

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Дослідження алгоритмів адаптації режимів електроспоживання з
врахуванням клімато-метеорологічних та сезонних факторів»

КНУ.МР.141.25.668-03

Виконав студент II курсу , групи ЗСЕР-24м /Владислав ПРИЄМСЬКИЙ/
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
«Системи електропостачання промислових підприємств,
міст та локальних об'єктів»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

к.т.н., доцент

_____/Ігор СІНЧУК/

Нормоконтролер:

к.т.н., доцент

_____/Ігор СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____/Олексій МИХАЙЛЕНКО/

Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет
Факультет: електротехнічний
Освітній рівень: магістр
Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ПРИЄМСЬКИЙ Владислав Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Дослідження алгоритмів адаптації режимів електроспоживання з врахуванням клімато-метеорологічних та сезонних факторів

1. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є дослідження алгоритмів адаптації режимів електроспоживання з врахуванням клімато-метеорологічних та сезонних факторів.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Математичне моделювання режимів електроспоживання гірничих підприємств; II. Часові моделі режимів електроспоживання; III. Факторні моделі режимів електроспоживання.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Часові ряди електроспоживання ГЗК; II. Часові ряди електроспоживання копальні; III. Графік електроспоживання; IV. Значення коефіцієнтів моделей режимів ЕП; V. Модель сезонності режиму електроспоживання.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ігор СІНЧУК		
II	Ігор СІНЧУК		
III	Ігор СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Математичне моделювання режимів електроспоживання гірничих підприємств	10.09.25
2	Часові моделі режимів електроспоживання	17.09.25
3	Сезонність електроспоживання	19.10.25
4	Факторні моделі режимів електроспоживання	24.10.25
5	Часові факторні моделі електропостачання	28.11.25
6	Моделі режимів електроспоживання, що враховують факторний та часовий аспекти їх формування	04.12.25

Дата видання завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Владислав ПРИЄМСЬКИЙ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи магістра на тему: «Дослідження алгоритмів адаптації режимів електроспоживання з врахуванням клімато-метеорологічних та сезонних факторів», КНУ.РМ.141.25.668-03

Об'єкт розробки – режими електроспоживання.

Мета роботи – дослідження алгоритмів адаптації режимів електроспоживання з врахуванням клімато-метеорологічних та сезонних факторів.

У роботі було розглянуто можливості підвищення ефективності керування режимами електроспоживання та забезпечення енергетичної ефективності об'єкта шляхом розроблення та дослідження алгоритмів, що базуються на прогнозуванні навантаження з урахуванням стохастичного впливу клімато-метеорологічних та сезонних факторів.

В умовах зміни клімату, коли зростає частота та амплітуда екстремальних погодних явищ, статичні моделі керування втрачають свою ефективність.

Виникає об'єктивна необхідність у розробці адаптивних алгоритмів, здатних у реальному часі коригувати режими електроспоживання, використовуючи оперативні метеорологічні прогнози.

Застосування таких алгоритмів дозволить реалізувати предикативне керування навантаженням, оптимізувати роботу систем накопичення енергії та зменшити фінансові витрати на електроенергію.

Таким чином, дослідження алгоритмів адаптації режимів електроспоживання з урахуванням динаміки клімато-метеорологічних

факторів є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню стійкості енергосистеми та енергоефективності споживачів.

РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, АЛГОРИТМИ АДАПТАЦІЇ,
КЛІМАТО-МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ, СЕЗОННІ ФАКТОРИ

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Математичне моделювання режимів електроспоживання гірничих підприємств.....	9
1.1. Вихідні положення.....	9
Розділ 2. Часові моделі режимів електроспоживання	12
2.1. Сезонність електроспоживання	12
Розділ 3. Факторні моделі режимів електроспоживання	25
3.1. Часові факторні моделі електропостачання	25
3.2. Моделі режимів електроспоживання, що враховують факторний та часовий аспекти їх формування.....	31
Висновки	37
Список використаних джерел	39
Додатки.....	41

Вступ

На сучасному етапі розвитку світової енергетики ключовим вектором трансформації є перехід до концепції інтелектуальних мереж (Smart Grid), що передбачає не лише модернізацію силового обладнання, а й глибоку інтеграцію інформаційно-керуючих систем.

Забезпечення надійності та економічності електропостачання стає дедалі складнішим завданням в умовах зростання частки стохастичних навантажень та відновлюваних джерел енергії, генерація яких безпосередньо залежить від погодних умов.

Режими електроспоживання промислових, комунальних та побутових об'єктів мають яскраво виражену кореляційну залежність від клімато-метеорологічних та сезонних факторів.

Температура навколишнього середовища, вологість повітря, швидкість вітру та рівень інсоляції суттєво впливають на графіки навантаження, особливо в частині систем опалення, вентиляції та кондиціонування.

Традиційні підходи до прогнозування та керування електроспоживанням часто базуються на усереднених статистичних даних або жорстких графіках, що не дозволяє оперативно реагувати на різкі зміни погоди. [1, 2]

Це призводить до виникнення небалансів потужності, перевантаження мереж у пікові години та, як наслідок, до зниження енергоефективності системи в цілому.

Таким чином, аналіз стану проблеми свідчить, що ігнорування клімато-метеорологічних факторів при керуванні електроспоживанням призводить до значних енергетичних втрат та зниження надійності системи.

Поставлена мета роботи, спрямована на створення адаптивних алгоритмів, є своєчасною та обґрунтованою.

Вирішення окреслених задач дозволить створити науково-методичну базу для переходу до інтелектуального керування енергоресурсами, що відповідає сучасним тенденціям розвитку енергетики.

Розділ 1. Математичне моделювання режимів електроспоживання гірничих підприємств

1.1. Вихідні положення

Підвищення ефективності застосування електроенергії на гірничих підприємствах при погіршенні стану мінерально-сировинної бази, ускладненні гірничо-геологічних умов розробки корисних копалин вимагає, поряд з іншими заходами, розробки моделей, що адекватно відображають закономірності електроспоживання [3].

Використання цих моделей підвищує обґрунтованість планування витрат електроенергії гірничими підприємствами, забезпечує її раціональне споживання.

Підвищення обґрунтованості планування ЕП гірничих підприємств передбачає використання прогностичних процедур, що спираються на ефективні предиктори.

Оцінка станів режимів ЕП гірничих підприємств являє собою задачу генерування моделей на базі статистичного матеріалу про значення витрат електроенергії та факторів, що його визначають, із застосуванням методів, що дозволяють виконувати рішення в умовах неповної інформації при зниженні розмірності вихідних даних ("стисненні" інформації).

Вирішення цієї задачі передбачає отримання часових, факторних моделей, а також моделей, що враховують факторний та часовий аспекти її формування.

Часові моделі являють собою мультиплікативну модель, складовими якої є апроксимовані часові функції представницьких векторів (для розкладання Карунена-Лоева) або головних компонент (для розкладання за методом головних компонент) та матриці перетворення.

Факторні моделі являють собою множинну регресійну залежність виду (2.58), члени якої відображають вплив кожного фактора на ЕП.

Моделі, що враховують факторний та часовий аспекти її формування, являють собою адитивну модель, складові якої відображають вплив виробничих, часових та випадкових факторів.

Специфічні умови розробки родовищ в Україні, зокрема значні сезонні коливання температури та погодні умови, зумовлюють необхідність адаптації моделей електроспоживання.

Це особливо важливо для підвищення ефективності моделей (наприклад, у "перехідні" місяці (весна/осінь), коли відбуваються значні зміни у режимах роботи обладнання (наприклад, вентиляції, опалення та водовідливу) [4].

Гірничі підприємства України, такі як вугільні шахти, залізрудні кар'єри та гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК), характеризуються високими показниками електроспоживання.

Наприклад, річне споживання електроенергії великою шахтою або рудником може становити 10-40 ГВт·год, а річні витрати електроенергії ГЗК часто перевищують 100 ГВт·год.

Дослідження режимів електроспоживання (ЕП) для українських гірничих підприємств, що розташовуються у Криворізькому чи інших гірничодобувних регіонах, мають базуватися на аналізі актуальних статистичних даних (наприклад, за останні 5-10 років).

Дослідження ЕП підприємств, що розробляють вугільні, залізрудні чи поліметалеві родовища, повинні ґрунтуватися на статистичних даних, що охоплюють достатній період для врахування сучасних виробничих та кліматичних циклів.

Загальний масив статистичних даних склав: для показників місячного ЕП – понад 4500 значень, для показників факторів – понад 7000 значень.

З метою зручності подання та обробки інформації про режими витрат електроенергії та фактори, що його визначають, підприємствам, охопленим дослідженнями, присвоєні цифрові коди.

Синтез моделей ЕП, розрахунок статистик, параметрів виконані з використанням ЕОМ.

Розділ 2. Часові моделі режимів електроспоживання

2.1. Сезонність електроспоживання

Електроспоживання гірничих підприємств, що розробляють розсипні родовища має різко виражену сезонність: зростання рівня ЕП в період промивного сезону (травень-вересень місяці).

Характерні графіки ЕП ГЗК та копальні наведені на рис. 2.3 та 2.4.

Часові ряди ЕП зазначених ГЗК та копальні в абсолютних та відносних одиницях наведені в табл. 2.1, 2.2 та на рис. 2.1 (у % - рис. 2.2).

Для збереження конфіденційності чутливої інформації назви ГЗК та копалень були подані лише номерами.

Таблиця 2.1 Часові ряди електроспоживання підприємств, що розробляють розсипні родовища (мВт·год)

Номер року	Номер місяця												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ГЗК №1	1	4025	4384	4733	4163	5494	11779	13195	12312	12424	7767	4255	5423
	2	5236	4653	5328	4480	5348	12232	13633	11611	10506	4479	4479	4576
	3	4948	4885	5062	4333	5679	12602	14496	14106	13362	9696	4445	5112
	4	5585	5611	5123	4355	6195	13792	16750	16360	16049	10815	4597	5335
	5	6050	5301	5499	5160	4781	12424	14063	15607	14910	7521	4875	6497
	6	6237	5612	6006	5819	5437	13717	14297	15493	15619	8667	5361	5221
	7	5688	5688	5393	5582	4553	12354	14656	14834	16276	12413	4718	5393
	8	6023	5851	6029	5490	4939	12363	13678	14835	13338	14354	4419	5408
Копальня №1	1	1514	1179	1333	1569	2437	4364	4388	6179	5462	3644	3963	1493
	2	1131	810	1301	1340	2583	4775	5374	5159	5849	4808	3348	3104
	3	1232	870	1244	1362	2362	4665	5113	6391	5680	4351	3511	2196
	4	1652	920	1096	1177	2067	4857	5577	4836	5729	4600	3223	1990
	5	1372	1295	1166	1219	2040	4370	5161	5379	6045	4232	2000	1367
	6	1418	1157	1406	1436	2392	4957	5844	6168	6344	4060	3089	1641
	7	1698	1646	1476	1600	2230	3576	6500	5900	6065	5350	3831	1500
	8	1592	1874	1953	1824	2480	5000	5343	6856	5940	4679	3416	1819

