

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Визначення складових моделі для дослідження сезонності режимів
споживання електроенергії гірничорудних підприємств**

Виконав: студент групи ЗЕЕМ-23ск

Дмитро ЧЕРНІЄНКО

Керівник випускної роботи _____ д.е.н., проф. Тетяна БЕРІДЗЕ

Нормо контролер _____ д.е.н., проф. Тетяна БЕРІДЗЕ

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2026 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЧЕРНІЄНКО Дмитро Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Визначення складових моделі для дослідження сезонності
режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств

1. Термін подання студентом роботи: 19 червня 2026 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є визначення складових
моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії
гірничорудних підприємств
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії
гірничорудних підприємств; II. Аналіз моделі для дослідження сезонності
режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств; III.
Практична реалізація моделі для дослідження сезонності режимів
споживання електроенергії гірничорудних підприємств.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Модель сезонності режиму електроспоживання; II. Часові ряди
електроспоживання; III. Графік електроспоживання; IV. Графік
електроспоживання.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Тетяна БЕРІДЗЕ		
II	Тетяна БЕРІДЗЕ		
III	Тетяна БЕРІДЗЕ		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Формування моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії	24.05.26
2	Аналіз моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії	27.05.26
3	Апроксимація значень моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії	02.06.26
4	Часові діаграми розподілів електроспоживання	07.06.26
5	Статистики розподілів електроспоживання	15.06.26

Дата видання завдання 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Дмитро ЧЕРНІЄНКО
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Тетяна БЕРІДЗЕ
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Визначення складових моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств»

36 с., 7 рис., 20 літературних джерел

Мета роботи: Підвищення точності прогнозування електроспоживання та мінімізація фінансових витрат гірничорудних підприємств на балансуєчому ринку електроенергії шляхом ідентифікації факторів впливу та розробки адекватної математичної моделі часових рядів, що враховує сезонні коливання навантаження.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати ретроспективні дані автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) гірничорудного підприємства та виявити закономірності зміни графіків навантаження протягом календарного року.

Ідентифікувати та класифікувати зовнішні (метеорологічні) та внутрішні (технологічні, організаційні) фактори, що формують сезонну складову електроспоживання.

Виконати декомпозицію часового ряду електроспоживання на базовий (трендовий), циклічний, сезонний та випадковий (стохастичний) компоненти.

Обґрунтувати вибір структури математичної моделі (адитивної або мультиплікативної) для інтеграції виявлених сезонних складових.

Розробити рекомендації щодо використання отриманих прогнозних моделей для оптимізації графіків роботи енергоємного обладнання

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(водовідливу, вентиляції, калориферних установок) з метою згладжування сезонних піків.

ГІРНИЧОРУДНЕ ПІДПРИЄМСТВО, РЕЖИМ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, СЕЗОННІСТЬ, ЧАСОВИЙ РЯД, ДЕКОМПОЗИЦІЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕНЕРГОРИНОК, ФАКТОРИ ВПЛИВУ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств	11
1.1. Формування моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств	11
Розділ 2. Аналіз моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств	15
2.1. Апроксимація значень моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств.....	15
Розділ 3. Практична реалізація моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств.....	21
3.1. Часові діаграми розподілів електроспоживання гірничорудних підприємств.....	21
3.2. Статистики розподілів електроспоживання гірничорудних підприємств	25
Висновки	28
Список використаних джерел	29
Додаток А.....	31
Додаток Б	32
Додаток В.....	33
Додаток Г	34
Додаток Д.....	35

Вступ

Актуальність та економічна проблематика

В умовах сучасного лібералізованого ринку електроенергії промислові споживачі змушені купувати електроенергію за правилами ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку.

Це означає, що гірничорудне підприємство має щодня з високою точністю замовляти погодинний обсяг необхідної йому потужності.

Будь-яке відхилення фактичного споживання від заявленого графіка (як перевитрата, так і недобір) розцінюється як створення небалансу в енергосистемі, за що підприємство сплачує колосальні штрафні санкції.

Отже, точне прогнозування електроспоживання перетворилося з суто технічної задачі на питання фінансової стабільності комбінату.

Однак, на відміну від підприємств з безперервним та незмінним циклом (наприклад, металургії), гірничорудне виробництво — як відкрите (кар'єри), так і підземне (шахти) — працює у прямому контакті з природним середовищем.

Тому його графік електричних навантажень характеризується яскраво вираженою сезонністю та стохастичністю, що робить прогнозування вкрай складним завданням.

Особливості формування сезонності на гірничорудних підприємствах

Математична модель споживання електроенергії підприємства не може бути статичною, оскільки вона є суперпозицією (накладанням) різних енергетичних процесів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Базову складову формує безпосередньо видобуток та переробка руди (робота бурових верстатів, екскаваторів, млинів, конвеєрів).

Ця частина залежить від плану виробництва.

