

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: «Аналіз методів підвищення точності оцінювання стану
енергетичних режимів роботи електроприймачів гірничих підприємств»

КНУ.МР.141.25.668-02

Виконав студент II курсу , групи ЗСЕР-24м /Юрій МОРОЗ/
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

МОРОЗ Юрій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Аналіз методів підвищення точності оцінювання стану енергетичних режимів роботи електроприймачів гірничих підприємств

1. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є підвищення точності оцінювання стану енергетичних режимів роботи електроприймачів гірничих підприємств. Завданням є аналіз методів оцінювання стану енергетичних режимів роботи електроприймачів гірничих підприємств.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Оцінка станів та моделювання енергетичних режимів електроспоживачів гірничих підприємств; II. Аналіз статистик розподілів електричних навантажень; III. Моделювання ефективності методів прогнозування для підвищення точності та достовірності оцінки стану процесу енергоспоживання використання електричної енергії в умовах залізрудних шахт.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Частка витрат електроенергії по видах робіт; II. енергоємність окремих технологічних процесів; III. Характерні графіки навантаження індивідуальних електроприймачів; IV. Полігони розподілу навантаження електроприймачів; V. Моделі режимів електричного навантаження споживачів.

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	Оцінка станів та моделювання енергетичних режимів електроспоживачів гірничих підприємств	10.09.25
2	Режими електричних навантажень споживачів копалень. Графіки електричних навантажень	17.09.25
3	Математичні моделі статистично неоднорідних режимів електричних навантажень	24.10.25
4	Моделювання режимів електричних навантажень	04.12.25
5	Енергетичні режими електроспоживачів поліметалічних рудників	10.12.25

Дата видання завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Юрій МОРОЗ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи магістра на тему: «Аналіз методів підвищення точності оцінювання стану енергетичних режимів роботи електроприймачів гірничих підприємств», КНУ.РМ.141.25.668-02

Об'єкт розробки – електроприймачі гірничих підприємств.

Мета роботи – Аналіз методів підвищення точності оцінювання стану енергетичних режимів роботи електроприймачів гірничих підприємств.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення протиріччя між зростаючими вимогами до енергоефективності гірничих виробництв та недостатньою достовірністю інформації про реальні режими роботи енергоємного обладнання.

Гірничодобувна промисловість є однією з найбільш енергоємних галузей.

Навіть незначна похибка в оцінці навантаження потужних електроприймачів (млинів, екскаваторів, підйомних установок) призводить до суттєвих фінансових втрат через неправильне планування заявленої потужності та штрафи за перетоки реактивної енергії.

Електроприймачі гірничих підприємств працюють у важких умовах: стохастичний характер навантаження, часті пуски та гальмування, наявність вищих гармонік та несиметрії напруги.

Стандартні прилади обліку та методи усереднення даних часто не здатні коректно відобразити динаміку цих процесів.

Це призводить до спотворення «енергетичного портрета» технологічного процесу.

Отже, підвищення точності оцінки стану енергетичних режимів є фундаментом для впровадження будь-яких систем автоматизованого керування енергоспоживанням, що робить тему своєчасною та актуальною.

ГІРНИЧІ ПІДПРИЄМСТВА, ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ, ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕЖИМИ, ТОЧНІСТЬ ОЦІНЮВАННЯ

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Оцінка станів та моделювання енергетичних режимів електроспоживачів гірничих підприємств.....	8
1.1. Вихідні положення.....	8
1.2. Режими електричних навантажень споживачів копалень. Графіки електричних навантажень	12
Розділ 2. Аналіз статистик розподілів електричних навантажень.....	16
Розділ 3. Математичні моделі статистично неоднорідних режимів електричних навантажень	26
3.1. Моделювання режимів електричних навантажень.....	26
3.2. Енергетичні режими електроспоживачів поліметалічних рудників.....	30
Висновки	39
Список використаних джерел	41
Додатки.....	43

Вступ

Ефективність функціонування сучасних гірничих підприємств безпосередньо залежить від раціонального використання енергетичних ресурсів.

В умовах постійного зростання вартості електроенергії та впровадження ринку енергоносіїв, точність обліку та контролю енергетичних режимів стає критичним фактором економічної стійкості підприємства.

Специфіка гірничого виробництва (енергоємних споживачів) характеризується різкозмінними навантаженнями, значними пусковими струмами, наявністю вищих гармонік та несиметрією напруги [1].

У таких умовах стандартні засоби вимірювання та традиційні методи розрахунку часто не забезпечують необхідної точності оцінки енергетичних параметрів.

Похибки у визначенні поточного стану електроприймачів призводять до неоптимального керування технологічними процесами, помилок у прогнозуванні споживання (що тягне за собою штрафні санкції за небаланси) та ускладнюють впровадження сучасних систем енергоменеджменту.

Тому аналіз існуючих методів оцінки стану та пошук шляхів підвищення їх точності в умовах промислових завод та стохастичних навантажень є актуальним науково-прикладним завданням, вирішення якого дозволить підвищити енергоефективність та надійність електропостачання гірничих підприємств.

Розділ 1. Оцінка станів та моделювання енергетичних режимів електроспоживачів гірничих підприємств

1.1. Вихідні положення

Підвищення ефективності електроспоживання (ЕП) на гірничих підприємствах зумовлене поліпшенням техніко-економічних показників використання електроенергії.

У цьому контексті значну роль відіграють обґрунтовані рішення, спрямовані на визначення очікуваних електричних навантажень (ЕН) та встановлення електроємності основних технологічних процесів при розробці корисних копалин.

Відповідно до поставлених завдань виконано дослідження режимів ЕН електроприймачів, енергоємності технологічних процесів і електробалансів енергоємних споживачів гірничих підприємств.

Полюві цикли досліджень охоплювали як підприємства з розробки розсипних (плоских) родовищ, так і поліметалічні рудники; практичні випробування проведено на прикладах українських гірничих підприємств (зокрема — у Кривому Розі та в інших гірничо-промислових регіонах України) [2].

Значну частину експериментальної роботи виконали наукові співробітники та кандидати технічних наук за участі технічних фахівців промислових підприємств.

Експериментальні дослідження охоплювали всі види технологічних процесів, що застосовуються при розробці розсипних родовищ:

- з використанням промивних установок (ПГШ, ПГБ) — технологія А;
- з використанням землесосів (ЗШ) — технологія Б;

- з використанням драг (ІЗТМ-250) — технологія В;
- з використанням екскаваторів (ЕКГ-4,6, Е-2505, ЕШ-10/70) — технологія Г;
- з використанням дражних (скруберних) бочок (ТОК-2Ю) — технологія Д.

Також досліджувались комбіновані варіанти технологій (А+Б, А+В, А+Б+В, А+Г тощо).

Крім того, експериментально охоплено всі енергоємні установки рудників: компресорні, вентиляторні, підйомні та водовідливні.