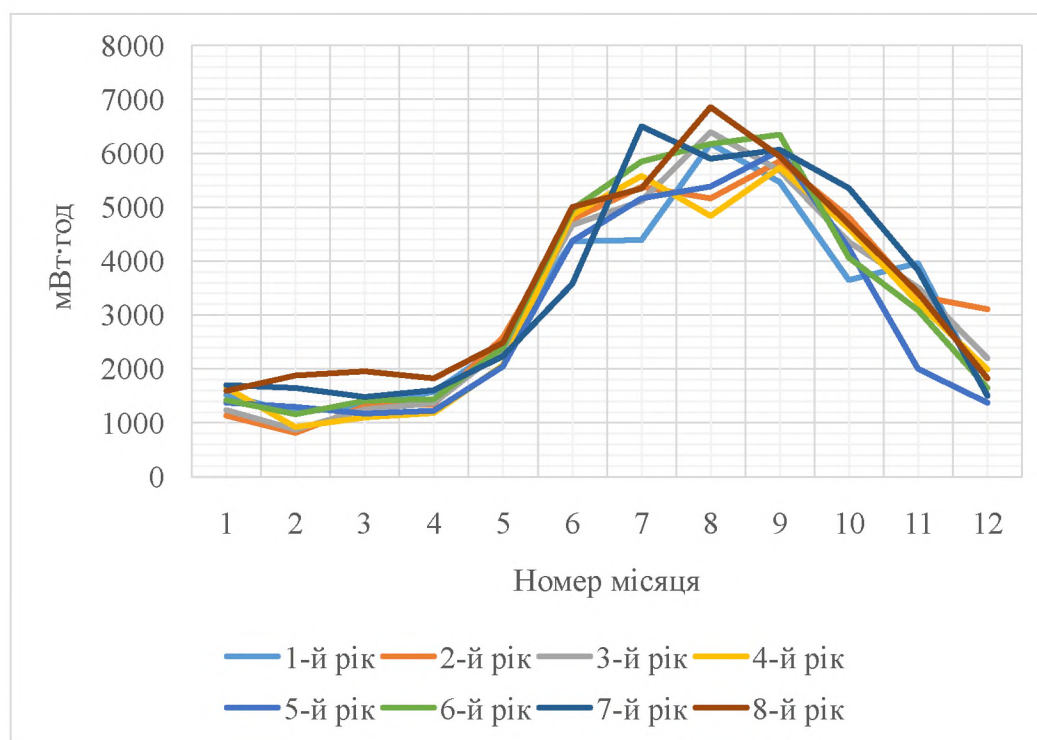
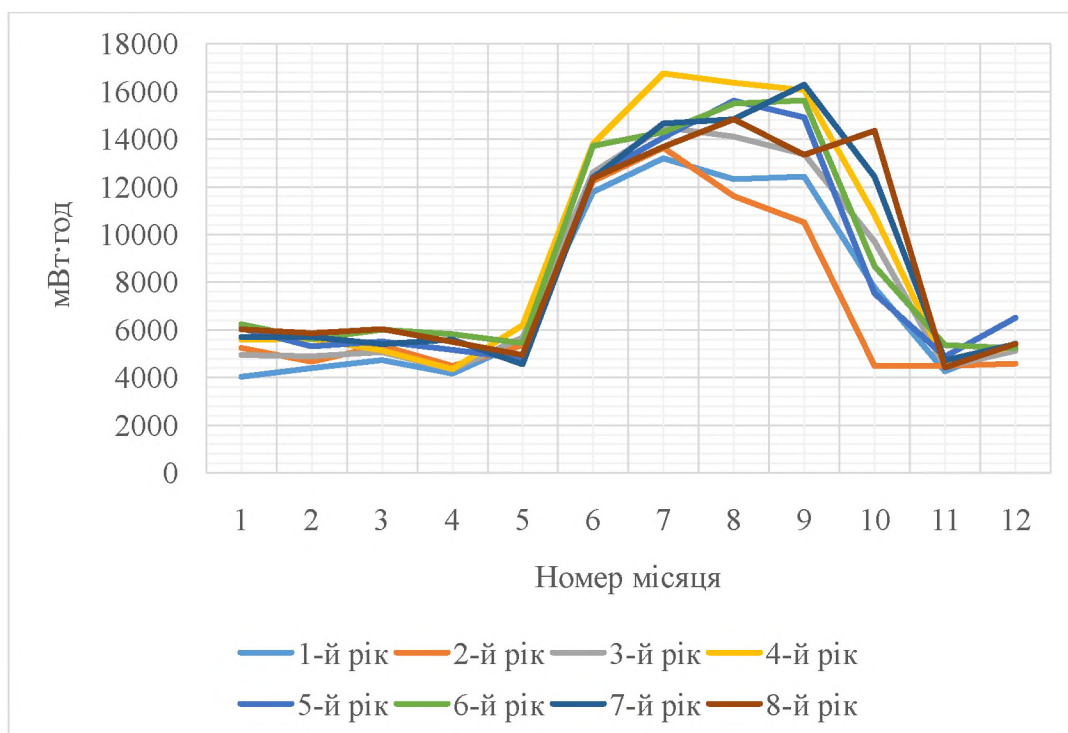


Рисунок 2.1. – Часові ряди електроспоживання підприємств, що розробляють розсипні родовища: а) – ГЗК №1; б) – копальня №1.

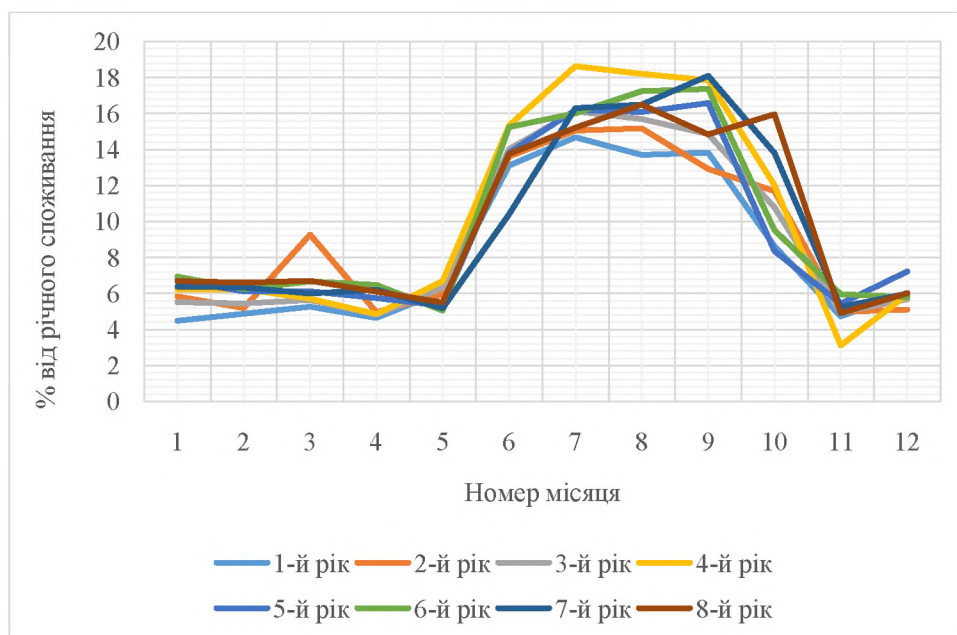
Таблиця 2.2 Часові ряди електроспоживання підприємств, що розробляють розсипні родовища (у % до річного споживання)

Номер року	Номер місяця											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ГЗК №1												
1	4,47	4,87	5,26	4,63	6,11	13,10	14,67	13,69	13,81	8,63	4,73	6,03
2	5,82	5,18	9,26	4,96	5,94	13,60	15,05	15,17	12,91	11,68	4,98	5,09
3	5,50	5,43	5,63	4,82	6,31	14,01	16,11	15,68	14,85	10,78	4,94	5,66
4	6,21	6,24	5,70	4,84	6,69	15,33	18,62	18,19	17,84	12,02	3,11	5,93
5	6,72	6,11	6,11	5,73	5,32	13,81	16,19	16,07	16,58	8,36	5,42	7,22
6	6,93	6,24	6,67	6,47	5,04	15,25	16,00	17,23	17,36	9,51	5,96	5,80
7	6,38	6,32	5,99	6,20	5,17	10,40	16,29	16,49	18,09	13,80	5,24	5,99
8	6,69	6,60	6,70	6,10	5,49	13,74	15,21	16,49	14,83	15,96	4,91	6,01
Копальня №1												
1	4,03	3,14	3,55	4,18	6,50	11,63	11,69	16,47	14,56	9,71	10,56	3,98
2	3,01	2,16	3,46	3,57	6,88	12,73	14,32	13,75	15,59	12,81	8,92	8,27
3	3,29	2,58	3,12	3,63	6,30	12,43	13,63	14,37	15,14	11,60	9,36	5,65
4	2,80	2,45	2,93	3,14	5,51	12,94	14,86	12,89	15,27	12,26	8,59	5,30
5	3,66	3,45	3,11	3,24	5,44	11,65	13,76	14,34	16,11	11,26	5,33	3,84
6	3,78	3,06	3,74	3,83	6,36	13,21	15,58	16,44	16,91	10,82	8,23	4,37
7	4,53	4,39	3,93	4,26	5,94	14,86	17,32	15,72	16,16	14,02	10,21	4,00
8	4,24	4,99	5,20	4,86	6,61	13,33	14,24	18,27	15,83	12,74	9,10	4,85

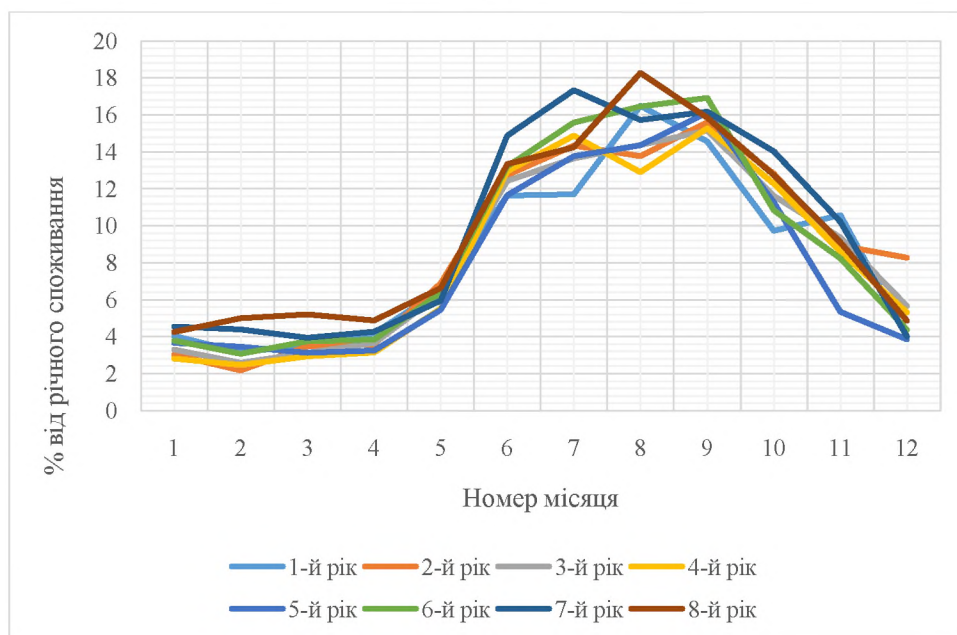
З представленого графічного матеріалу видно, що ЕП за місяці промивного сезону досягає 60-80% річного електроспоживання.

Так, в деякі роки за вказаний період ЕП досягало - до 70% річного електроспоживання. Ще більш різко виражена сезонність ЕП притаманна копальням.

Так, в деякі роки електроспоживання за період червень-вересень склало на копальні №1 78%, на копальні №2 - 87% річного споживання електроенергії.



а)



б)

Рисунок 2.2. – Часові ряди електроспоживання підприємств, що розробляють розсипні родовища (у % відносно річного споживання): а) – ГЗК №1; б) – копальня №1.

Про стійкість сезонності електроспоживання можна зробити висновок, аналізуючи статистику розподілів ЕП по місяцях.

Електроспоживання за кожен місяць має досить сильну концентрацію біля середнього значення, про що свідчать невеликі значення стандартів σ , відповідно, коефіцієнта варіації.

Близькі між собою значення середньої, медіани та моди також говорять про достатньо високу статистичну однорідність розподілів місячних витрат електроенергії на гірничих підприємствах.