Але поверх неї накладається потужна змінна складова, яка диктується виключно кліматичним календарем:

Сезонний період	Ключовий кліматичний фактор	Основний вплив на технологічні підсистеми підприємства
Зимовий період	Зниження температури до мінусових значень.	Включення потужних шахтних калориферних установок для підігріву повітря. Робота систем розморожування руди у бункерах та вагонах. Електричне опалення адміністративних та побутових будівель. (Різке зростання базового навантаження).

Весняний період	Танення снігу, інтенсивні опади.	Надходження колосальних обсягів паводкових вод у кар'єри та шахти. Переведення насосів головного водовідливу на цілодобовий інтенсивний режим роботи. (Зміщення та розширення піків споживання).
Літній період	Підвищення температури повітря, посуха.	Максимальне навантаження на системи вентиляції та кондиціювання. Включення насосів гідропилоподавлення на відвалах та у кар'єрах. (Зростання денних піків).
Осінній період	Скорочення світлового дня.	Зростання частки освітлювального навантаження (особливо на великих територіях кар'єрів та промислових

		майданчиків). (Збільшення вечірнього максимуму).
--	--	--

Практична реалізація: від даних до управлінських рішень

Для практичного управління цими процесами на підприємствах розгортають системи предиктивної аналітики.

Інженерний підхід полягає в тому, щоб «очистити» ретроспективні дані АСКОВ від випадкового шуму та розділити їх на зрозумілі математичні компоненти: багаторічний тренд (наприклад, поступове поглиблення гірничих робіт з роками), сезонну хвилю (річний цикл) та добовий ритм.

Далі ці компоненти поєднуються з метеорологічними прогнозами (температурою, кількістю опадів) за допомогою методів машинного навчання або моделей авторегресії (на кшталт SARIMA).

Практичним результатом такої моделі є не просто графік, а конкретний погодинний план-заявка для енергоринку.

Крім того, розуміння сезонних складових дозволяє головному енергетику планувати капітальні ремонти важкого обладнання: наприклад, виведення насосів у ремонт взимку (коли приплив води мінімальний) або ремонт калориферів улітку, що дозволяє оптимізувати загальний профіль навантаження комбінату та уникнути збігу технологічних та кліматичних піків споживання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Розділ 1. Моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств

1.1. Формування моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств

Розгляд значень вектора-стовпця оберненого перетворення дозволяє зробити висновок про їх відносну лінійність та наявність зростаючої тенденції, що дозволяє шукати їх апроксимацію у вигляді поліномів, зокрема поліномів Чебишева.

Апроксимація значень першого представницького вектора та значень коефіцієнтів оберненого перетворення дозволили отримати моделі ЕП копалень у вигляді:

$$W^*(T, t) = (\alpha_{0,1} + \alpha_{1,1}T) \left[\beta_{0,1} + 2 \sum_{k=1}^2 \beta_{k,1} \cos(2\pi Rf_1 + \Psi_{k,1}) \right], \quad (1.1)$$

де T - номер року (номер базового року дорівнює одиниці); t - номер місяця року.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1			Літ.	Лист	Листів	
Розробив	Чернієнко Д.А.										
Перевірів	Берідзе Т.М.								11	4	
Реценз.								КНУ ЗЕЕМ-23ск			
Н. Контр.	Берідзе Т.М.										
Затвердив	Пересунько І.І.										

Значення коефіцієнтів моделі (1.1) та характеристика достовірності опису вихідного статистичного матеріалу (сумарний внесок гармонік) наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Значення коефіцієнтів моделей режимів ЕП копалень

Підприємство	Коефіцієнти моделі							Внесок гармонік
	Річний тренд		Сезонність					
	$\alpha_{0.1} \times 10^{-2}$	$\alpha_{1.1} \times 10^{-2}$	$\beta_{0.1}$	$\beta_{1.1}$	$\beta_{2.1}$	$\Psi_{1.1}$	$\Psi_{2.1}$	
11	29,86	0,68	26,58	10,06	1,50	1,99	-2,03	99,5
12	30,07	0,61	26,81	9,55	4,59	2,17	-1,88	99,2
13	31,28	0,40	24,62	10,05	5,42	2,24	-1,78	98,2
14	30,75	0,44	30,55	4,70	2,67	1,93	-2,08	98,5
21	29,86	0,68	27,32	1,76	1,52	2,45	-1,74	99,7
22	30,65	0,53	29,90	10,32	3,96	2,17	-2,07	98,2
23	32,18	0,20	28,90	11,63	4,91	2,20	-1,79	98,6
24	26,81	1,26	31,35	13,67	5,51	2,14	-2,04	98,2
31	26,42	1,33	30,07	8,11	3,08	1,99	-1,91	99,2
32	22,91	2,00	37,43	10,18	4,22	2,10	-1,96	99,4
33	27,48	1,13	30,38	9,64	3,83	2,21	-1,59	99,2
34	36,45	0,64	25,64	9,63	2,49	1,99	-2,00	98,9
41	31,77	0,27	25,02	8,36	3,03	2,04	-2,05	98,8
42	26,40	1,28	34,04	8,01	2,97	2,16	-2,11	98,7

Перша складова моделі (1.1) являє собою річний тренд, друга відображає сезонність режиму ЕП.