Цілеспрямованість вибору об'єктів дослідження підтверджується наступними оцінками енергоємності окремих видів технологічних процесів.

Для окремих ГЗК, що розробляють розсипні родовища, частка витрат електроенергії по видах робіт коливалась у межах (у % від загальних витрат електроенергії):

- підземні роботи — 0–25,3;
- гідравлічні роботи — 34,1–85,4;
- дражні роботи — 0–21,4;
- екскавація — 0,1–18,2;
- буріння — 0,1–24,8;
- інші — 1,0–18,0.

Для підприємств, що розробляють поліметалічні руди, енергоємність окремих технологічних процесів становила (у %):

- вироблення стисненого повітря — 33;
- вентиляція гірничих виробок — 20;

- підйом гірської маси — 15;
- водовідлив — 10;
- інші — 22.

Наведені дані підтверджують правильність вибору об'єктів дослідження та показують, що найбільш енергоємними на підприємствах з розробки розсипних родовищ є гідравлічні та дражні роботи (процеси промивки пісків), на які припадає сумарно до 85% витрат електроенергії.

На поліметалічних рудниках найбільш енергоємними є вироблення стисненого повітря, вентиляція, підйом гірської маси і водовідлив — разом до 75% витрат електроенергії.

Загальна тривалість експериментальних досліджень у умовах копалень становила: при вивченні режимів ЕН — близько 1000 дванадцятигодинних змін; статистичний масив отриманих півгодинних значень витрат електроенергії налічував понад 24 000 експериментальних точок.

При визначенні енергоємності технологічних процесів — понад 200 дванадцятигодинних змін; статистичний масив півгодинних значень витрат електроенергії і продуктивності становив понад 4 850 експериментальних точок.

Умови рудників: більше 340 семигодинних змін із об'ємом статистичного масиву понад 13 000 півгодинних значень витрат електроенергії.

Основні складові робочої методики при проведенні експериментальних досліджень:

1. Вивчення схеми електропостачання та визначення основних енергоємних електроприймачів, режимами яких підлягали дослідженню.

2. Фіксація номінальних параметрів досліджуваних електроустановок, перевірка відповідності технічних даних технологічного обладнання параметрам електрообладнання.
3. Узгодження з головним енергетиком підприємства точки підключення експериментальної установки, планування часу її включення, уточнення умов проведення робіт, у тому числі з техніки безпеки, при підключенні вимірювальних блоків на підстанціях або пунктах приєднання.
4. Перевірка узгодженості й правильності роботи вимірювальних приладів (лічильників експериментальної установки та лічильників досліджуваної установки) за допомогою вольтамперфазометра ВАФ-85.
5. Реєстрація під час дослідження енергоємності технологічних установок разом із вимірюванням витрат електроенергії та їх продуктивності. Порівняння результатів із даними щоденних маркшейдерських вимірювань і оперативних диспетчерських зведень.
6. Оцінка достовірності одержаної інформації по завершенні вимірювань шляхом порівняння даних на діаграмній стрічці реєструючих приладів, лічильників вимірювального блока та досліджуваної установки. Якщо розходження даних було менше ніж 2,5–3 %, експеримент вважався завершеним; у разі більшого розходження з'ясовувалися причини похибок і експеримент повторювався.

Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати надійні оцінки енергетичних режимів найбільш енергоємних споживачів гірничих підприємств, що розробляють розсипні та поліметалічні родовища.

1.2. Режими електричних навантажень споживачів копалень. Графіки електричних навантажень

В результаті експериментальних досліджень у умовах копалень отримано графіки ЕН як для індивідуальних, так і для групових споживачів. Найбільш характерні графіки навантажень наведені на рис. 1.1–1.4. На рисунках по осі абсцис відкладені півгодинні значення потужностей навантаження, віднесені до встановленої потужності приймача. Отримані графіки ЕН охоплюють практично всі застосовувані індивідуальні й групові електроприймачі і можуть слугувати базою для встановлення надійних статистичних оцінок.

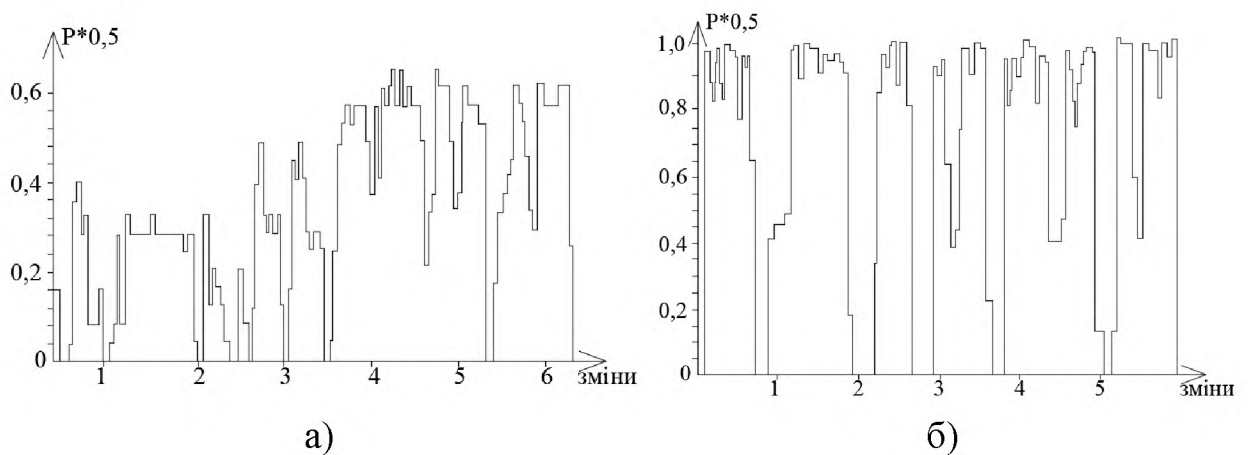


Рисунок 1.1 – Характерні графіки навантаження індивідуальних електроприймачів (а – промприлад ПГШ-П-50 (250кВт); б – промприлад ПГБ-1000 (320, 250 кВт))