Аналіз статистик розподілів місячного ЕП гірничих підприємств дозволяє прийняти гіпотезу про нормальність.

Разом з цим становить інтерес питання про належність вибірок розподілів місячного ЕП окремих підприємств до однієї генеральної сукупності для регіону.

Перевірка зазначеної гіпотези за критеріями рівності середніх та дисперсій дозволила зробити висновок про її прийняття.

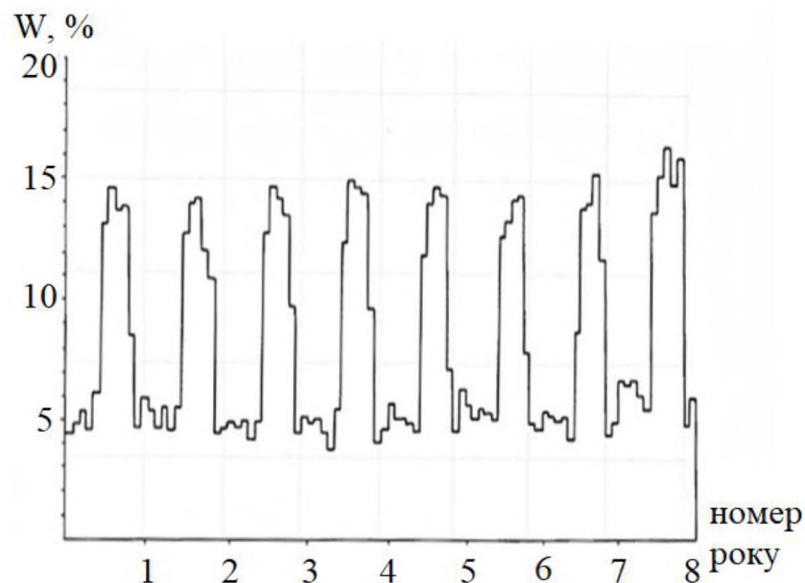


Рисунок 2.3 – Графік електроспоживання ГЗК №1

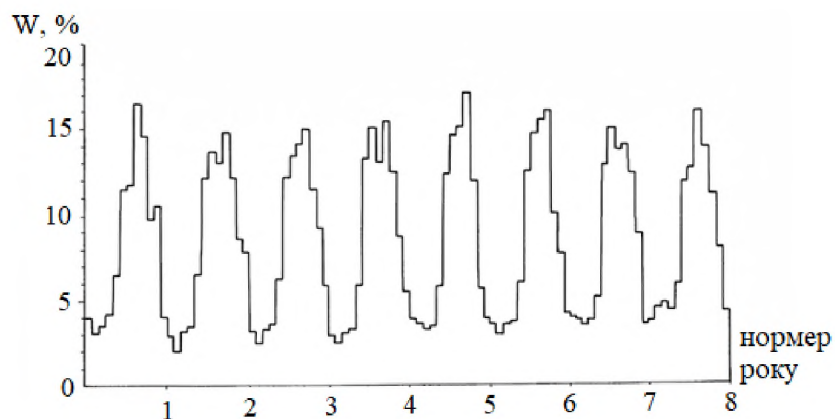


Рисунок 2.4 – Графік електроспоживання копальні №1

Відповідно до методики дослідження, вихідна інформація про витрати електроенергії, подана у матричному вигляді, була оброблена на ЕОМ з метою отримання часових моделей ЕП.

Моделювання електроспоживання.

Моделі режимів ЕП копалень отримано шляхом "стиснення" вихідної інформації із застосуванням розкладу Карунена-Лоева.

В результаті отримано характеристики 4-перших представницьких векторів γ_{pi} та відповідних їм векторів перетворення α_{ir} .

У табл. 2.3 наведено як приклад результати розкладу Карунена-Лоева стосовно вихідного вектора електроспоживання копальні №1.

Таблиця 2.3 Характеристики розкладу Карунена-Лоева для вихідного вектора режиму електроспоживання копальні ім. Фрунзе

Представницький вектор			Середнє значення вектора перетворення $\bar{\alpha}_{ir}$	Власне значення матриці коваріації вектора λ_r	Частка середньо-квадратичної похибки μ_i
Номер вектора	Позначення	Середнє значення $\bar{\gamma}_{ij}$			
1	γ_{1J}	26,58	0,321	917,7	0,9914
2	γ_{2J}	0,45	0,007	3,01	0,0032
3	γ_{3J}	0,26	0,012	1,18	0,0021
4	γ_{4J}	0,15	0,004	0,72	0,0017
5	γ_{5J}	0,09	0,010	0,48	0,0010
6	γ_{6J}	0,01	0,002	0,21	0,0004

Аналіз даних табл. 2.3 дозволяє зробити наступні висновки про властивості представницьких векторів, що описують режим ЕП:

1. В описі реального процесу режиму ЕП частка участі першого представницького вектора значно перевищує частки участі інших представницьких векторів (значення коефіцієнта вектора перетворення – коефіцієнта ваги першого вектора значно перевищує навіть найбільш значущі коефіцієнти ваги інших векторів).
2. Власне значення матриці ко-варіації вихідного вектора ЕП, що відповідає першому представницькому вектору , значно (більш ніж на два порядки) перевищує власні значення, що відповідають іншим представницьким векторам.

3. Частка середньоквадратичної похибки, що відповідає першому представницькому вектору, становить 99,14%, що свідчить про його високу інформативність. На основі викладеного можна констатувати, що перший представницький вектор розкладу Карунена-Лоева найбільш інформативно описує вихідну статистичну інформацію і може бути використаний для ефективного математичного моделювання режимів ЕП.

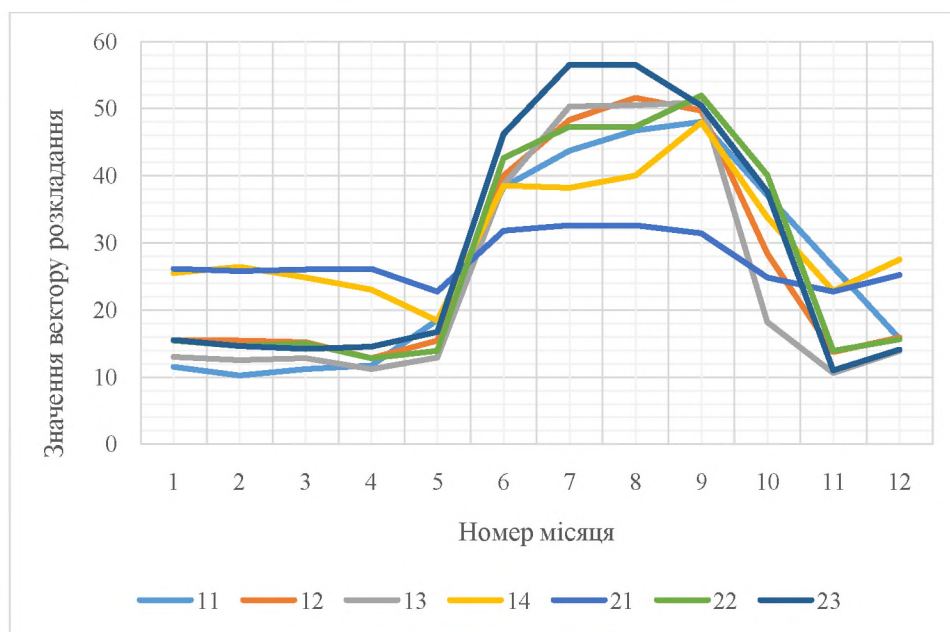
"Стиснення" інформації із застосуванням розкладу Карунена-Лоева було виконано і для копалень Криворіжжя.

Розгляд властивостей представницьких векторів показав, що для моделювання режимів ЕП доцільно використовувати перші представницькі вектори як найбільш інформативні (значення внесків перших представницьких векторів в опис сумарної дисперсії склали від 94,3% до 99,4%).

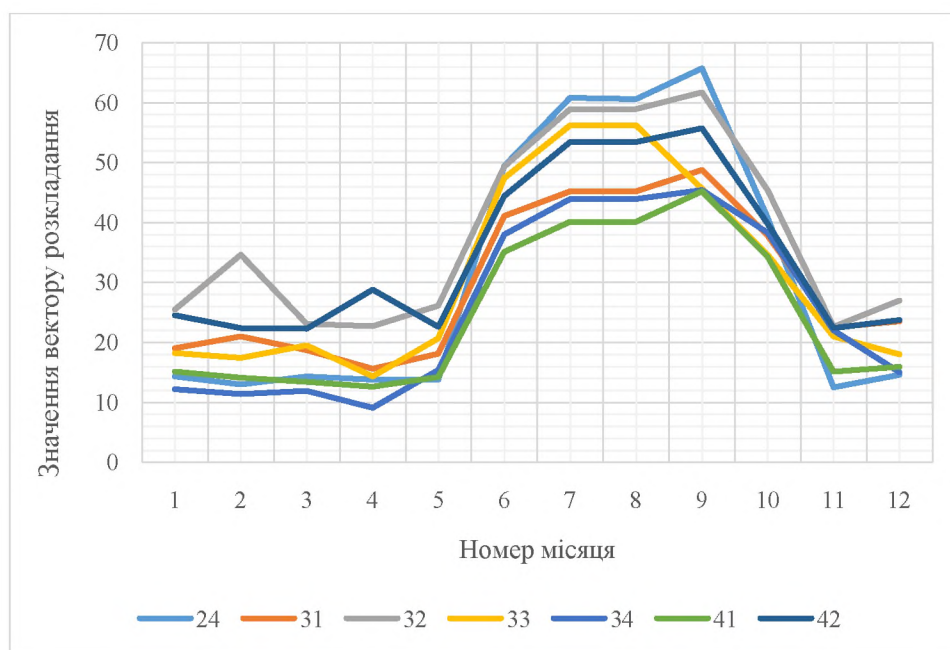
Часові ряди режиму ЕП копалень, описані першим представницьким вектором, наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Режими ЕП копалень, виражені першим представницьким вектором розкладання Карунена-Лоева

Підприємство	Номер місяця											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	11,5	10,2	11,2	11,7	18,5	38,3	43,7	46,7	48,0	37,1	26,4	15,7
12	15,5	15,4	15,2	12,8	15,4	40,0	48,3	51,6	49,7	28,4	13,7	15,9
13	13,0	12,5	12,8	11,2	12,9	38,6	50,3	50,5	50,9	18,2	10,6	13,9
14	25,5	26,4	24,8	23,0	18,4	38,5	38,2	40,0	47,9	33,8	22,8	27,5
21	26,1	25,8	26,0	26,1	22,7	31,8	32,6	32,6	31,4	24,8	22,7	25,2
22	15,4	14,6	15,0	12,8	13,9	42,6	47,3	47,3	51,9	40,1	13,9	15,6
23	15,5	14,6	14,2	14,5	16,7	46,2	56,5	56,5	50,4	37,6	11,0	14,1
24	14,3	13,0	14,3	13,8	13,8	49,4	60,8	60,6	65,7	40,8	12,5	14,6
31	19,0	21,0	18,7	15,6	18,1	41,1	45,2	45,2	48,8	37,8	22,5	23,5
32	25,5	34,6	23,1	22,7	26,1	49,3	58,9	58,9	61,7	45,4	22,6	27,0
33	18,2	17,4	19,5	14,3	20,7	47,4	56,2	56,2	45,6	34,6	21,0	18,0
34	12,2	11,4	11,9	9,1	15,4	38,0	43,9	43,9	45,4	38,3	22,0	15,0
41	15,1	14,1	13,4	12,6	14,2	35,1	40,1	40,1	45,2	34,3	15,1	15,9
42	24,5	22,4	22,3	28,8	22,6	44,4	53,4	53,4	55,7	39,8	22,4	23,7



а)



б)

