення потім визначаються відповідні діапазони значень, а також тип даних (наприклад, рядок або тип з подвійною точністю).

Перетворення даних дозволяє відобразити призначені для користувача дані в необхідній формі для використання моделі інтелектуального аналізу даних. PMML визначає кілька видів простих перетворень даних:

- нормалізація відображає значення в числах, вхід може бути безперервним або дискретним;
- дискретизація відображає безперервні значення в дискретні значення;
- відображення значень відображає дискретні значення в дискретні значення;

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- функції обчислює значення шляхом застосування функції до одного або декількох параметрах;
- агрегація використовується для підсумовування або збірки групи значень.

Модель містить визначення моделі інтелектуального аналізу даних. Багатошарова штучна нейронна мережа прямого поширення є найбільш поширеним уявленням нейронних мереж в сучасних програмах, з огляду на популярність і ефективність, пов'язані з її алгоритмом навчання, відомим як метод зворотного поширення помилки. Така мережа представлена в PMML елементом «NeuralNetwork» що містить такі атрибути:

- назва моделі (атрибут modelName);
- назва функції (атрибут functionName);
- назва алгоритму (атрибут algorithmName);
- функція активації (атрибут activationFunction);
- кількість шарів (атрибут numberOfLayers).

За цією інформацією слідують три види нейронних шарів, які визначають архітектуру моделі нейронної мережі, представленої документом PMML. Це атрибути NeuralInputs, NeuralLayer і NeuralOutputs.

Схема аналізу (Mining Schema) даних містить список всіх полів, які використовуються в моделі. Це може бути підмножина полів, наявна в словнику даних. Вона містить конкретні відомості про кожне поле, такі як:

- назва (атрибут name) повинна посилатися на поле в словнику даних;
- тип використання (атрибут usageType) визначає спосіб використання поля в моделі. Стандартні значення: активне, прогнозоване і додаткове. Прогнозованими є ті поля, значення яких прогнозуються моделлю;
- обробка викидів (атрибут outliers) визначає використовуваний спосіб обробки викидів. У PMML викиди можна розглядати як відсутні значення, як екстремальні значення (на підставі визначення верхніх і нижніх значень для тієї чи іншої області) або як є;

					02.15.EC1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

– правило заміни відсутніх значень (атрибут `missingValueReplacement`) якщо цей атрибут зазначений, то відсутнє значення автоматично замінюється заданим значенням;

– обробка відсутнього значення (атрибут `missingValueTreatment`): показує, як замінюється відсутнє значення (наприклад, значенням, середнім або медіаною).

Цілі (Targets): дозволяють виконувати пост-обробку прогнозованого значення в форматі масштабування, якщо вихід моделі безперервний. Цілі можуть бути також використані для задач класифікації. В цьому випадку атрибут `priorProbability` вказує ймовірності за замовчуванням для відповідної категорії мети. Він використовується, якщо логіка прогнозування не виробляє результат сама по собі. Це може статися, наприклад, якщо вхідне значення відсутнє, і немає іншого способу визначити відсутні значення.

Вихід (Output): цей елемент може бути використаний, щоб вказати всі необхідні поля виведення, очікувані від моделі. Це особливості прогнозованого поля, а також зазвичай саме прогнозоване значення, ймовірність, близькість до кластеру (для моделей кластеризації), стандартна помилка.

Отримана модель у форматі PMML представлено у додатку А.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У магістерській роботі на основі виконаного автором дослідження режимів споживання електроенергії малими непобутовими споживачами залізниці досягнуто підвищення точності прогнозу споживання електроенергії за рахунок використання сучасних комп'ютерних технологій прогнозування з застосуванням теорії нейронних мереж.

Загальні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Розроблену модель прогнозу споживання електричної енергії на основі штучної нейронної мережі, представлену у форматі мови розмітки для прогнозного моделювання, що робить її придатною для використання у інших аналітичних середовищах.

2. Середнє значення відносної похибки зіставлення фактичного та прогнозованого на моделі не перевищує 3,7 %.

3. Перевірка адекватності моделі за критерієм Смирнова при рівні значущості 5 % засвідчила однорідність фактичних даних із отриманих при моделюванні.

4. Встановлено, що для прогнозу споживання електричної енергії найбільш придатною є нейронна мережа типу «багатошаровий персиптрон» з 28 нейронами у вхідному шарі, 12 – у прихованому та одного нейрона у вихідному шарі.

5. Проведений аналіз наявних систем комерційного обліку показав, що останні придатні для збору масиву даних про споживання електричної енергії та наступної їх передачі до аналітичних засобів.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Железко, Ю. С. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практический расчётов : пособие / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко – М.: НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.
2. Воротницкий, В.Э. Нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях: результаты, проблемы, пути решения : пособие / В. Э. Воротницкий. – №3. – М.: Энергоэксперт, 2007. – С. 10-20.
3. Споживання електроенергії в Україні за 10 міс. 2017 р. [Електронний ресурс] / Енергетика України. – Режим доступу до ресурсу: <http://uaenergy.com.ua/post/30152/potreblenie-elektroenergii-v-ukraine-za-10-mes-2017-g/>.
4. Динаміка відпуску електроенергії та її витрат на транспортування електричними мережами України [Електронний ресурс] / Структура споживання та виробництва електричної енергії. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=50372>.
5. Втрати електроенергії в розподільчих та магістральних мережах різних країн [Електронний ресурс] / Методика нормативних характеристик електричних мереж за втратами електроенергії. – Режим доступу до ресурсу: http://www.journal.esco.co.ua/2005_10/art27.htm.
6. Основні положення з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві. Затв.: Наказом Державного комітету України з енергозбереження 22.10.02 № 37 / Державний комітет України з енергозбереження. – К., 2002. – 30 с.
7. Воротницкий, В.Э. Структура коммерческих потерь электроэнергии и мероприятия по их снижению: пособие / В.Э Воротницкий, М.А. Калинкина , В.Н. Апраткин, Ю.А. Арентов. . – №7. – М.: Энергоэксперт, 2010. – С. 54-59.
8. Могиленко, А. В. Снижение потерь электроэнергии. Подход к планированию и оценке мероприятий: информационно-справочное издание / А. В Могиленко. – №4. – М.: НЦ ЭНАС, 2006. – С. 4-8.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