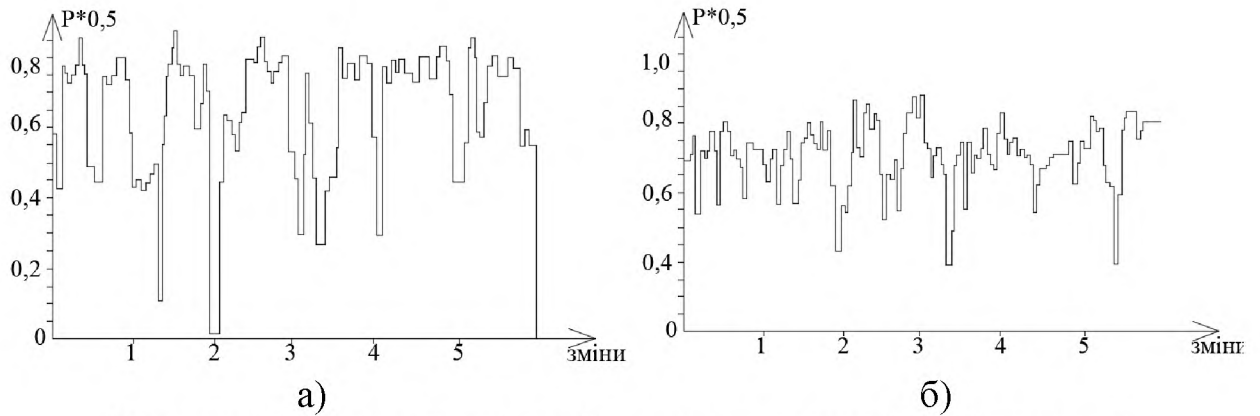


Рисунок 1.2 – Характерні графіки навантаження індивідуальних електроприймачів (а – дражна бочка ТОК-210; б – драга ІЗТМ-250)

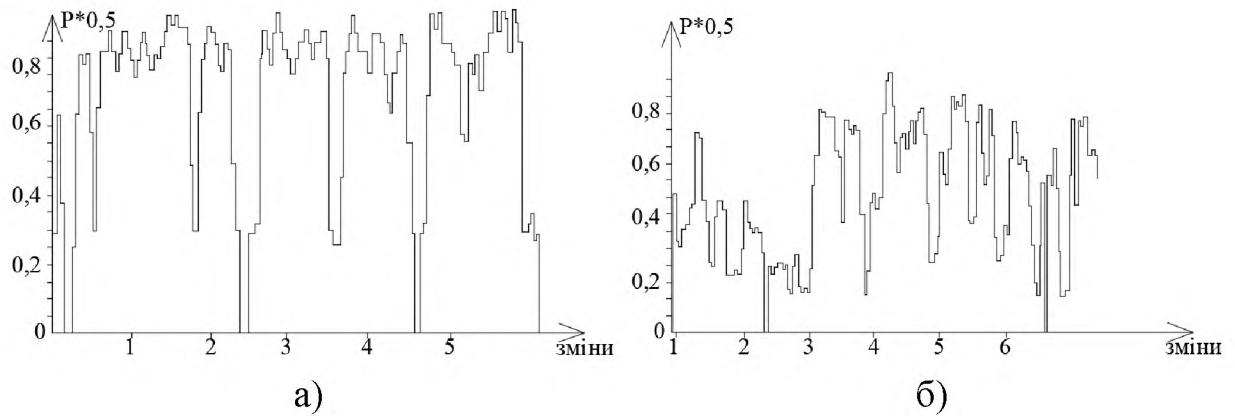


Рисунок 1.3– Характерні графіки електроприймачів (а – індивідуального (землесосна установка ЗГМ-2м); б – групового (2 промприлада ПГШ-П-250, насос водопостачання І2 Ндс, насос гідроприбирання І2 Ндс)

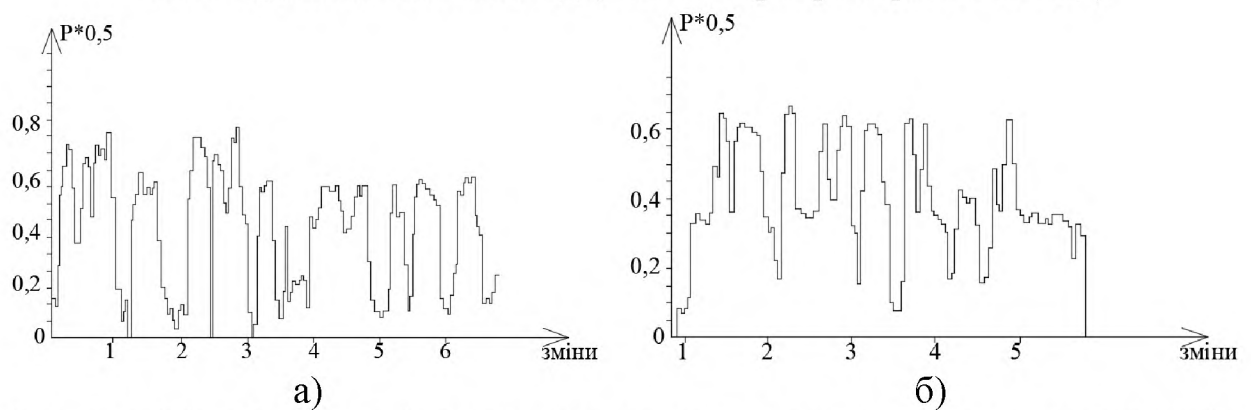


Рисунок 1.4 – Характерні графіки навантаження групових електроприймачів (а – промприлад ПГШ-2-50, землесос ЗГМ-2М, екскаватор ЕКГ-4,6, насоси водопостачання І2 Ндс, 8 Ндс; б – промприлад ПГШ-2-50, драга ІЗТМ-250, екскаватор Е-2505, насоси водопостачання І2 Ндс)

Аналіз графіків навантажень дозволяє констатувати таке:

1. Графіки ЕН як індивідуальних, так і групових приймачів мають ймовірнісний характер і представляють собою часові випадкові функції.
2. Основними структурними елементами, що формують графіки навантажень, є високовольтні (6 кВ) електродвигуни.
3. Режими ЕН споживачів копалень (як одиночних, так і групових) мають різко перемінний характер, що обумовлено такими факторами, як тривалість роботи електроприймачів під навантаженням, співвідношення часу роботи і пауз, безперебійність електропостачання тощо.
4. Індивідуальні споживачі характеризуються більшою мінливістю графіків порівняно з груповими.
5. Графіки ЕН мають циклічний характер, обумовлений повторенням технологічних операцій у змінному графіку (зміни — 12 годин).
6. Найбільш завантаженою є перша (нічна) зміна; менша завантаженість другої (денної) зміни пояснюється специфікою організації робіт на копальні, що призводить до більш тривалих пауз (збір золота, ремонтні та профілактичні роботи тощо).

Найбільша середньозмінна потужність у першій зміні спостерігається: для технології А — у 66 % змін, для технології Б — у 89 % змін, для технології В — у 83 % змін, для комбінованих технологій — у 83 % змін.

Найбільші півгодинні (пікові) навантаження розподіляються таким чином: для технології А — 55 % у першу та 45 % у другу зміну; для технології Б — відповідно 44 % і 64 %; для технології В — 78 % і 22 %; для комбінованих технологій — 83 % і 17 %.

Відповідно до методики дослідження виконано обробку масиву експериментальних даних.

Розділ 2. Аналіз статистик розподілів електричних навантажень

Статистики змінних графіків навантажень індивідуальних і групових електроприймачів наведені в табл. 2.1–2.3.