Модель сезонності режиму ЕП копальні №1 наведена на рис. 1.1.

Значення в (1.1) отримані у відносних одиницях.

Для переведення їх в іменовані одиниці необхідно виконати перетворення:

$$W(T, t) = W^*(T, t) \cdot W(1), \quad (1.2)$$

де $W(1)$ – ЕП базового року.

Отримані залежності досить надійно описують режим ЕП копалень і можуть служити предикторами при прогнозуванні режимів витрати електроенергії.

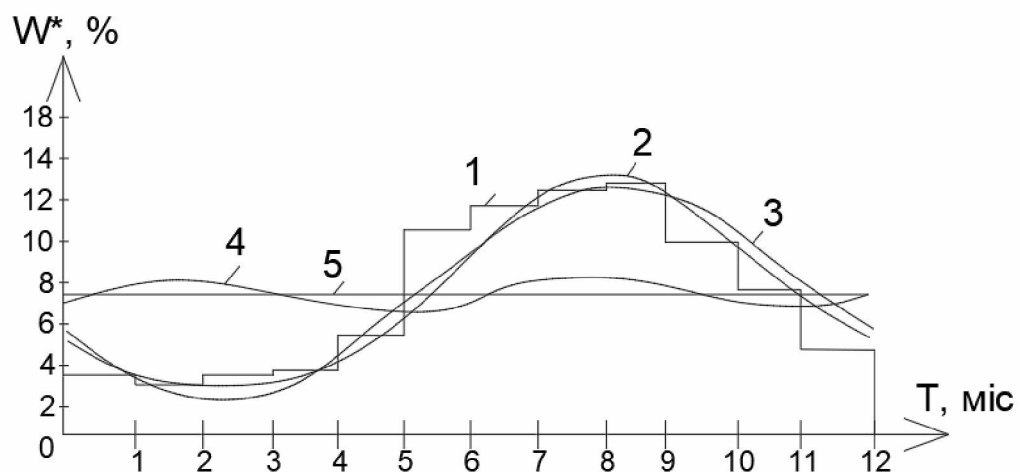


Рисунок 1.1 – Модель сезонності режиму електроспоживання копальні №1: 1 – експериментальне електроспоживання; 2 – модель електроспоживання; 3,4,5 – складові моделі електроспоживання

Розділ 2. Аналіз моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств

2.1. Апроксимація значень моделі для дослідження сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних підприємств

Значення внеску першої головної компоненти в загальну дисперсію для підприємств, що розглядаються, знаходяться в діапазоні 97,7 – 99,8%.

Власні значення матриць коваріацій вихідних статистичних масивів для підприємств, що розглядаються, які відповідають першим головним компонентам λ_1 , більш ніж на два порядки перевищують найбільші з власних значень матриць коваріацій, що відповідають іншим компонентам λ_2 , де $r = 2, 3, \dots, 7$ (значення λ_1) знаходяться в діапазоні $474,8 \div 1005$; значення λ_2 , найбільші зі значень для інших компонент, знаходяться в інтервалі $0,58 \div 4,64$).

У зв'язку з цим можна зробити висновок, що перша головна компонента аналізованого процесу є досить інформативною і може бути використана для отримання адекватних математичних моделей режимів ЕП.

Оцінка режимів ЕП ГЗК по місяцях року, виражених першою головною компонентою f_{1j} , представлені в табл. 2.1.

Значення коефіцієнта оберненого перетворення b_{1j} , що відповідає першій головній компоненті, наведені в табл. 2.2.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 2			Лім.	Лист	Листів
Розробив		Чернієнко Д.А.								
Перевірів		Берідзе Т.М.								
Реценз.										
Н. Контр.		Берідзе Т.М.								
Затвердив		Пересунько І.І.						КНУ ЗЕЕМ-23ск		

Аналіз значень першої головної компоненти f_{1j} , що описує режими ЕП ГЗК, та значень вектора оберненого перетворення b_{1j} , що відповідає першій головній компоненті, дозволяє зробити висновки, аналогічні вищевикладеним при аналізі першого представницького вектора розкладу Карунена-Лоева u_{1j} та вектора оберненого перетворення Q_{i1} при моделюванні режимів ЕП копалинь [5].

Апроксимація значень першої головної компоненти та вектора зворотнього перетворення дозволила отримати моделі режими ЕП ГЗК у вигляді табл. 2.1.

$$W^*(T, t) = (\alpha_{0,1} + \alpha_{1,1}T + \alpha_1 T^2) \left[\beta_{0,1} + 2 \sum_{k=1}^2 \beta_{k,1} \cos(2\pi kft + \Psi_{k,1}) \right], \quad (2.1)$$

Перша складова моделі (2.1), представлена статичним поліномом Чебишева, відображає міжрічну динаміку (річний тренд), друга складова, яка описується поруч Фур'є, відображає сезонність процесу (графік наведений на рис. 2.1)

Значення коефіцієнтів залежностей (2.1) для різних ГЗК наведені в табл. 2.2.