Рисунок 2.5 – Режими ЕП копалень, виражені першим представницьким вектором розкладання Карунена-Лоева (а – підприємства 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23; б – підприємства 24, 31, 32, 33, 34, 41, 42)

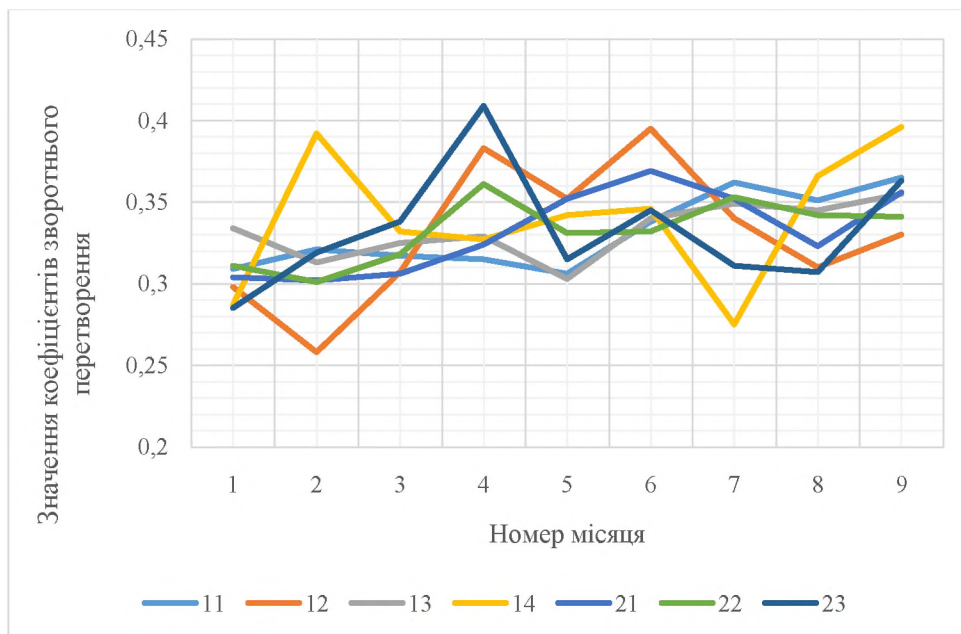
Значення вектора-стовпця матриці оберненого перетворення A , згідно, що відповідає першому представницькому вектору, наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 Значення коефіцієнта зворотного перетворення розкладання Карунена-Лоева

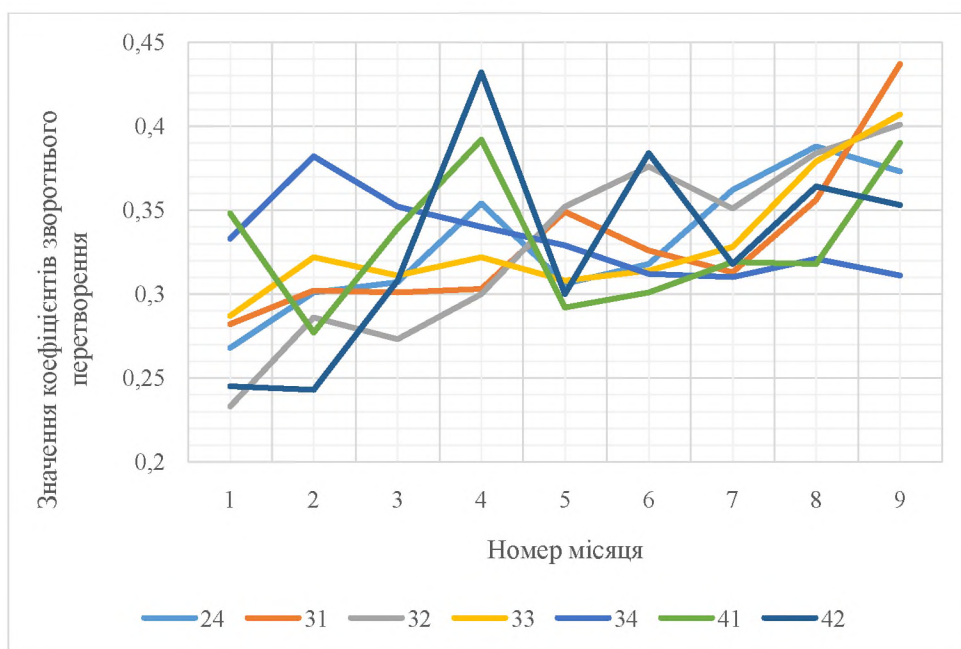
Підприємство	Номер місяця								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	0,309	0,321	0,317	0,315	0,306	0,338	0,362	0,351	0,365
12	0,298	0,258	0,307	0,383	0,352	0,395	0,340	0,310	0,330
13	0,334	0,313	0,325	0,329	0,303	0,340	0,349	0,345	0,355
14	0,287	0,392	0,332	0,327	0,342	0,346	0,275	0,366	0,396
21	0,304	0,302	0,306	0,324	0,352	0,369	0,352	0,323	0,356
22	0,311	0,301	0,318	0,361	0,331	0,332	0,353	0,342	0,341
23	0,285	0,319	0,338	0,409	0,315	0,345	0,311	0,307	0,363
24	0,268	0,301	0,307	0,354	0,306	0,318	0,362	0,388	0,373
31	0,282	0,302	0,301	0,303	0,349	0,326	0,313	0,356	0,437
32	0,233	0,286	0,273	0,300	0,352	0,376	0,351	0,384	0,401
33	0,287	0,322	0,311	0,322	0,308	0,314	0,328	0,379	0,407
34	0,333	0,382	0,352	0,340	0,329	0,312	0,310	0,321	0,311
41	0,348	0,277	0,339	0,392	0,292	0,301	0,319	0,318	0,390
42	0,245	0,243	0,308	0,432	0,300	0,384	0,318	0,364	0,353

Аналіз значень першого представницького вектора дозволяє зробити висновок, що графіки значень перших представницьких векторів відображають сезонність ЕП копалень і характеризуються наступним: мають періодичний характер (період 12 місяців), кусково-неперервні, мають скінченне число точок розриву першого роду, тобто задовольняють умови Діріхле.

У зв'язку з цим для апроксимації першого представницького вектора може бути використано розкладання в ряди Фур'є.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Значення коефіцієнта зворотного перетворення розкладання Карунена-Лоева (а – підприємства 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23; б – підприємства 24, 31, 32, 33, 34, 41, 42)

Розділ 3. Факторні моделі режимів електроспоживання

3.1. Часові факторні моделі електропостачання

Використання отриманих часових моделей ЕП гірничих підприємств для цілей планування витрат електроенергії є ефективним у тому випадку, коли відсутні різкі швидкоплинні зміни, що спричиняють значні відхилення в процесі ЕП.

У цьому випадку для підвищення ефективності управління ЕП гірничих підприємств доцільно використовувати залежності режимів ЕП від гірничо-геологічних, технологічних, організаційних та інших факторів [6].

Як приклад, можна розглянути матрицю (ЕП-Ф) для одного з ГЗК Криворізького басейну:

$$|EP - \Phi| = \begin{vmatrix} W(1) & F_1(1) & F_2(1) & F_3(1) & F_4(1) \\ W(I) & F_1(I) & F_2(I) & F_3(I) & F_4(I) \\ W(N) & F_1(N) & F_2(N) & F_3(N) & F_4(N) \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 81,2 & 113,8 & 39,8 & 59,2 & 107,3 \\ 80,1 & 108,6 & 39,9 & 46,9 & 109,0 \\ 92,9 & 114,0 & 39,8 & 52,8 & 106,3 \\ 90,9 & 102,0 & 42,5 & 57,5 & 104,3 \\ 106,9 & 99,3 & 45,1 & 62,4 & 105,4 \\ 104,4 & 96,9 & 46,1 & 69,2 & 105,9 \\ 99,16 & 89,8 & 55,0 & 69,1 & 120,4 \\ 103,3 & 99,7 & 53,9 & 65,6 & 122,4 \\ 105,1 & 92,0 & 56,3 & 73,9 & 123,4 \\ 103,9 & 83,1 & 58,2 & 82,5 & 127,0 \\ 102,2 & 81,1 & 61,1 & 87,9 & 123,0 \end{vmatrix} \quad (3.1)$$

Проте, використовувати основні гірничо-геологічні та технологічні фактори може бути складно через обмежений доступ до такої інформації (наприклад, через комерційну таємницю).

У зв'язку з цим доцільно використовувати планово-виробничі (або операційні) фактори, які опосередковано характеризують основні гірничо-геологічні та технологічні фактори.

До таких факторів слід віднести: вартість товарної продукції; собівартість продукції, віднесена до 1 грн вартості товарної продукції; вартість активної частини основних фондів; встановлена потужність двигунів.

Відповідно до методики досліджень, необхідно отримати вихідні статистичні масиви та побудувати матриці «ЕП-Ф» (Електроспоживання-Фактори) для гірничих підприємств України (наприклад, тих, що розробляють залізорудні, вугільні, марганцеві чи інші родовища).

У (3.1) вектори-стовпці від першого до п'ятого означають, відповідно, часові ряди: річного ЕП ГЗК за 11 років – $W(I)$; вартості основних фондів (активна частина) – $F_1(I)$; вартості товарної продукції – $F_2(I)$; собівартості на 1 грн.

Товарної продукції – $F_3(I)$; встановленої потужності електродвигунів – $F_4(I)$. Значення елементів векторів-стовпців наведені у відносних одиницях.

Таблиця 3.1 Статистики розподілу факторів, що впливають на ЕП

Фактор-аргумент	Середня арифметична	Стандартна похибка середньої	Коефіцієнт варіації	Дисперсія незміщення	Стандартне відхилення	Нормальність	
						асиметрія	ексцес
W(I)	100,5	1,20	3,98	16,0	4,00	0,092	0,79
F ₁ (I)	40,3	2,25	18,45	55,4	7,45	0,218	-1.72
F ₂ (I)	99,6	3,47	11,56	132,6	11,52	-0,226	-0,83
F ₃ (I)	61,9	3,5	18,90	135,9	11,66	0,884	-0,41
F ₄ (I)	99,3	2,44	8,15	65,5	8,09	0,689	-0,89

Статистична обробка та аналіз статистик (табл. 3.1) показують, що розподіли факторів одномодальні, мають незначні розсіяння навколо середніх (коефіцієнт варіації не перевищує 20%), а розрахункові значення асиметрії та ексцесу незначно відрізняються від гіпотетичних.

Таким чином, можна говорити, що розподіли факторів-аргументів близькі до нормального закону.

Разом з цим було встановлено, що строгих функціональних залежностей між факторами не спостерігається.

Таблиця 3.2 Кореляційна матриця (ГЗК №2)

Фактори	W(I)	F ₁ (I)	F ₂ (I)	F ₃ (I)	F ₄ (I)
W(I)	1,00	0,67	-0,69	0,68	0,47
F ₁ (I)	0,67	1,00	-0,93	0,93	0,91
F ₂ (I)	-0,69	-0,93	1,00	-0,91	-0,77
F ₃ (I)	0,68	0,93	-0,91	1,00	0,75
F ₄ (I)	0,47	0,91	-0,77	0,75	1,00

Вищевикладений попередній розгляд статистичної природи факторів дозволив застосувати для знаходження залежностей

Зв'язок між W(I) та факторами-аргументами F₁(I) не суперечить умові лінійності.

Визначення ступеня впливу факторів-аргументів на W(I) виконувалося методом покрокової регресії за допомогою послідовного включення в модель факторів, що мають найбільший частковий коефіцієнт кореляції з W(I), та розрахунком на кожному кроці характеристик, що показують адекватність отриманої моделі ЕП: сукупного коефіцієнта кореляції R, індексу детермінації D, F-критерію Фішера, залишкової дисперсії δ_2 .