Для аналізу графіків ЕН розраховано статистичні характеристики змінних графіків: середнє (M), коефіцієнт варіації (V), розмах (R), мода (M_o), медіана (Me), середньоквадратичне відхилення (σ), дисперсія (D), асиметрія (A), ексцес (E).

Для індивідуальних електроприймачів статистики змінних графіків навантажень коливаються в межах, наведених у табл. 3.1.

З даних табл. 3.1 слідує, що середні навантаження за зміну для промприладів не перевищують 0,85 і не опускаються нижче 0,12 від установленної потужності електроприймачів.

Для драг середні навантаження за зміну знаходяться в діапазоні 0,19–0,78 від установленної потужності.

Для середніх змінних навантажень екскаваторів має місце діапазон 0,17–0,27 від установленної потужності електроприймачів.

Низькі середні змінні навантаження обумовлені переважанням режиму холостого ходу, простоями машин і механізмів, що, у свою чергу, зумовлено організаційно-технічними факторами.

Експлуатація електроприймачів у зазначеному діапазоні призводить до неоправданого витрачання електроенергії та погіршення техніко-економічних показників.

Розкид навантажень відносно середнього у змінних реалізаціях має доволі широкий діапазон для промприладів і драг, і помітно малий — для екскаваторів.

При цьому спостерігається тенденція: коли середні навантаження наближаються до верхніх меж діапазону, розкид зменшується; при наближенні до нижніх меж — розкид збільшується.

Іншими словами, великі значення дисперсії та коефіцієнтів варіації відповідають тим змінним реалізаціям, для яких середні змінні навантаження менші.

Це свідчить про неоднорідність режимів роботи електроприймачів при низьких значеннях середніх змінних навантажень; ця неоднорідність зменшується зі зростанням середніх змінних навантажень.

Розмах зміни навантажень електроприймачів машин і механізмів має досить широкі межі; у деяких змінних реалізаціях він досягає 100 %, тобто графік навантажень змінюється від нульового до значення встановленої потужності.

Середні характеристики розподілів навантажень промприладів і драг вказують на їхню неоднорідність.

Для екскаваторів ця неоднорідність незначна.

Експериментальні розподіли змінних навантажень мають значні діапазони асиметрії та ексцесу: асиметрія може бути як правобічною, так і лівобічною; розподіли можуть бути і гостровершинними, і туповершинними.

Дані табл. 1.1 характеризують графіки навантажень індивідуальних електроприймачів як випадкові функції.

Зміни навантаження протягом зміни супроводжуються значними коливаннями: великі коливання притаманні промприладам, менші — екскаваторам.

Статистичні характеристики груп індивідуальних приймачів (середнє, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації) наведені в табл. 1.2.

Групові середні графіків навантажень показують: навантаження промприладів не перевищує половини їх встановленої потужності; для драг і землесосів навантаження становить приблизно 60 % від встановленої потужності; для екскаваторів навантаження не перевищує однієї четвертої встановленої потужності.

Це свідчить, з одного боку, про недовикористання потужності електроприймачів основних технологічних ділянок при розробці розсипних родовищ, про недовикористання продуктивності гірничих машин і механізмів; з іншого — про недостатню точність розрахунків при підборі потужності електроприймачів [3].

Загальні дисперсії навантажень показують, що, незважаючи на значну змінність навантажень протягом зміни, за тривалий період вони мають помірну мінливість.

Разом з тим можна стверджувати, що вплив окремих факторів на навантаження драг і особливо екскаваторів має збалансований характер, тобто переважання одного фактора не виявляється.

У випадку ж з промприладами спостерігається переважний вплив окремих факторів.

Таблиця 2.1 Статистики змінних графіків індивідуальних навантажень електроспоживачів.

Електроспоживачі	Статистичні характеристики								
	M	V	R	Mo	Me	σ	D	A	E
Промприлади	0,85	145,3	1,00	0,94	0,97	0,47	0,22	1,40	1,98
	0,12	3,67	0,06	0,052	0,030	0,053	0,033	-1,89	-1,99
Драги	0,78	103,2	0,90	0,86	0,78	0,30	0,90	2,13	2,29
	0,19	7,38	0,22	0,06	0,050	0,050	0,002	-1,72	-1,76
Екскаватори	0,27	43,4	0,33	0,32	0,20	0,09	0,010	0,94	1,54
	0,17	21,1	0,16	0,10	0,11	0,002	0,002	-1,32	-1,35

У чисельнику – максимальні значення, у знаменнику – мінімальні значення.

Таблиця 2.2 Групові статистики змінних графіків навантаження індивідуальних споживачів.

Електроспоживачі	Статистичні характеристики			
	M	D	σ	V
Промприлади	0,480	0,042	0,205	42,7
Драги	0,580	0,023	0,151	26,0
Землесоси	0,626	0,068	0,062	41,8
Дражна бочка	0,680	0,194	0,036	28,5
Екскаватори	0,220	0,0016	0,40	18,2

Певний інтерес представляють групові статистики графіків ЕН споживачів при застосуванні різних видів технологій (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 Діапазони зміни групових статистик графіків навантаження груп електроспоживачів основних видів технологій розробки розсипних родовищ.

Види технологій	Статистичні характеристики								
	M	V	R	Mo	Me	σ	D	A	E
З застосуванням промприладів	$\frac{0.70}{0.09}$	$\frac{141.1}{21.3}$	$\frac{1.04}{0.13}$	$\frac{0.94}{0.8}$	$\frac{0.83}{0.05}$	$\frac{0.36}{0.05}$	$\frac{0.13}{0.002}$	$\frac{1.04}{-1.94}$	$\frac{2.65}{-1.90}$
З використанням землесосів	$\frac{0.64}{0.05}$	$\frac{173.2}{5.2}$	$\frac{0.85}{0.02}$	$\frac{0.77}{0.4}$	$\frac{0.34}{0.01}$	$\frac{0.34}{0.01}$	$\frac{0.11}{0.0001}$	$\frac{2.67}{-1.43}$	$\frac{6.74}{-1.99}$
З застосуванням драг	$\frac{0.62}{0.18}$	$\frac{100.8}{11.26}$	$\frac{0.54}{0.24}$	$\frac{0.67}{0.6}$	$\frac{0.85}{0.22}$	$\frac{0.19}{0.06}$	$\frac{0.04}{0.0036}$	$\frac{0.53}{-2.10}$	$\frac{5.37}{-1.38}$
З застосуванням промприладів та землесосів	$\frac{0.68}{0.13}$	$\frac{89.9}{18.3}$	$\frac{0.93}{0.15}$	$\frac{0.85}{0.6}$	$\frac{0.77}{0.15}$	$\frac{0.33}{0.04}$	$\frac{0.11}{0.0002}$	$\frac{0.74}{-1.89}$	$\frac{3.44}{-1.75}$
З застосуванням промприладів і драг	$\frac{0.56}{0.20}$	$\frac{76.05}{5.97}$	$\frac{0.74}{0.10}$	$\frac{0.74}{0.08}$	$\frac{0.63}{0.19}$	$\frac{0.22}{0.3}$	$\frac{0.5}{0.001}$	$\frac{0.60}{-2.52}$	$\frac{7.21}{-1.94}$

У чисельнику — максимальні, у знаменнику — мінімальні значення.