Адекватність апроксимації динаміки режиму ЕП оцінювалася за допомогою F-критерію Фішера (табличні значення FT для полінома першого та другого ступеня при довірчій ймовірності 0,95 відповідно дорівнюють 4,28 та 4,39), адекватність апроксимації моделі сезонного оцінювалася за сумарним вкладом гармонійних складових.

Значення FН-критерії і сумарного вкладу гармонік, що спостерігаються, наведені в табл.2.3.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Оцінки режимів ЕП ГЗК за місяцями року, виражених першою головною компонентою f_{1j}

Підприємство	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	12,1	11,7	11,3	10,0	11,3	30,3	30,0	39,2	39,4	25,4	13,6	12,8
20	15,4	14,5	14,0	12,8	13,3	31,8	37,8	39,2	39,2	28,0	11,7	14,7
30	21,4	20,3	21,8	16,7	17,2	41,7	47,0	47,2	44,5	31,5	23,0	21,2
40	16,8	16,4	16,5	15,1	15,7	30,7	34,9	36,2	38,8	25,0	13,7	16,4
50	20,1	20,3	20,6	18,6	16,7	23,1	27,1	27,6	29,4	25,4	19,9	18,5
60	22,8	22,1	23,3	23,1	20,0	26,6	27,4	28,9	35,7	29,7	19,6	23,0
70	26,8	25,7	25,0	25,1	23,9	21,1	20,1	22,4	22,4	24,8	24,0	27,4
80	28,9	27,3	28,9	28,3	26,7	24,8	23,0	22,9	24,3	26,0	27,5	29,3
90	18,4	18,6	19,5	16,9	14,2	36,2	46,5	45,7	41,2	19,1	14,1	18,0
100	20,7	20,0	21,0	17,9	13,3	21,7	31,8	33,4	28,9	15,1	16,9	21,0
110	19,6	18,6	19,6	18,8	17,2	26,9	28,7	28,1	22,9	17,6	18,3	20,5
120	29,4	27,2	29,3	28,4	24,7	23,4	24,1	23,5	23,7	26,9	26,8	31,2
130	12,6	12,3	11,8	10,3	10,1	35,0	41,5	41,2	43,0	31,4	16,1	14,3
140	32,7	31,8	30,4	26,4	23,0	26,4	24,7	26,0	27,4	27,6	29,5	33,1

Таблиця 2.2 Значення коефіцієнта зворотного перетворення b_{ij}
розкладання методом головних компонент

Підприємство	Номер року						
	1	2	3	4	5	6	7
10	0,387	0,285	0,356	0,376	0,388	0,380	0,372
20	0,370	0,385	0,367	0,373	0,374	0,397	0,378
30	0,278	0,301	0,381	0,403	0,391	0,428	0,434
40	0,359	0,356	0,365	0,384	0,396	0,392	0,402
50	0,376	0,390	0,392	0,388	0,381	0,374	0,342
60	0,328	0,333	0,382	0,371	0,379	0,380	0,458
70	0,347	0,375	0,391	0,387	0,381	0,383	0,381
80	0,317	0,309	0,348	0,373	0,408	0,426	0,443
90	0,329	0,385	0,402	0,370	0,388	0,396	0,370
100	0,386	0,343	0,379	0,361	0,386	0,404	0,383
1100	0,389	0,389	0,373	0,374	0,369	0,381	0,368
120	0,314	0,336	0,356	0,371	0,415	0,408	0,430
130	0,349	0,366	0,356	0,378	0,374	0,413	0,406
140	0,295	0,324	0,376	0,397	0,404	0,416	0,416