При аналізі адекватності моделі проводилися: порівняння спостережуваного значення F-критерію з табличним значенням, зростання коефіцієнта кореляції та індексу детермінації, спадання залишкової дисперсії на кожному кроці наближення.

Значення параметрів отриманих факторних моделей для гірничих підприємств наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 Значення параметрів факторних моделей гірничих підприємств

Підприємство	Код	Коефіцієнти факторних моделей					Відносна похибка %
		$B_0 \cdot 10^{-1}$	$B_1 \cdot 10^{-1}$	$B_2 \cdot 10^{-1}$	$B_3 \cdot 10^{-1}$	$B_4 \cdot 10^{-1}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
ГЗК №1	20	-4,78	-	3,72	-	5,91	5,67
		-2,52	-	4,63	3,46	2,77	3,83
		-2,64	-7,43	4,10	7,19	4,06	3,12
ГЗК №2	30	-6,53	9,38	4,26	-	-	2,54
		-8,85	6,80	4,17	2,23	-	2,52
		-5,10	6,25	4,15	2,05	0,76	2,52
ГЗК №3	40	-0,57	-	2,77	-	5,31	7,23
		-0,65	-	2,17	0,50	5,45	7,03
		-0,60	-0,49	1,82	0,98	5,56	6,5
ГЗК №4	50	-1,04	6,65	7,00	-	-	7,35
		-1,44	14,01	6,42	-4,95	-	6,59
		-1,54	14,91	6,39	-3,59	-1,45	5,29
ГЗК №5	60	-3,24	6,32	-	0,50	-	14,0
		0,09	-7,32	2,87	4,56	-	7,55
		0,19	-7,77	2,81	4,63	0,48	7,51
ГЗК №6	70	-0,51	3,55	-	-	1,44	2,98
		-0,75	3,59	0,34	-	1,37	3,03
		0,09	3,41	1,23	0,33	1,17	2,63
ГЗК №7	80	-4,49	4,19	-	-	7,47	3,88
		-1,42	5,04	-	0,73	4,24	3,00
		-1,80	5,23	-0,24	0,69	4,32	2,99
ГЗК №8	100	0,02	-	5,48	-	2,36	3,06
		0,21	-	5,05	0,87	1,93	3,02
		-0,26	0,93	4,54	1,23	1,56	2,86
ГЗК №9	130	-1,66	8,87	2,10	-	-	4,52
		-1,98	5,26	2,09	-	0,65	4,56
		-2,24	5,88	2,16	0,92	1,16	4,55

Виконаний аналіз факторних моделей режимів ЕП показує, що найбільш суттєвим фактором-аргументом, що має найбільший вплив, є $P_T(I)$ – вартість товарної продукції.

Ранжування за ступенем впливу інших факторів-аргументів є неоднозначним.

Отримані моделі досить повно враховують вплив факторів-аргументів на витрати електроенергії, про що свідчить значення коефіцієнта множинної кореляції та індексу детермінації.

Отримані факторні моделі режимів ЕП можуть використовуватися при визначенні оперативних планових оцінок ЕП залежно від варіації планово-виробничих показників роботи гірничих підприємств.

Разом з цим розроблені моделі можуть використовуватися спільно з часовими моделями, забезпечуючи поправку значень витрат електроенергії, визначену за останніми.

3.2. Моделі режимів електроспоживання, що враховують факторний та часовий аспекти їх формування

Розглянуті часові та факторні моделі режимів ЕП гірничих підприємств генеруються з різних вихідних статистичних масивів та відображають різні якісні властивості процесу.

У зв'язку з цим становить інтерес синтез моделей, що враховують як факторний, так і часовий аспекти формування процесу ЕП гірничих підприємств [7].

У цьому випадку доцільно здійснити декомпозицію моделі та виділити в її детермінованій та випадковій складових компоненти, що залежать від планово-виробничих факторів та часу.

При цьому потрібно врахувати наступне:

1. Модель повинна бути за можливістю якомога простішою, у зв'язку з чим слід обмежити вибір факторів найзначнішими, що мають найбільший вплив на ЕП.
2. Параметри моделі повинні ідентифікуватися величинами, збір інформації про які не становив би значних труднощів, пов'язаних зі зміною, відсутністю звітно-статистичної документації на виробництві, таємністю даних тощо.

На основі вищевикладеного, а також відповідно до методичних принципів, синтез моделей, що враховують факторний та часовий аспекти їх формування, виконано для умов поліметалевих рудників.

Як показують виконані дослідження, найбільш значні фактори, що впливають на режими ЕП гірничих підприємств, пов'язані з виробництвом продукції, з її обсягом.

Аналіз звітно-статистичних даних показує, що на розглянутих підприємствах витрати на електроенергію, пов'язані з видобутком руди, досягають 80% електроспоживання рудників загалом і більше.

У зв'язку з цим видається доцільним побудувати факторну компоненту детермінованої складової моделі на базі показника, що визначає обсяг виробництва продукції (обсяг видобутку руди).

Аналіз ЕП гірничих підприємств показує, що в режимах витрат електроенергії є систематичні складові, що визначаються сезонністю.

У зв'язку з цим в детермінованій складовій моделі доцільно виділити часову компоненту «сезонність» [8].

Разом з цим, як показав досвід генерації розглянутих моделей, опис вищевказаними компонентами процесу ЕП є недостатньо адекватним, що призвело до необхідності введення в детерміновану складову моделі компоненти, обумовленої впливом повільних процесів (зміна протягом часу гірничо-геологічних, технологічних умов, наприклад: зростання протяжності виробок, перехід на нижчі горизонти та ін.).

Випадкова складова моделі ЕП залежить від багатьох факторів, врахування впливу яких (кожного окремо та груп факторів) не є можливим.

Разом з цим слід зазначити, що врахування впливу зазначених факторів на ЕП не завжди доцільне, внаслідок їх незначного, а іноді й взаємовиключного впливу.

На підставі вищевказаного модель режимів ЕП доцільно синтезувати у вигляді:

$$W(V, I, J_{\delta}, t) = W(V) + W(I) + W(J_{\delta}) + S(t), \quad (3.2)$$

де $W(V, J, J_\delta, t)$ – електроспоживання гірничого підприємства в J -ий місяць року; $W(V)$ – факторна компонента детермінованої складової моделі, обумовлена впливом на ЕП найбільш значущого фактора – обсягу руди (V); $W(J)$ – часова компонента детермінованої складової моделі, обумовлена сезонністю ЕП; $W(J_\delta)$ – часова компонента детермінованої складової, обумовлена трендом умов гірничого виробництва, що змінює фактори, не враховані складовими $W(V)$ та $W(J)$; $S(t)$ – випадкова складова моделі («білий шум»); J, J_δ – номер місяців, відповідно, всередині року та з першого місяця базового року (першого аналізованого ряду).

Моделювання $W(V)$ здійснювалося на базі кореляційно-регресійного аналізу з попереднім встановленням характеру мінливості досліджуваних величин витрат електроенергії та видобутку руди шляхом визначення параметрів кореляційних еліпсів при довірчій ймовірності 0,95.

У зв'язку з цим було встановлено, що розподіл значень витрат електроенергії та видобутку руди близький до двовимірного нормального розподілу.

Виходячи з лінійності розподілу значень досліджуваних величин на кореляційному полі, регресійна залежність між ними знайдена у вигляді:

$$W(V) = A_0 + A_1 V, \quad (3.3)$$

де A_0, A_1 – параметри залежності.

Обчислені значення коефіцієнтів кореляції змінюються для умов рудників, що розглядаються, в межах від 0,60 до 0,86, що говорить про тісноту зв'язку між величинами, що розглядаються.

Адекватність опису вихідних статистичних рядів отриманою регресійною моделлю перевірялася на основі аналізу значень відхилень E_1 від значень моделі з використанням критерію Дарбіна-Уотсона DW.

Відхилення E_1 визначаються за виразом:

$$E_1 = W(t) - W(V), \quad (3.4)$$

де $W(t)$ – значення фактичного електроспоживання; $W(V)$ – значення складової електроспоживання, обчислені за (3.4).

Аналіз значень статистики показує, що немає достатніх підстав прийняти гіпотезу про відсутність автокореляції відхилень, що потребує подальшого аналізу.

Моделювання сезонної компоненти $W(J)$ здійснювалося на базі аналізу відхилень, характер зміни яких має циклічний вигляд, обумовлений сезонністю ЕП.

Графіки відхилень мають скінченне число точок розриву першого роду, що дозволяє застосувати для їх апроксимації розкладання в ряди Фур'є.

У зв'язку з викладеним сезонна компонента визначається виразом

$$W(J) = a_0 + \sum_{k=1}^m (a_k \cos \omega_k J + b_k \sin \omega_k J), \quad (3.5)$$

де a_0, a_k, b_k – амплітудні коефіцієнти гармонічних складових; $\omega_k = k/(2\pi/12)$ – частота гармонічних складових; K – номер гармонічної складової; m – число гармонічних складових.

Отримані факторна $W(V)$ та сезонна $W(J)$ складові зумовлюють основну частку впливу на режими ЕП.

Для встановлення повноти опису процесу ЕП зазначеними компонентами слід провести з використанням методу Форстера-Стюарта аналіз залишкових відхилень (різниць) E_1' , що визначаються за виразом

$$E_1' = W(t) - [W(V) - W(J)], \quad (3.6)$$

де $W(J)$ – значення складової електроспоживання, обчислені за (3.5).

Аналіз залишкових відхилень показав наявність тренду, що вимагає подальшого синтезу моделі.

Наявність тренду в залишкових відхиленнях відображає вплив повільних процесів гірничого виробництва на рівень ЕП.

Так, наприклад, збільшення протяжності виробок, збільшення глибини розробок підвищує витрати електроенергії на транспорт, провітрювання, втрати в технологічних трубопроводах (стиснене повітря, вода та ін.).

Апроксимація значень залишкових відхилень досить надійно описується поліномом першого ступеня.

Випадкова складова моделі ЕП визначається в результаті аналізу різниць між фактичним споживанням та детермінованою складовою.

Аналіз випадкової складової показує, що вона є некорельованим «білим шумом» з нульовим середнім і враховує випадкові відхилення значень фактичних витрат електроенергії від значень, визначених за моделлю. В умовах виконаних досліджень $S(t)$ не перевищує 5-7% фактичного ЕП.

Таким чином, вираз для моделі ЕП, що враховує факторний та часовий аспекти її формування, мають вигляд:

$$W(J_b) = K_0 + K_1 \cdot J_b, \quad (3.7)$$

$$S(t) = W(t) - [W(V) + W(J) + W(J_\delta)], \quad (3.8)$$

де $W(J_b)$ – значення складової електроспоживання, обчислені за (3.7).

$$W(V, J, J_b) = (A_0 + A_1 V) + [a_0 + \sum_{k=1}^m (a_k \cos \omega_k J + b_k \sin \omega_k J) + K_0 + K_1 \cdot J_b], \quad (3.9)$$

Оцінка ефективності моделей показала, що значення похибки δ_2 для різних моделей ЕП рудників не вийшли за межі 7-8%, що підтверджує достатню надійність отриманих моделей.

Отримані моделі ЕП рудників дозволяють підвищити рівень обґрунтованості при визначенні планових показників витрат електроенергії, прогнозуванні електроспоживання.

Висновки

Метою роботи було дослідження алгоритмів адаптації режимів електроспоживання з врахуванням клімато-метеорологічних та сезонних факторів.

Підвищення рівня планування та прогнозування електроспоживання гірничих підприємств має базуватися на використанні моделей, що адекватно описують його закономірності.

Для підвищення точності та достовірності оцінки станів режимів електроспоживання доцільно застосовувати методи теорії розпізнавання образів, що дозволяють приймати рішення в умовах невизначеності та неповноти інформації.