Діапазони зміни середніх навантажень за окремі зміни є досить значними, межі цих діапазонів становлять:

- для технології з використанням промивних установок — 0,09–0,70;
- для технології з використанням землесосів — 0,05–0,64;
- для дражної технології — 0,18–0,62;
- для комбінованої технології (промивні установки та землесоси) — 0,13–0,68;
- для комбінованої технології (промивні установки та драги) — 0,20–0,56.

Наведені дані свідчать, що навантаження в окремих змінах розподіляється вкрай нерівномірно.

Так, нижні межі зазначених діапазонів вказують на роботу електроприймачів у режимах, близьких до холостого ходу.

Зокрема, для технології з використанням промивних установок кількість змін, у яких навантаження електроприймачів не перевищує 15 % від установленної потужності, становить 7,5 %, а кількість змін, у яких електроприймачі завантажені менш ніж на 25 %, — 25 %.

Для технології з використанням землесосів ці показники відповідно становлять 18,7 % і 39,5 %.

Для дражної технології зміни з навантаженням менше 15% не зареєстровані, а кількість змін з навантаженням менше 25% становить 5%.

Очевидно, що робота електроприймачів у таких режимах призводить до нераціонального (невиправданого) витрачання електроенергії.

Варіації навантажень протягом зміни є значними, що характеризується високими значеннями розмаху та коефіцієнта варіації.

При цьому більший розмах навантажень характерний для електроприймачів промивних установок, а менший — для електроприймачів драг.

Розкид навантаження відносно середнього значення у змінних реалізаціях свідчить про переважний вплив окремих факторів на навантаження для електроприймачів промивних установок і землесосів, тоді як для електроприймачів драг спостерігається комбінований вплив кількох чинників.

Розподіли значень змінних реалізацій у більшості випадків мають лівосторонню асиметрію та позитивну кюртозис (крутість).

Отримані статистичні характеристики електроспоживання гірничих машин і механізмів, що застосовуються у основних технологічних процесах при розробці розсіпних родовищ, свідчать про недостатню ефективність використання електроенергії на гірничих підприємствах.

Оцінка станів режимів електричних навантажень за наведеними статистичними характеристиками показує їх неоднорідний характер [4].

Підтвердженням цього є форма гістограм розподілів ЕН як для індивідуальних, так і для групових споживачів (рис. 2.5–2.6).

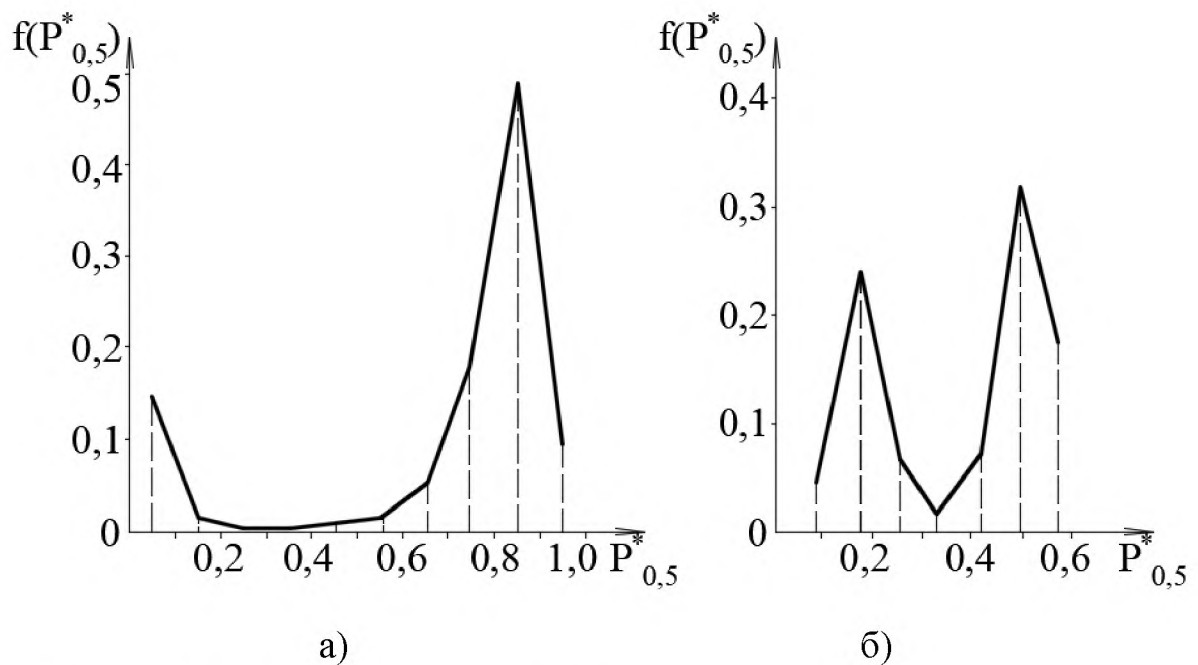


Рисунок 2.5 – Полігони розподілу навантаження електроприймачів (а – промприлади; б – землесоси)