Таблиця 2.3 Значення коефіцієнтів моделей режимів ЕП ГЗК

Підприємство	Коефіцієнти складової річного тренду						Коефіцієнти складової сезонності						
	Першого ступеня			Другого ступеня			амплітудні			фазові		Вклад гармонік, %	
	$\alpha_{0,1} \times 10^{-2}$	$\alpha_{1,1} \times 10^{-2}$	F_H	$\alpha_{0,1} \times 10^{-2}$	$\alpha_{1,1} \times 10^{-2}$	$\alpha_{2,1} \times 10^{-2}$	F_H	$\beta_{0,1}$	$\beta_{1,1}$	$\beta_{2,1}$	$\Psi_{1,1}$		$\Psi_{2,1}$
10	38,1	-0,08	0,82	38,9	-0,64	-0,07	0,79	21,26	3,50	1,41	2,02	-2,11	98,3
20	37,0	0,21	0,98	37,4	-0,05	0,03	0,76	22,62	3,37	1,30	2,11	-2,02	99,1
30	27,0	2,61	5,8	21,7	6,09	-0,43	1,56	29,48	3,60	1,74	2,10	-1,74	99,2
40	34,7	0,76	4,42	34,5	0,92	-0,02	0,76	23,02	3,32	1,36	2,15	-1,96	98,5
50	39,6	-0,51	1,38	35,8	2,18	-0,34	1,95	22,36	1,10	0,82	2,05	-2,31	99,1
60	30,6	1,73	3,29	33,0	0,19	0,19	0,85	25,17	1,96	0,72	1,96	-2,73	97,8
70	36,2	0,38	1,17	33,0	2,57	-0,27	2,55	24,07	0,72	0,22	2,52	-1,37	99,2
80	27,8	2,41	20,82	28,4	2,07	0,04	0,77	26,48	0,69	0,25	2,22	-1,64	98,8
90	35,9	0,46	0,96	30,8	3,83	-0,42	1,51	25,72	3,39	1,45	2,30	-1,95	99,4
100	36,0	0,43	1,02	37,6	-0,58	0,13	0,81	21,82	1,19	0,92	2,12	-1,85	98,5
110	39	-0,30	1,65	39,9	-0,90	0,08	0,94	21,40	1,02	0,97	2,41	-1,90	99,2
120	29,7	1,97	18,66	28,5	2,74	-0,10	0,89	26,57	0,75	0,18	2,55	-2,50	98,8
130	33,7	1,01	4,37	34,8	0,25	0,10	0,85	23,32	4,05	1,54	2,05	-1,92	99,3
140	29,3	2,05	5,70	24,0	5,62	-0,45	3,84	28,24	2,02	0,35	2,84	-1,22	98,4

Аналізуючи дані табл. 2.1-2.3, можна зробити таке.

1. Сезонність режимів ЕП ГЗК в умовах Криворіжжя досить надійно описується трьома (постійною та двома гармонійними) складовими (значення сумарного вкладу гармонік коливаються в діапазоні $97,8 \div 99,2$).

2.Річний тренд адекватно (з ймовірністю 0,95) описується поліномами першого і другого ступеня. Проте, слід зазначити, що для ГЗК поліном першого ступеня представляє адекватну модель тренда при довіреної ймовірності нижче ніж 0,95.

3.Опис річного тренду поліномами більш високих ступенів, не даючи помітного виграшу в точності опису процесу ЕП, значно ускладнює вигляд моделі. Таким чином, для опису тренду процесу ЕП найбільш підходящими є поліноми не вище другого ступеня.

Для переходу значень, одержуваних за (2.1), у іменовані одиниці слід виконати перетворення, аналогічне (1.2).

Отримані тимчасові математичні моделі адекватно описують режими ЕП ГЗК в умовах Криворізького регіону, відображаючи як зміну процесу всередині року (сезонність), так і міжрічну динаміку (тренд), вони можуть бути використані як прогностні предиктори при плануванні режимів витрати електроенергії на гірничих підприємствах.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Розділ 3. Практична реалізація моделі для дослідження
сезонності режимів споживання електроенергії гірничорудних
підприємств**

3.1. Часові діаграми розподілів електроспоживання гірничорудних підприємств

а)

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	Розділ 3	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>	Чернієнко Д.А.							
<i>Перевірів</i>	Берідзе Т.М.						21	8
<i>Реценз.</i>						КНУ ЗЕЕМ-23ск		
<i>Н. Контр.</i>	Берідзе Т.М.							
<i>Затвердив</i>	Пересунько І.І.							

б)

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

a)

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б)

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Статистики розподілів електроспоживання гірничорудних підприємств

Статистики розподілів електроспоживання гірничорудних підприємств представлені у таблиці.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 Статистики розподілів електроспоживання гірничорудних підприємств

Місяці	Розмах	Середня	Мода	Медіана	Стандарт	Дисперсія	Асиметрія	Експесс
ГЗК №1								
Січень	1,40	5,35	5,69	5,47	0,47	0,22	-0,57	-1,16
Лютий	0,61	5,15	5,40	5,14	0,25	0,06	0,07	-1,90
Березень	1,02	5,29	5,52	5,29	0,33	0,11	-0,66	-0,78
Квітень	1,48	4,82	5,23	4,84	0,51	0,25	-0,36	-1,36
Травень	1,67	5,23	4,65	5,32	0,62	0,38	0,012	-1,84
Червень	4,16	12,0	12,6	12,6	1,35	1,82	-1,43	0,64
Липень	2,33	14,1	14,9	14,1	0,75	0,56	-0,36	-1,21
Серпень	1,20	14,3	14,1	14,3	0,41	0,17	0,047	-1,42
Вересень	3,41	13,9	14,3	14,1	1,13	1,29	-0,22	-1,41
Жовтень	6,16	9,97	8,06	9,60	2,06	4,25	0,28	-1,40
Листопад	0,84	4,55	4,66	4,59	0,29	0,08	-0,21	-1,45
Грудень	1,51	5,27	4,98	5,10	0,58	0,33	0,81	-1,19