Здійснено застосування методів теорії розпізнавання образів (розклад Карунена-Лоева, метод головних компонент) для аналізу та оцінки станів режимів витрат електроенергії.

Отримано статистичні характеристики режимів витрат електроенергії гірничих підприємств, їх часові моделі, що являють собою мультиплікативні моделі, складовими яких є апроксимовані часові функції першого представницького вектора (розклад Карунена-Лоева) або першої головної компоненти (метод головних компонент), а також першого вектора матриці обернених перетворень.

Встановлено статистичні характеристики факторів, що впливають на режими електроспоживання; виконано кореляційний аналіз та встановлено ступінь взаємозв'язку між планово-виробничими показниками – факторами та витратами електроенергії.

Отримано комбіновані моделі режимів електроспоживання гірничих підприємств у вигляді адитивних моделей, складові яких відображають вплив виробничих, часових та випадкових факторів.

Реалізовано алгоритм адаптації моделей режимів електроспоживання до кліматометеорологічних умов на базі статистичних оцінок багаторічних даних.

Список використаних джерел

1. Akhtar S., Shahzad S., Zaheer A. et al. Short-Term Load Forecasting Models: A Review of Challenges, Progress, and the Road Ahead. *Energies*. 2023. Vol. 16, Iss. 10. Art. 4060. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16104060>.
2. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. [Чинний від 2020-09-15]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 34 с.
3. Блінов І. В., Палачов С. О., Парус Є. В., Клименко О. Г. Функції сучасних систем енергоменеджменту мікромережі в умовах підключення до системи розподілу електроенергії згідно із вимогами міжнародних стандартів. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2025. Вип. 71. С. 15-27.
4. Kyrylenko O. V., Basok B. I., Baseyev Ye. T., Blinov I. V. Power industry of Ukraine and realities of the global warming. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2020. № 3. P. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>.
5. Жаркін А. Ф., Попов В. А., Ярмолюк О. С., Палачов С.О., Наталич В.О. Підвищення ефективності динамічного керування режимами розподільних мереж. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2025. Вип. 71. С. 5–14.
6. Кириленко О. В., Блінов І. В., Зайцев Є. О., Палачов С.О., Васильченко В.І. Впровадження міжнародних та європейських стандартів для розвитку ОЕС України згідно з концепцією Smart Grid. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2022. Вип. 63. С. 5–12.
7. Hunko I., Lezhniuk P., Lysyi V. Macromodeling for the forecasting of local energy supply systems balance, applying fractal properties of loading and generation graphs. *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University*. 2023. № 3. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5392-2023-3-1-8>.

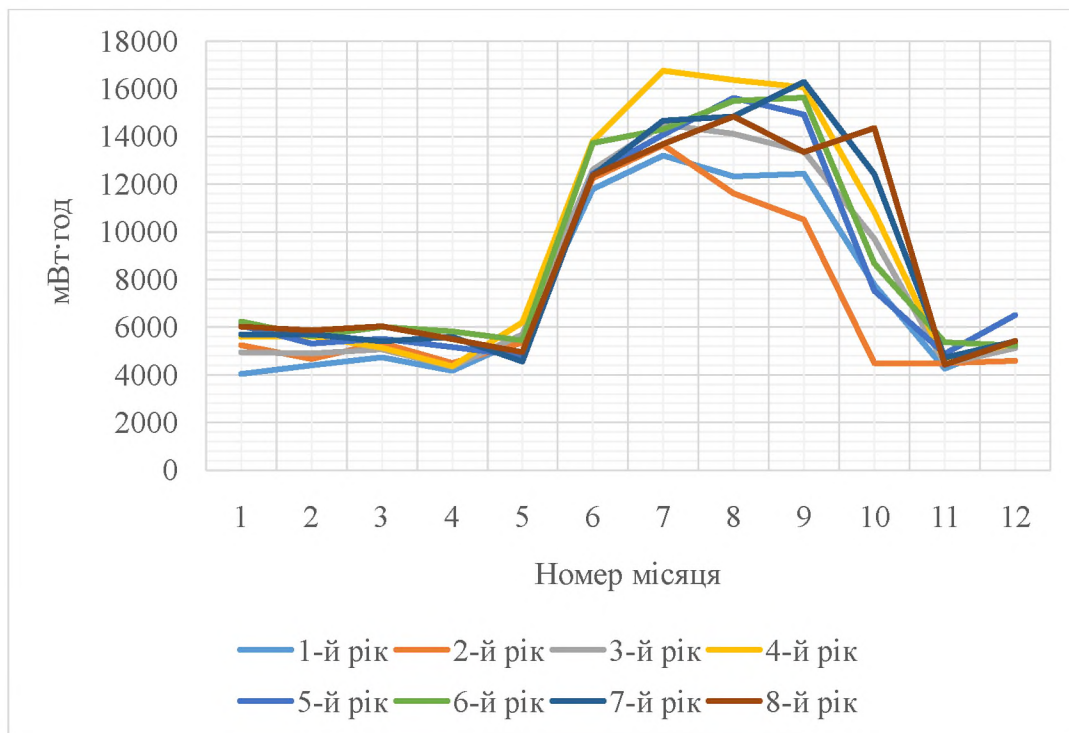
8. Cui P., Li H., Zhao W. et al. Adaptive Risk-Driven Control Strategy for Enhancing Highway Renewable Energy System Resilience Against Extreme Weather. *Energies*. 2025. Vol. 18, Iss. 20. Art. 5417. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18205417>.
9. Upadhyay S., Ahmed I., Mihet-Popa L. Energy Management System for an Industrial Microgrid Using Optimization Algorithms-Based Reinforcement Learning Technique. *Energies*. 2024. Vol. 17, Iss. 16. Art. 3898. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17163898>.
10. Остапченко К. Б., Борукаєв З. Х., Євдокімов В. А. Методика побудови моделі оперативного прогнозування показників стану ринку електричної енергії (цін та обсягів). *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. № 2. С. 66–74. DOI: <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.12>.

Додатки

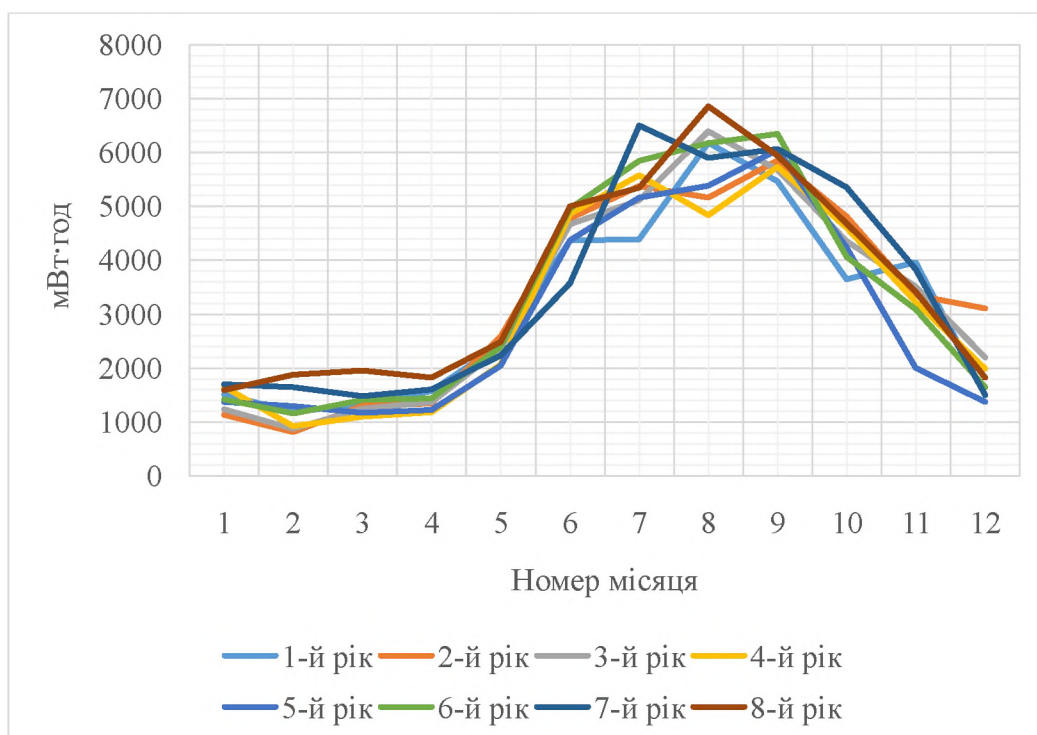
Часові ряди електроспоживання підприємств, що розробляють
розсипні родовища (мВт·год)

Номер року	Номер місяця											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ГЗК №1												
1	4025	4384	4733	4163	5494	11779	13195	12312	12424	7767	4255	5423
2	5236	4653	5328	4480	5348	12232	13633	11611	10506	4479	4479	4576
3	4948	4885	5062	4333	5679	12602	14496	14106	13362	9696	4445	5112
4	5585	5611	5123	4355	6195	13792	16750	16360	16049	10815	4597	5335
5	6050	5301	5499	5160	4781	12424	14063	15607	14910	7521	4875	6497
6	6237	5612	6006	5819	5437	13717	14297	15493	15619	8667	5361	5221
7	5688	5688	5393	5582	4553	12354	14656	14834	16276	12413	4718	5393
8	6023	5851	6029	5490	4939	12363	13678	14835	13338	14354	4419	5408
Копальня №1												
1	1514	1179	1333	1569	2437	4364	4388	6179	5462	3644	3963	1493
2	1131	810	1301	1340	2583	4775	5374	5159	5849	4808	3348	3104
3	1232	870	1244	1362	2362	4665	5113	6391	5680	4351	3511	2196
4	1652	920	1096	1177	2067	4857	5577	4836	5729	4600	3223	1990
5	1372	1295	1166	1219	2040	4370	5161	5379	6045	4232	2000	1367
6	1418	1157	1406	1436	2392	4957	5844	6168	6344	4060	3089	1641
7	1698	1646	1476	1600	2230	3576	6500	5900	6065	5350	3831	1500
8	1592	1874	1953	1824	2480	5000	5343	6856	5940	4679	3416	1819

Часові ряди електроспоживання підприємств, що розробляють розсипні родовища: а) – ГЗК №1; б) – копальня №1



а)

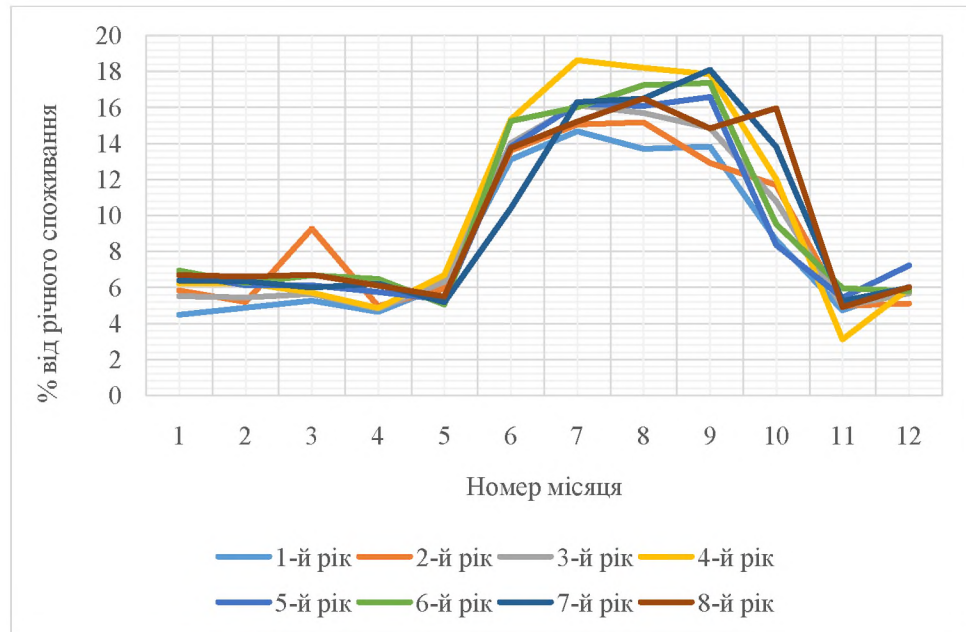


б)