9. Демченко, В. Грамотная организация узлов учета позволит сократить коммерческие потери электроэнергии: информационно-справочное издание / В. Демченко. – №2. – М.: Энергоэксперт, 2003. – С. 48-53.

10. Воротницкий, В.Е., Методы и средства обнаружения безучетного потребления электрической энергии.: информационно-справочное издание / В.Е. Воротницкий, Е.В. Комкова, О.В. Туркина, В.Н. Апрыткин . – М.: Диалогэлектро, 2006. – 49 с.

11. Структурна схема АСКОЕ [Электронный ресурс] /Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії. – Режим доступу до ресурсу: <http://masters.donntu.org/2013/etf/dolgikh/diss/index.htm>.

12. Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії суб'єктів ОРЕ. Загальні вимоги. Стандарт ОРЕ. — Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол № 15 від 27.01.2006 р.

13. Завдання АСКОЕ [Электронный ресурс] /Система контролю використання енергоресурсів. – Режим доступу до ресурсу: <https://lectures.7mile.net/enerhozberezhennia/systema-kontroliu-vykorystannia-enerhoresursiv/priznachennya-i-zavdannya-askoe.html>.

14. Впровадження АСКОЕ у побутовому секторі [Электронный ресурс] / ДТЕК Дніпрообленерго. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.doe.com.ua/node/1681>.

15. Тенденції до зростання цін на енергоресурси [Электронный ресурс] / ДТЕК Дніпрообленерго. – Режим доступу до ресурсу: <http://doe.com.ua/node/1715#Gorod>.

16. Про встановлення тарифів на електроенергію, що відпускається населенню / Затв. Постановою НКРЕ від 26.02.2015 № 220.

17. Про тарифи, диференційовані за періодами часу / Затв. Постановою НКРЕ від 20.12.2001 №1241 (із змінами і доповненнями відповідно до Постанови НКРЕ від 04.11.2009 р. №1262).

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Основні технічні параметри провідних та безпроводних технологій передачі даних [Електронний ресурс] / Час електроніки. – Режим доступу до ресурсу: https://www.terraelectronica.ru/images/notes/EK2009_10_3.pdf.

19. Огляд систем комерційного обліку електричної енергії [Електронний ресурс] / Електронні інформаційні системи. – Режим доступу до ресурсу: <http://askue.com.ru/askue/intro.htm>.

20. Сапронов, А. А. Оперативное выявление неконтролируемого потребления электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ: пособие /А.А. Сапронов, С.Л. Кужеков, В.Г. Тинянский. – № 1. – М.: Диалогэлектро, 2004.

21. Тубинис В.В. АСКУЭ бытовых потребителей. Преимущества PLC-технологии связи: информационно-справочное издание / В.В. Тубинис. – № 2. – М.: НЦ ЭНАС, 2005.

22. Охрименко, В. PLC для интеллектуальных энергосетей: плюсы и минусы технологии / В. Охрименко. - № 6. – М.: Умные измерения, 2013.

23. Программный комплекс NovaSys [Електронний ресурс] / Інформаційні технології компанії «НІК». – Режим доступу до ресурсу: http://www.nik.net.ua/uploads/NOVA_S_ru.pdf.

24. Лічильник електроенергії NIK 2104 [Електронний ресурс] / ООО «НІК Електроніка». – Режим доступа до ресурсу: <http://www.nik.net.ua/ru/product/NIK-2104>.

25. Каталог пристроїв обліку електроенергії та компонентів АСКОЕ [Електронний ресурс] / ООО «НІК Електроніка». – Режим доступа до ресурсу: http://www.nik.net.ua/uploads/metering_catalogue_new.pdf.

26. Нерівномірність добового графіка навантаження ОЕС України та регулювання режимів електроспоживання [Електронний ресурс] / Державна інспекція енергетичного нагляду України. – Режим доступу до ресурсу: <https://den.energy.gov.ua/77-aktualni-pitannya/533-shchodo-nerivnomirnosti-dobovoho-hrafika-navantazhennia-oes-ukrainy-ta-rehuliuвання-rezhymiv-elektrospozhyvannia>.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

27. Воротницкий, В.Э. Методика и программный комплекс расчета небалансов электроэнергии в распределительных сетях 0,38-6(10) кВ: сборник докладов / В.Э. Воротницкий, С.В. Заслонов, М.А. Калинкина. – М.: НЦ ЭНАС, 2004. – С. 1-8.

28. Галушкин, А. И. Теория нейронных сетей / А. И. Галушкин. — М. : ИПРЖР, 2000.- 416 с.

29. Барковський, В.В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / В.В. Барковський, Н.В. Барковська, О.К. Лопатін. – 5-е вид. – Київ: Центр учбової літератури, 2010. – 424 с.

					02.15.ЕС1922.РД.2020–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82