Копальня №1									
Січень	1,19	3,50	3,88	3,63	0,47	0,22	-0,35	-1,74	
Лютий	2,32	3,11	2,34	3,02	0,78	0,60	0,21	-1,50	
Березень	1,60	3,48	3,16	3,35	0,47	0,23	1,29	0,58	
Квітень	1,08	3,66	3,57	3,59	0,38	0,14	0,45	-1,40	
Травень	1,39	5,93	6,36	5,88	0,48	0,23	-0,15	-1,41	
Червень	1,45	12,3	12,2	12,3	0,51	0,26	0,18	-1,47	
Липень	3,33	13,8	14,6	14,0	1,22	1,50	-0,48	-1,47	
Серпень	3,44	14,6	13,5	14,6	1,34	1,78	0,05	-1,84	
Вересень	3,11	15,0	14,2	14,8	1,03	1,06	0,53	-1,07	
Жовтень	2,68	11,4	12,1	11,6	1,00	1,01	-0,54	-1,46	
Листопад	4,95	8,38	8,70	8,27	1,41	2,00	-0,47	-0,43	
Грудень	4,38	4,82	4,01	4,17	1,45	2,10	0,98	-0,47	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19

Арк.

27

Висновки

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно було виконати такі завдання:

Проаналізувати ретроспективні дані автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) гірничорудного підприємства та виявити закономірності зміни графіків навантаження протягом календарного року.

Ідентифікувати та класифікувати зовнішні (метеорологічні) та внутрішні (технологічні, організаційні) фактори, що формують сезонну складову електроспоживання.

Виконати декомпозицію часового ряду електроспоживання на базовий (трендовий), циклічний, сезонний та випадковий (стохастичний) компоненти.

Обґрунтувати вибір структури математичної моделі (адитивної або мультиплікативної) для інтеграції виявлених сезонних складових.

Розробити рекомендації щодо використання отриманих прогнозних моделей для оптимізації графіків роботи енергоємного обладнання (водовідливу, вентиляції, калориферних установок) з метою згладжування сезонних піків.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

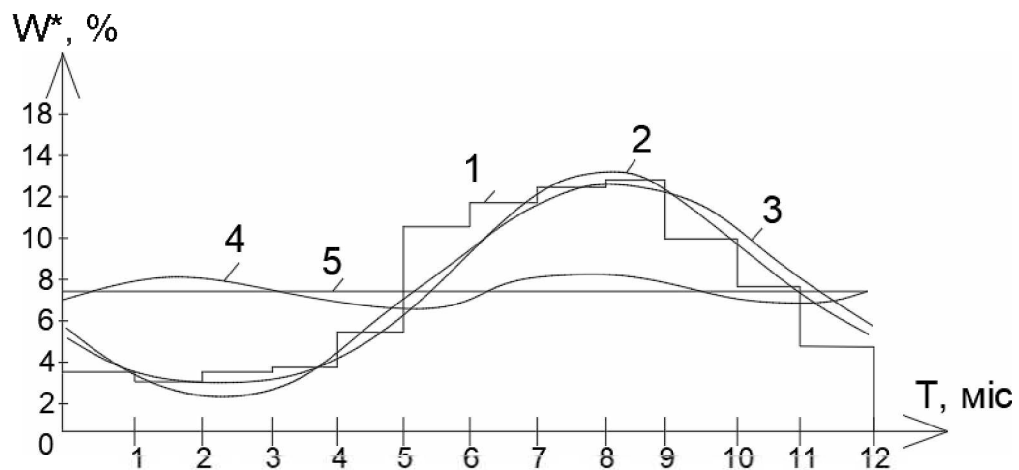
1. Півняк, Г. Г., & Волошин, О. В. (2011). Електропостачання гірничих підприємств. Дніпропетровськ: НГУ.
2. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control (5th ed.). John Wiley & Sons.
3. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and Practice (2nd ed.). OTexts.
4. Жежеленко, І. В., & Степанов, Ю. О. (2007). Методи розрахунку електричних навантажень промислових підприємств. Донецьк: ДонНТУ.
5. Праховник, А. В., Розен, В. П., & Дегтярьов, В. В. (2005). Енергозбереження в системах електропостачання промислових підприємств. Київ: Політехніка.
6. Seber, G. A. F., & Wild, C. J. (2003). Nonlinear Regression. John Wiley & Sons.
7. Синчук, О. М., & Михайленко, О. Ю. (2015). Електричні навантаження та енергоефективність гірничих дільниць залізорудних шахт. Кривий Ріг: КНУ.
8. Bunn, D. W. (Ed.). (2000). Forecasting with Trend and Seasonality. Springer.
9. Volkov, A., & Spivak, O. (2019). Seasonal variations of electrical loads in surface and underground mining. Mining Electromechanics and Automatics, 102(1), 22-29.
10. Shchutsky, V. I., & Babokin, G. I. (2006). Electrical Load Dynamics of Underground Mining Equipment. Moscow: Nedra.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.251-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