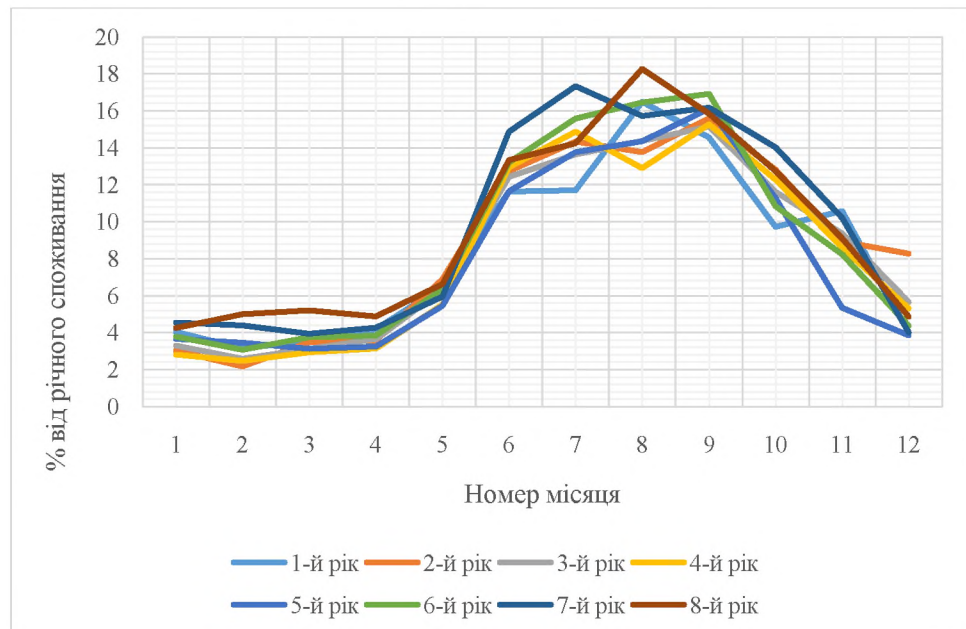
Часові ряди електроспоживання підприємств, що розробляють
розсипні родовища (у % до річного споживання)

Номер року	Номер місяця												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ГЗК №1	ГЗК №1												
	1	4,47	4,87	5,26	4,63	6,11	13,10	14,67	13,69	13,81	8,63	4,73	6,03
	2	5,82	5,18	9,26	4,96	5,94	13,60	15,05	15,17	12,91	11,68	4,98	5,09
	3	5,50	5,43	5,63	4,82	6,31	14,01	16,11	15,68	14,85	10,78	4,94	5,66
	4	6,21	6,24	5,70	4,84	6,69	15,33	18,62	18,19	17,84	12,02	3,11	5,93
	5	6,72	6,11	6,11	5,73	5,32	13,81	16,19	16,07	16,58	8,36	5,42	7,22
	6	6,93	6,24	6,67	6,47	5,04	15,25	16,00	17,23	17,36	9,51	5,96	5,80
	7	6,38	6,32	5,99	6,20	5,17	10,40	16,29	16,49	18,09	13,80	5,24	5,99
	8	6,69	6,60	6,70	6,10	5,49	13,74	15,21	16,49	14,83	15,96	4,91	6,01
Копальня №1	Копальня №1												
	1	4,03	3,14	3,55	4,18	6,50	11,63	11,69	16,47	14,56	9,71	10,56	3,98
	2	3,01	2,16	3,46	3,57	6,88	12,73	14,32	13,75	15,59	12,81	8,92	8,27
	3	3,29	2,58	3,12	3,63	6,30	12,43	13,63	14,37	15,14	11,60	9,36	5,65
	4	2,80	2,45	2,93	3,14	5,51	12,94	14,86	12,89	15,27	12,26	8,59	5,30
	5	3,66	3,45	3,11	3,24	5,44	11,65	13,76	14,34	16,11	11,26	5,33	3,84
	6	3,78	3,06	3,74	3,83	6,36	13,21	15,58	16,44	16,91	10,82	8,23	4,37
	7	4,53	4,39	3,93	4,26	5,94	14,86	17,32	15,72	16,16	14,02	10,21	4,00
	8	4,24	4,99	5,20	4,86	6,61	13,33	14,24	18,27	15,83	12,74	9,10	4,85

Часові ряди електроспоживання підприємств, що розробляють розсипні родовища (у % відносно річного споживання): а) – ГЗК №1; б) – копальня №1

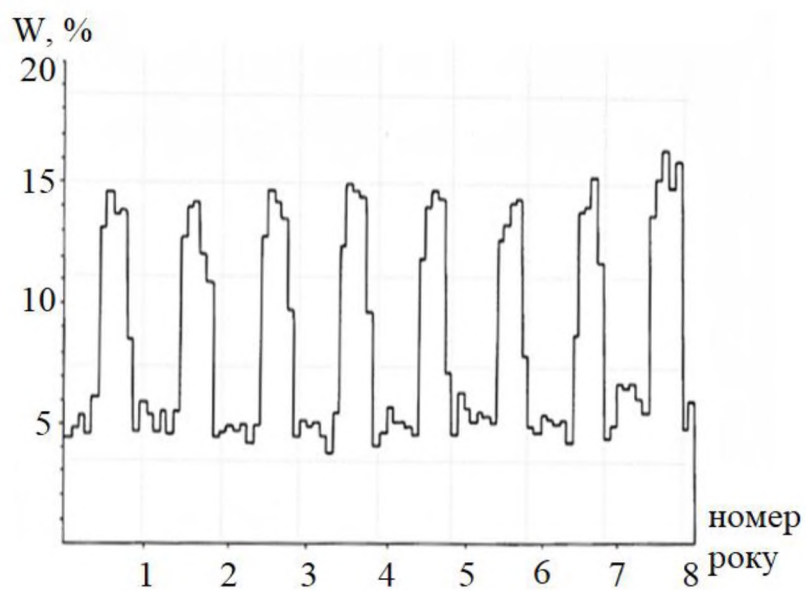


а)

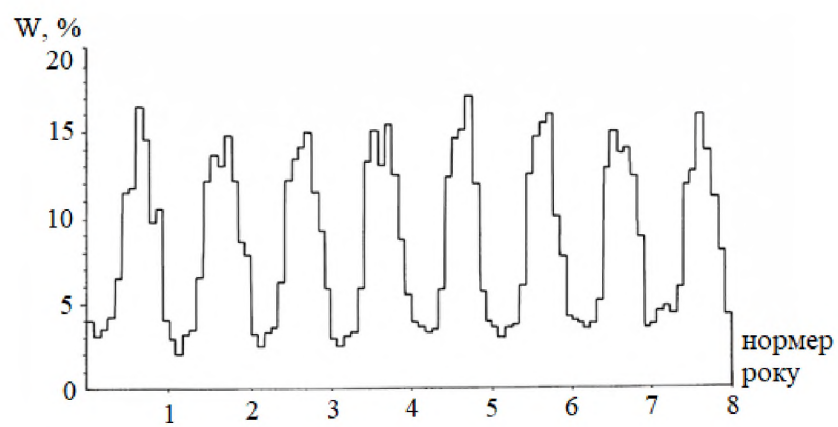


б)

Графік електроспоживання ГЗК №1



Графік електроспоживання копальні №1



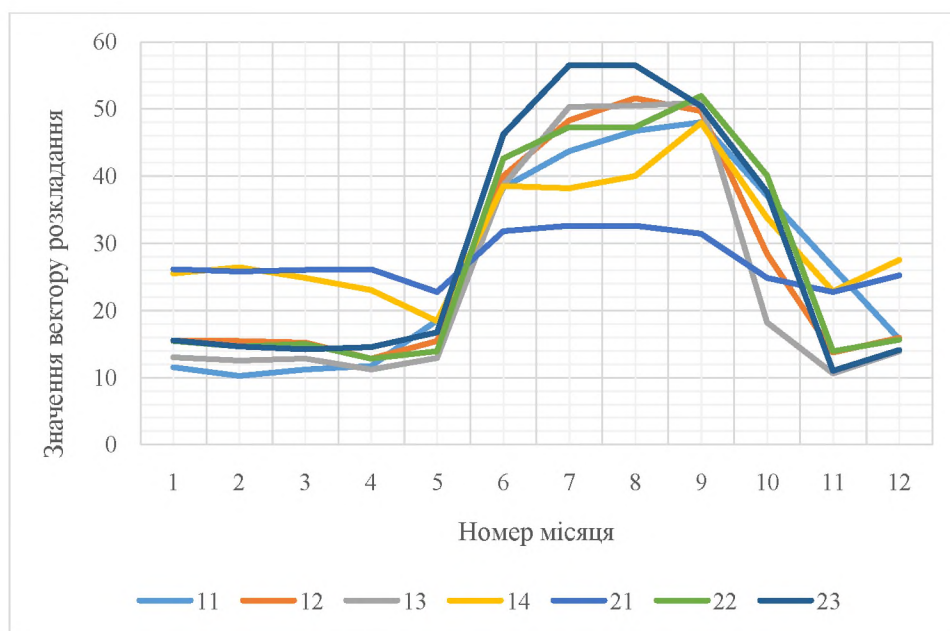
Характеристики розкладу Карунена-Лоева для вихідного вектора
режиму електроспоживання копальні ім. Фрунзе

Представницький вектор			Середнє значення вектора перетворення $\bar{\alpha}_{ir}$	Власне значення матриці коваріації вектора λ_r	Частка середньо- квадратичної похибки μ_i
Номер вектора	Позначення	Середнє значення $\bar{\gamma}_{ij}$			
1	γ_{1J}	26,58	0,321	917,7	0,9914
2	γ_{2J}	0,45	0,007	3,01	0,0032
3	γ_{3J}	0,26	0,012	1,18	0,0021
4	γ_{4J}	0,15	0,004	0,72	0,0017
5	γ_{5J}	0,09	0,010	0,48	0,0010
6	γ_{6J}	0,01	0,002	0,21	0,0004

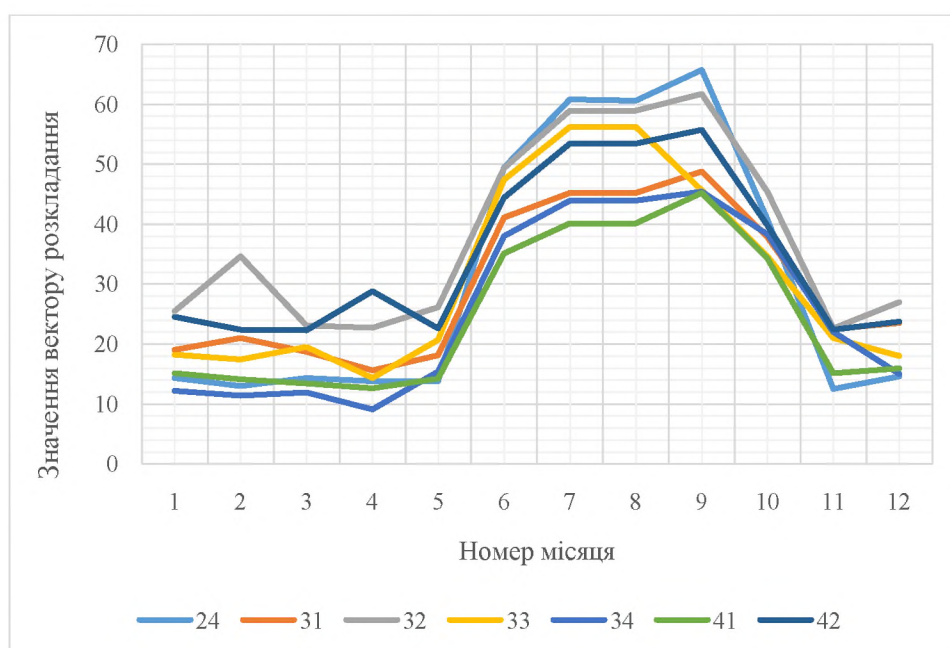
Режими ЕП копалень, виражені першим представницьким вектором
розкладання Карунена-Лоева