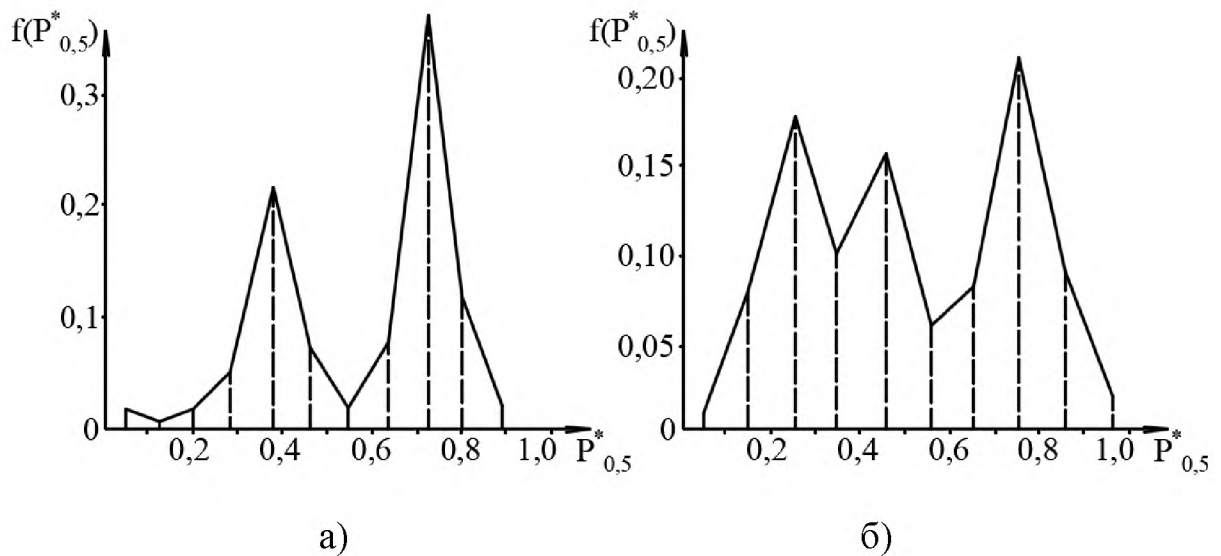


Рисунок 2.6 – Полігони розподілу навантаження групових електроприймачів (а – дренажна бочка (2x250кВт); б – промприлади (4x250кВт))

Розподіли навантажень мають полімодальний характер із кількома чітко вираженими максимумами.

У цьому випадку використання для аналізу та розрахунку ЕН усереднених значень за весь часовий інтервал неминує призводить до суттєвих похибок.

Існуючі методи розрахунку електричних навантажень (метод коефіцієнта максимуму, метод упорядкованих діаграм) ґрунтуються на розрахункових величинах, що визначаються за припущенням нормальності законів розподілу навантажень і усереднення їх по всьому часовому інтервалу розрахункового періоду (середня потужність за найбільш завантажену зміну, коефіцієнт використання тощо).

Застосування таких розрахункових величин призводить до значних похибок при визначенні електричних навантажень.

У таблиці 2.4 наведено розраховані відносні похибки (%) визначення розрахункових навантажень при використанні існуючих методів. Відносна похибка (%) визначається за виразом:

$$\delta = \frac{A_p \cdot A_{\phi}}{A_{\phi}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де A_p – розрахункове значення навантаження; A_{ϕ} – фактичне (виміряне значення навантаження).

Таблиця 2.4 Похибки визначення розрахункових навантажень без урахування умов роботи копальних електроприймачів

Технологічні групи електроприймачів	Похибка визначення розрахункових навантажень, %			
	Середня		Максимальна	
	$\delta P_c \cdot m$	$\delta Q_c \cdot m$	δP_p	δQ_p
Промприладів	83.0	135.3	47.1	88.3
Землесосів	97.0	101.5	58.5	62.9
Промприладів та землесосів	114.7	152.7	57.2	86.3
Драг	49.9	61.6	26.5	30.8
Промприладів, землесосів і драг	66.9	104.4	38.1	63.5
Екскаваторів	73.7	34.2	11.6	126.3

$P_c \cdot m$, $Q_c \cdot m$ – середні (активна і реактивна) потужності за найбільш завантажену зміну; P_p , Q_p – максимальні (активна і реактивна) розрахункові півгодинні потужності.

Наведені в таблиці 2.4 дані підтверджують, що використання існуючих методів, у яких застосовуються розрахункові величини, отримані шляхом

усереднення за весь розрахунковий часовий інтервал, призводить до значних похибок, оскільки не враховується полімодальність (статистична неоднорідність) розподілів електричних навантажень.

Підвищення ступеня адекватності оцінки та опису режимів електричних навантажень споживачів можливе шляхом застосування методології та методів, наведених в даній роботі.

Розділ 3. Математичні моделі статистично неоднорідних режимів електричних навантажень

3.1. Моделювання режимів електричних навантажень

Побудову адекватних математичних моделей виконано із застосуванням методів «стиснення» інформації (розкладання Карунена–Лоева) та класифікації значень першого представницького вектора із використанням методів кластерного аналізу (метод Ворда).

З урахуванням бімодальності розподілів електричних навантажень отримано статистичні характеристики для двох класів (рівнів) навантажень – максимального та мінімального.

У зв'язку з цим режими навантажень електроприймачів приїсків можна подати відповідно до виразу у вигляді дворівневої моделі.

Таким чином, для середньої потужності маємо:

$$P_c^* = P_{c \max}^* |t_{\max}^* + K_2(1 - t_{\max}^*)|, \quad (3.1)$$

де $P_{c \max}^*$ – середня потужність максимального рівня навантаження; $t_{\max}^*$ – час дії максимального рівня навантаження; K_2 – відношення середніх потужностей мінімального та максимального рівнів.

Наведена математична модель режимів електричних навантажень електроприймачів копалень виконує усереднення навантажень не по всьому розрахунковому часовому інтервалу (зміні), а по двох його ділянках, що відповідають діям максимального та мінімального рівнів.

На рисунку 3.1 наведено дворівневу модель режимів електричних навантажень споживачів копалень. Статистичні характеристики дворівневої моделі подані в таблиці 3.1.

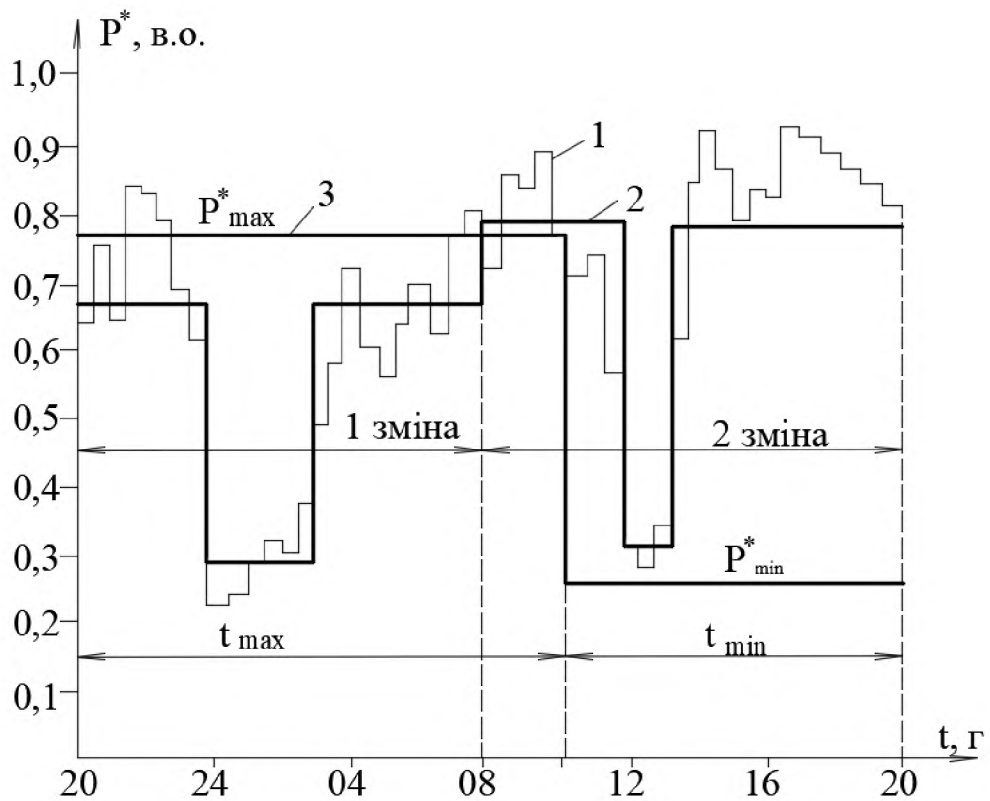


Рисунок 3.1 – Дворівнева модель режимів електричного навантаження споживачів копалень (1 – графік змінного навантаження; 2 – дворівневий еквівалент змінного навантаження; 3 – дворівневий еквівалент електричного навантаження)