11. Weron, R. (2006). Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: A Statistical Approach. John Wiley & Sons.
12. Zacheпа, I., & Chorny, O. (2022). Application of SARIMA models for short-term load forecasting in iron ore enterprises. Electrical Engineering & Electromechanics, (1), 60-67.
13. Назаренко, В. М., & Хоменко, В. М. (2013). Автоматизований контроль та моделювання електроспоживання на підприємствах ГМК. Дніпропетровськ: Пороги.
14. Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). Forecasting: Methods and Applications (3rd ed.). John Wiley & Sons.
15. Денисюк, С. П., & Баженов, В. А. (2017). Моделювання режимів електроспоживання в умовах балансуєчого ринку. Енергетика: економіка, технології, екологія, (2), 45-52.
16. Taylor, J. W. (2003). Short-term electricity demand forecasting using double seasonal exponential smoothing. Journal of the Operational Research Society, 54(8), 799-805.
17. Fildes, R., & Allen, D. (2013). Time Series Forecasting in Power Systems. Springer.
18. Кудрін, Б. І. (2012). Електропостачання промислових підприємств. Москва: Інтернет Інжиніринг.
19. Synchuk, O. M., & Kozakevych, I. A. (2020). Influence of climatic factors on the energy profile of deep mines ventilation and drainage systems. Journal of Mining Science, 56(3), 415-423.
20. Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). Introduction to Time Series and Forecasting (3rd ed.). Springer.

Додаток А

Модель сезонності режиму електроспоживання копальні №1: 1 – експериментальне електроспоживання; 2 – модель електроспоживання; 3,4,5 – складові моделі електроспоживання



Додаток Б

Оцінки режимів ЕП ГЗК за місяцями року, виражених першою
головною компонентою f_{ij}

Підприємство	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	12,1	11,7	11,3	10,0	11,3	30,3	30,0	39,2	39,4	25,4	13,6	12,8
20	15,4	14,5	14,0	12,8	13,3	31,8	37,8	39,2	39,2	28,0	11,7	14,7
30	21,4	20,3	21,8	16,7	17,2	41,7	47,0	47,2	44,5	31,5	23,0	21,2
40	16,8	16,4	16,5	15,1	15,7	30,7	34,9	36,2	38,8	25,0	13,7	16,4
50	20,1	20,3	20,6	18,6	16,7	23,1	27,1	27,6	29,4	25,4	19,9	18,5
60	22,8	22,1	23,3	23,1	20,0	26,6	27,4	28,9	35,7	29,7	19,6	23,0
70	26,8	25,7	25,0	25,1	23,9	21,1	20,1	22,4	22,4	24,8	24,0	27,4
80	28,9	27,3	28,9	28,3	26,7	24,8	23,0	22,9	24,3	26,0	27,5	29,3
90	18,4	18,6	19,5	16,9	14,2	36,2	46,5	45,7	41,2	19,1	14,1	18,0
100	20,7	20,0	21,0	17,9	13,3	21,7	31,8	33,4	28,9	15,1	16,9	21,0
110	19,6	18,6	19,6	18,8	17,2	26,9	28,7	28,1	22,9	17,6	18,3	20,5
120	29,4	27,2	29,3	28,4	24,7	23,4	24,1	23,5	23,7	26,9	26,8	31,2
130	12,6	12,3	11,8	10,3	10,1	35,0	41,5	41,2	43,0	31,4	16,1	14,3
140	32,7	31,8	30,4	26,4	23,0	26,4	24,7	26,0	27,4	27,6	29,5	33,1

Додаток В

Значення коефіцієнта зворотного перетворення β_{ij} розкладання
МЕТОДОМ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ

Підприємство	Номер року						
	1	2	3	4	5	6	7
10	0,387	0,285	0,356	0,376	0,388	0,380	0,372
20	0,370	0,385	0,367	0,373	0,374	0,397	0,378
30	0,278	0,301	0,381	0,403	0,391	0,428	0,434
40	0,359	0,356	0,365	0,384	0,396	0,392	0,402
50	0,376	0,390	0,392	0,388	0,381	0,374	0,342
60	0,328	0,333	0,382	0,371	0,379	0,380	0,458
70	0,347	0,375	0,391	0,387	0,381	0,383	0,381
80	0,317	0,309	0,348	0,373	0,408	0,426	0,443
90	0,329	0,385	0,402	0,370	0,388	0,396	0,370
100	0,386	0,343	0,379	0,361	0,386	0,404	0,383
1100	0,389	0,389	0,373	0,374	0,369	0,381	0,368
120	0,314	0,336	0,356	0,371	0,415	0,408	0,430
130	0,349	0,366	0,356	0,378	0,374	0,413	0,406
140	0,295	0,324	0,376	0,397	0,404	0,416	0,416