Підприємство	Номер місяця											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	11,5	10,2	11,2	11,7	18,5	38,3	43,7	46,7	48,0	37,1	26,4	15,7
12	15,5	15,4	15,2	12,8	15,4	40,0	48,3	51,6	49,7	28,4	13,7	15,9
13	13,0	12,5	12,8	11,2	12,9	38,6	50,3	50,5	50,9	18,2	10,6	13,9
14	25,5	26,4	24,8	23,0	18,4	38,5	38,2	40,0	47,9	33,8	22,8	27,5
21	26,1	25,8	26,0	26,1	22,7	31,8	32,6	32,6	31,4	24,8	22,7	25,2
22	15,4	14,6	15,0	12,8	13,9	42,6	47,3	47,3	51,9	40,1	13,9	15,6
23	15,5	14,6	14,2	14,5	16,7	46,2	56,5	56,5	50,4	37,6	11,0	14,1
24	14,3	13,0	14,3	13,8	13,8	49,4	60,8	60,6	65,7	40,8	12,5	14,6
31	19,0	21,0	18,7	15,6	18,1	41,1	45,2	45,2	48,8	37,8	22,5	23,5
32	25,5	34,6	23,1	22,7	26,1	49,3	58,9	58,9	61,7	45,4	22,6	27,0
33	18,2	17,4	19,5	14,3	20,7	47,4	56,2	56,2	45,6	34,6	21,0	18,0
34	12,2	11,4	11,9	9,1	15,4	38,0	43,9	43,9	45,4	38,3	22,0	15,0
41	15,1	14,1	13,4	12,6	14,2	35,1	40,1	40,1	45,2	34,3	15,1	15,9
42	24,5	22,4	22,3	28,8	22,6	44,4	53,4	53,4	55,7	39,8	22,4	23,7

Режими ЕП копалень, виражені першим представницьким вектором розкладання Карунена-Лоева (а – підприємства 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23; б – підприємства 24, 31, 32, 33, 34, 41, 42)



а)



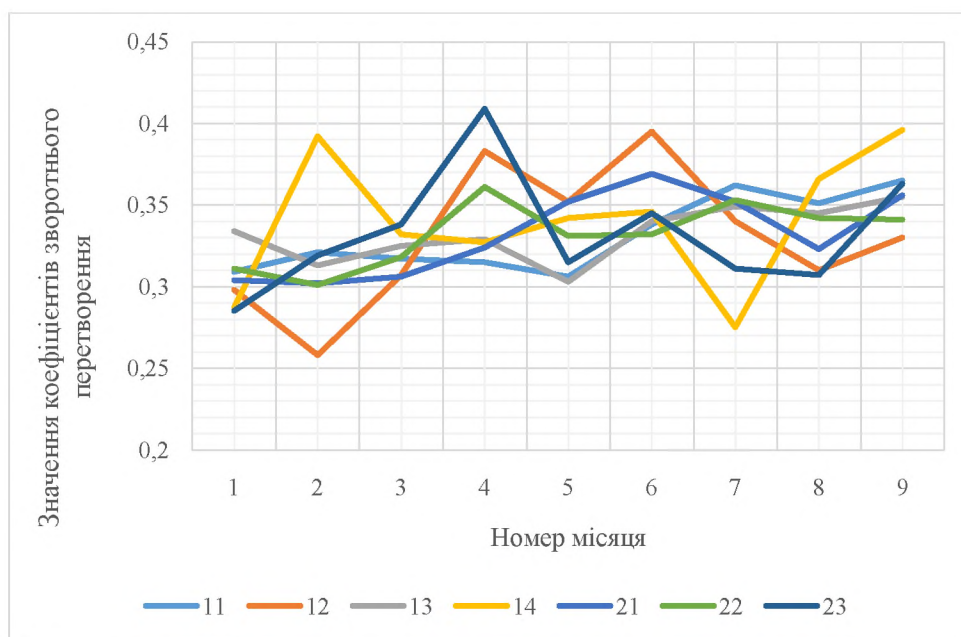
б)

Значення коефіцієнта зворотного перетворення розкладання

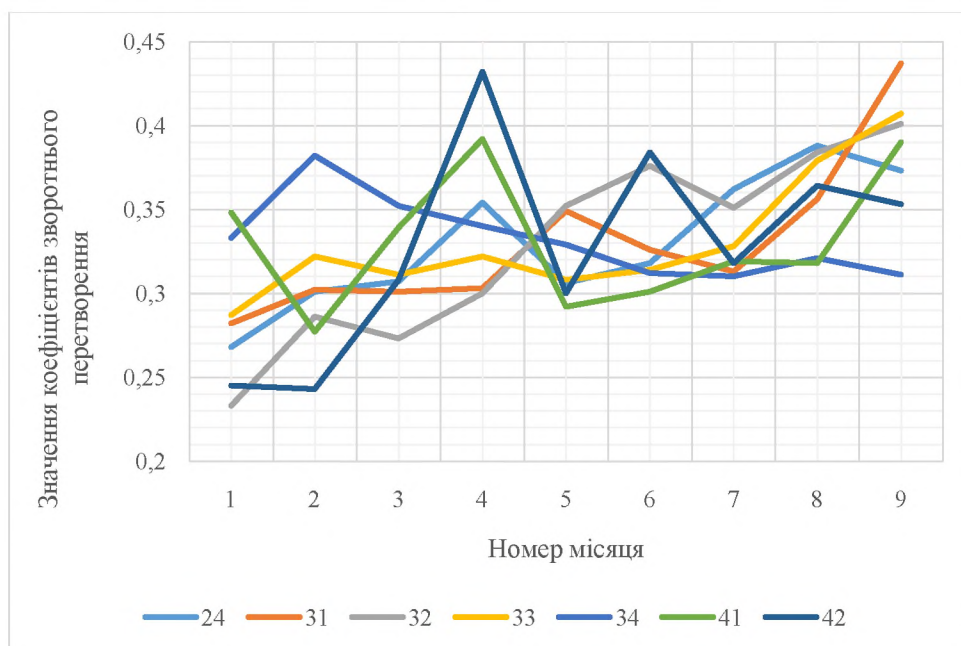
Карунена-Лоева

Підприємство	Номер місяця								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	0,309	0,321	0,317	0,315	0,306	0,338	0,362	0,351	0,365
12	0,298	0,258	0,307	0,383	0,352	0,395	0,340	0,310	0,330
13	0,334	0,313	0,325	0,329	0,303	0,340	0,349	0,345	0,355
14	0,287	0,392	0,332	0,327	0,342	0,346	0,275	0,366	0,396
21	0,304	0,302	0,306	0,324	0,352	0,369	0,352	0,323	0,356
22	0,311	0,301	0,318	0,361	0,331	0,332	0,353	0,342	0,341
23	0,285	0,319	0,338	0,409	0,315	0,345	0,311	0,307	0,363
24	0,268	0,301	0,307	0,354	0,306	0,318	0,362	0,388	0,373
31	0,282	0,302	0,301	0,303	0,349	0,326	0,313	0,356	0,437
32	0,233	0,286	0,273	0,300	0,352	0,376	0,351	0,384	0,401
33	0,287	0,322	0,311	0,322	0,308	0,314	0,328	0,379	0,407
34	0,333	0,382	0,352	0,340	0,329	0,312	0,310	0,321	0,311
41	0,348	0,277	0,339	0,392	0,292	0,301	0,319	0,318	0,390
42	0,245	0,243	0,308	0,432	0,300	0,384	0,318	0,364	0,353

Значення коефіцієнта зворотного перетворення розкладання Карунена-Лоева (а – підприємства 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23; б – підприємства 24, 31, 32, 33, 34, 41, 42)



а)



б)

Статистики розподілу факторів, що впливають на ЕП

Фактор-аргумент	Середня арифметична	Стандартна похибка середньої	Коефіцієнт варіації	Дисперсія незміщення	Стандартне відхилення	Нормальність	
						асиметрія	ексцес
W(I)	100,5	1,20	3,98	16,0	4,00	0,092	0,79
F ₁ (I)	40,3	2,25	18,45	55,4	7,45	0,218	-1.72
F ₂ (I)	99,6	3,47	11,56	132,6	11,52	-0,226	-0,83
F ₃ (I)	61,9	3,5	18,90	135,9	11,66	0,884	-0,41
F ₄ (I)	99,3	2,44	8,15	65,5	8,09	0,689	-0,89

Кореляційна матриця (ГЗК №2)

Фактори	W(I)	F ₁ (I)	F ₂ (I)	F ₃ (I)	F ₄ (I)
W(I)	1,00	0,67	-0,69	0,68	0,47
F ₁ (I)	0,67	1,00	-0,93	0,93	0,91
F ₂ (I)	-0,69	-0,93	1,00	-0,91	-0,77
F ₃ (I)	0,68	0,93	-0,91	1,00	0,75
F ₄ (I)	0,47	0,91	-0,77	0,75	1,00

Значення параметрів факторних моделей гірничих підприємств

Підприємство	Код	Коефіцієнти факторних моделей					Відносна похибка, %
		$B_0 \cdot 10^{-1}$	$B_1 \cdot 10^{-1}$	$B_2 \cdot 10^{-1}$	$B_3 \cdot 10^{-1}$	$B_4 \cdot 10^{-1}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
ГЗК №1	20	-4,78	-	3,72	-	5,91	5,67
		-2,52	-	4,63	3,46	2,77	3,83
		-2,64	-7,43	4,10	7,19	4,06	3,12
ГЗК №2	30	-6,53	9,38	4,26	-	-	2,54
		-8,85	6,80	4,17	2,23	-	2,52
		-5,10	6,25	4,15	2,05	0,76	2,52
ГЗК №3	40	-0,57	-	2,77	-	5,31	7,23
		-0,65	-	2,17	0,50	5,45	7,03
		-0,60	-0,49	1,82	0,98	5,56	6,5
ГЗК №4	50	-1,04	6,65	7,00	-	-	7,35
		-1,44	14,01	6,42	-4,95	-	6,59
		-1,54	14,91	6,39	-3,59	-1,45	5,29
ГЗК №5	60	-3,24	6,32	-	0,50	-	14,0
		0,09	-7,32	2,87	4,56	-	7,55
		0,19	-7,77	2,81	4,63	0,48	7,51
ГЗК №6	70	-0,51	3,55	—	—	1,44	2,98
		-0,75	3,59	0,34	-	1,37	3,03
		0,09	3,41	1,23	0,33	1,17	2,63
ГЗК №7	80	-4,49	4,19	-	-	7,47	3,88
		-1,42	5,04	-	0,73	4,24	3,00
		-1,80	5,23	-0,24	0,69	4,32	2,99
ГЗК №8	100	0,02	-	5,48	-	2,36	3,06
		0,21	-	5,05	0,87	1,93	3,02
		-0,26	0,93	4,54	1,23	1,56	2,86
ГЗК №9	130	-1,66	8,87	2,10	-	-	4,52
		-1,98	5,26	2,09	-	0,65	4,56
		-2,24	5,88	2,16	0,92	1,16	4,55