Таблиця 3.1 Статистики характеристик моделей режимів електричних навантажень споживачів копалинь

Характеристики режимів навантаження	Мінімальне значення	Максимальне значення	Розмах	Математичне очікування	Середньоквадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
P^*_C $P^*_{C \max}$ $P^*_{C \min}$ $t^*_{C \max}$	Технологія з використанням промивочних насосів					
	0,124	0,773	0,649	0,416	0,145	0,349
	0,191	0,823	0,632	0,507	0,171	0,338
	0,000	0,729	0,729	0,270	0,131	0,485
	0,161	0,907	0,756	0,611	0,186	0,305
	Технологія із застосуванням землесосів					
	0,120	0,911	0,691	0,378	0,175	0,463
	0,160	0,852	0,692	0,432	0,170	0,395
	0,052	0,753	0,701	0,280	0,200	0,715
	0,167	0,825	0,658	0,607	0,193	0,319
	Технологія із застосуванням драг					
	0,182	0,791	0,609	0,464	0,171	0,368
	0,221	0,816	0,595	0,500	0,168	0,335
	0,087	0,716	0,629	0,402	0,169	0,421
	0,333	0,917	0,584	0,583	0,185	0,318
	Технологія із застосуванням екскаваторів					
	0,186	0,462	0,276	0,293	0,119	0,405
	0,208	0,538	0,330	0,346	0,150	0,434
	0,137	0,416	0,279	0,230	0,122	0,528
	0,375	0,833	0,458	0,569	0,200	0,352

Ідентифікуючи модель (3.1), можна зазначити, що вона відображає коефіцієнт використання активної потужності за зміну K_i , а – коефіцієнт

використання активної потужності при максимальному рівні навантаження K_{im} .

Тоді вираз набуває вигляду:

$$K_{uc} = K_{um} \cdot K_{is}, \quad (3.2)$$

де K_{is} – коефіцієнт використання активної потужності дворівневої моделі навантаження на середньому рівні.

Коефіцієнт використання активної потужності дворівневої моделі навантаження на середньому рівні K_{is} відображає неоднорідність режимів навантаження електроспоживачів приїсків і характеризує ступінь близькості максимального та середнього рівнів навантаження.

При статистично однорідному навантаженні $K_{is} = 1$.

Разом з тим K_{is} можна трактувати і як час дії навантаження, приведенного до максимального рівня.

В результаті аналізу залежності K_{is} від кількості ефективних електроприймачів у групі n_e отримано вираз:

$$K_{is} = 1.2 - 0.21 \cdot n_e \cdot 0,021 \cdot n_e^2, \quad (3.3)$$

Кількість ефективних приймачів визначається за відомими виразами.

Отримані результати дають змогу розробити рекомендації щодо вдосконалення методів розрахунку електричних навантажень електроприймачів із статистично неоднорідними енергетичними режимами роботи

3.2. Енергетичні режими електроспоживачів поліметалічних рудників

У результаті експериментальних досліджень, проведених в умовах поліметалічних рудників, були отримані графіки півгодинних електричних навантажень споживачів.

Найбільш характерні графіки наведено на рисунку 3.2.

Як індивідуальні споживачі дослідженням були охоплені найбільш енергоємні установки, на частку яких припадає 70–80% споживання електроенергії рудника (установки головного водовідливу, головні вентиляторні установки, компресори та підйомні машини).