Значення коефіцієнтів моделей режимів ЕП ГЗК

Підприємство	Коефіцієнти складової річного тренду						Коефіцієнти складової сезонності						
	Першого ступеня			Другого ступеня			амплітудні			фазові		Вклад гармонік, %	
	$\alpha_{0,1} \times 10^{-2}$	$\alpha_{1,1} \times 10^{-2}$	F_H	$\alpha_{0,1} \times 10^{-2}$	$\alpha_{1,1} \times 10^{-2}$	$\alpha_{2,1} \times 10^{-2}$	F_H	$\beta_{0,1}$	$\beta_{1,1}$	$\beta_{2,1}$	$\Psi_{1,1}$		$\Psi_{2,1}$
10	38,1	-0,08	0,82	38,9	-0,64	-0,07	0,79	21,26	3,50	1,41	2,02	-2,11	98,3
20	37,0	0,21	0,98	37,4	-0,05	0,03	0,76	22,62	3,37	1,30	2,11	-2,02	99,1
30	27,0	2,61	5,8	21,7	6,09	-0,43	1,56	29,48	3,60	1,74	2,10	-1,74	99,2
40	34,7	0,76	4,42	34,5	0,92	-0,02	0,76	23,02	3,32	1,36	2,15	-1,96	98,5
50	39,6	-0,51	1,38	35,8	2,18	-0,34	1,95	22,36	1,10	0,82	2,05	-2,31	99,1
60	30,6	1,73	3,29	33,0	0,19	0,19	0,85	25,17	1,96	0,72	1,96	-2,73	97,8
70	36,2	0,38	1,17	33,0	2,57	-0,27	2,55	24,07	0,72	0,22	2,52	-1,37	99,2
80	27,8	2,41	20,82	28,4	2,07	0,04	0,77	26,48	0,69	0,25	2,22	-1,64	98,8
90	35,9	0,46	0,96	30,8	3,83	-0,42	1,51	25,72	3,39	1,45	2,30	-1,95	99,4
100	36,0	0,43	1,02	37,6	-0,58	0,13	0,81	21,82	1,19	0,92	2,12	-1,85	98,5
110	39	-0,30	1,65	39,9	-0,90	0,08	0,94	21,40	1,02	0,97	2,41	-1,90	99,2
120	29,7	1,97	18,66	28,5	2,74	-0,10	0,89	26,57	0,75	0,18	2,55	-2,50	98,8
130	33,7	1,01	4,37	34,8	0,25	0,10	0,85	23,32	4,05	1,54	2,05	-1,92	99,3
140	29,3	2,05	5,70	24,0	5,62	-0,45	3,84	28,24	2,02	0,35	2,84	-1,22	98,4

Статистики розподілів електроспоживання гірничорудних підприємств

Місяці	Розмах	Середня	Мода	Медіана	Стандарт	Дисперсія	Асиметрія	Екссес
ГЗК №1								
Січень	1,40	5,35	5,69	5,47	0,47	0,22	-0,57	-1,16
Лютий	0,61	5,15	5,40	5,14	0,25	0,06	0,07	-1,90
Березень	1,02	5,29	5,52	5,29	0,33	0,11	-0,66	-0,78
Квітень	1,48	4,82	5,23	4,84	0,51	0,25	-0,36	-1,36
Травень	1,67	5,23	4,65	5,32	0,62	0,38	0,012	-1,84
Червень	4,16	12,0	12,6	12,6	1,35	1,82	-1,43	0,64
Липень	2,33	14,1	14,9	14,1	0,75	0,56	-0,36	-1,21
Серпень	1,20	14,3	14,1	14,3	0,41	0,17	0,047	-1,42
Вересень	3,41	13,9	14,3	14,1	1,13	1,29	-0,22	-1,41
Жовтень	6,16	9,97	8,06	9,60	2,06	4,25	0,28	-1,40
Листопад	0,84	4,55	4,66	4,59	0,29	0,08	-0,21	-1,45
Грудень	1,51	5,27	4,98	5,10	0,58	0,33	0,81	-1,19

Копальня №1									
Січень	1,19	3,50	3,88	3,63	0,47	0,22	-0,35	-1,74	
Лютий	2,32	3,11	2,34	3,02	0,78	0,60	0,21	-1,50	
Березень	1,60	3,48	3,16	3,35	0,47	0,23	1,29	0,58	
Квітень	1,08	3,66	3,57	3,59	0,38	0,14	0,45	-1,40	
Травень	1,39	5,93	6,36	5,88	0,48	0,23	-0,15	-1,41	
Червень	1,45	12,3	12,2	12,3	0,51	0,26	0,18	-1,47	
Липень	3,33	13,8	14,6	14,0	1,22	1,50	-0,48	-1,47	
Серпень	3,44	14,6	13,5	14,6	1,34	1,78	0,05	-1,84	
Вересень	3,11	15,0	14,2	14,8	1,03	1,06	0,53	-1,07	
Жовтень	2,68	11,4	12,1	11,6	1,00	1,01	-0,54	-1,46	
Листопад	4,95	8,38	8,70	8,27	1,41	2,00	-0,47	-0,43	
Грудень	4,38	4,82	4,01	4,17	1,45	2,10	0,98	-0,47	