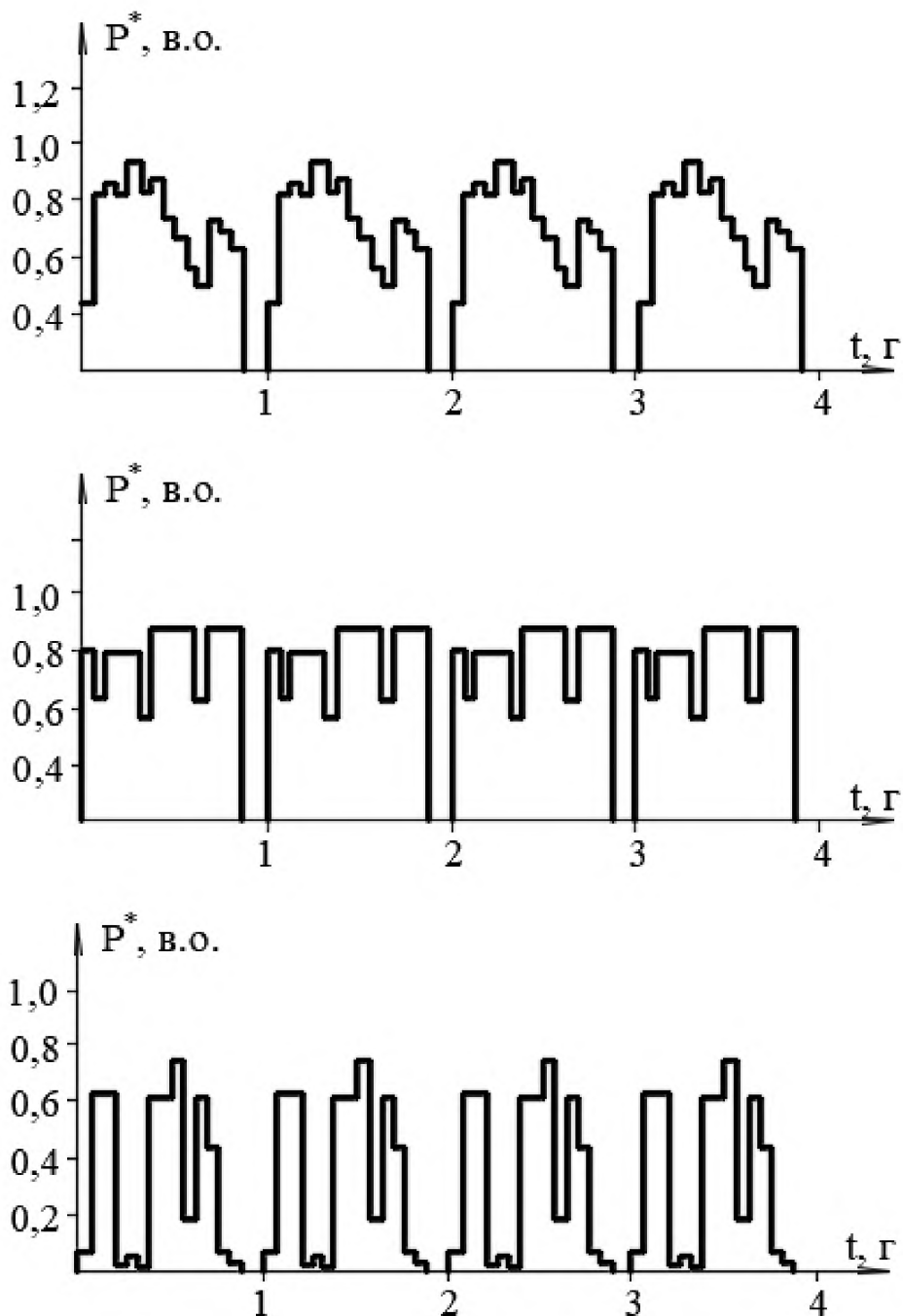


Рисунок 3.2 – Графіки навантажень (а – компресорів; б – вентиляторів; в – підйомних машин)

Аналіз графіків електричних навантажень показує таке:

1. Графіки електричних навантажень мають імовірнісний характер із різним ступенем мінливості; більший ступінь коливань характерний

для графіків навантажень компресорів і підйомних машин, менший – для графіків вентиляторних і водовідливних установок.

2. Графіки електричних навантажень мають циклічний характер, що зумовлено періодичністю технологічних процесів у рудниках.

Відповідно до методичних принципів виконано обробку масиву значень півгодинних активних потужностей, віднесених до встановленої потужності електроприймачів.

Аналіз статистичних характеристик розподілів електричних навантажень включає такі параметри: середнє значення (M), медіану (Me), моду (Mo), дисперсію (D), середньоквадратичне відхилення (σ), коефіцієнт варіації (V), асиметрію (A), ексцес (E).

Результати наведено в таблиці 3.6. Полігони розподілів електричних навантажень індивідуальних споживачів зображено на рисунках 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.2 Діапазони зміни статистичних характеристик розподілу змінних навантажень споживачів поліметалевих копалень

Електроспоживачі	Статистичні характеристики							
	M	Me	Mo	D	σ	V	A	E
Вентилятори	$\frac{0.79}{0.71}$	$\frac{0.72}{0.66}$	$\frac{0.83}{0.72}$	$\frac{0.99 \cdot 10^{-2}}{0.08 \cdot 10^{-2}}$	$\frac{0.99 \cdot 10^{-1}}{0.28 \cdot 10^{-1}}$	$\frac{0.14}{0.4}$	$\frac{2.2}{-1.69}$	$\frac{3.96}{-0.3}$
Компресори (індивідуальний споживач)	$\frac{0.92}{0.56}$	$\frac{1.47}{0.56}$	$\frac{1.12}{0.64}$	$\frac{0.10}{0.01}$	$\frac{0.31}{0.10}$	$\frac{0.34}{0.18}$	$\frac{-0.86}{-2.50}$	$\frac{3.48}{-0.32}$
Компресори (груповий споживач)	$\frac{0.75}{0.64}$	$\frac{0.68}{0.57}$	$\frac{0.83}{0.72}$	$\frac{0.06}{0.02}$	$\frac{0.24}{0.14}$	$\frac{0.32}{0.20}$	$\frac{2.20}{0.28}$	$\frac{3.40}{-0.79}$
Підйомні машини	$\frac{0.42}{0.18}$	$\frac{0.43}{0.17}$	$\frac{0.38}{0.19}$	$\frac{0.04}{0.008}$	$\frac{0.2}{0.09}$	$\frac{0.65}{0.22}$	$\frac{0.33}{0.1}$	$\frac{-0.96}{-1.58}$

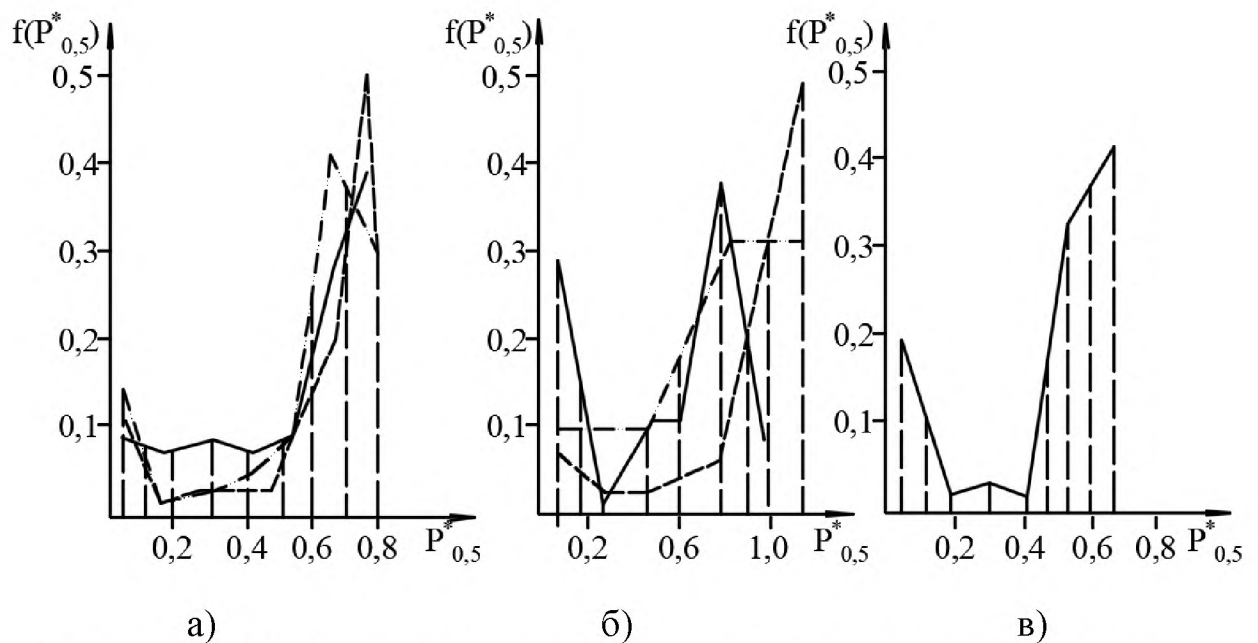


Рисунок 3.3 – Полігони розподілу електричних навантажень індивідуальних приймачів компресорів (а – 4BM10-100/8; б – ВП-50/8; в – 2BM-10-50/8)

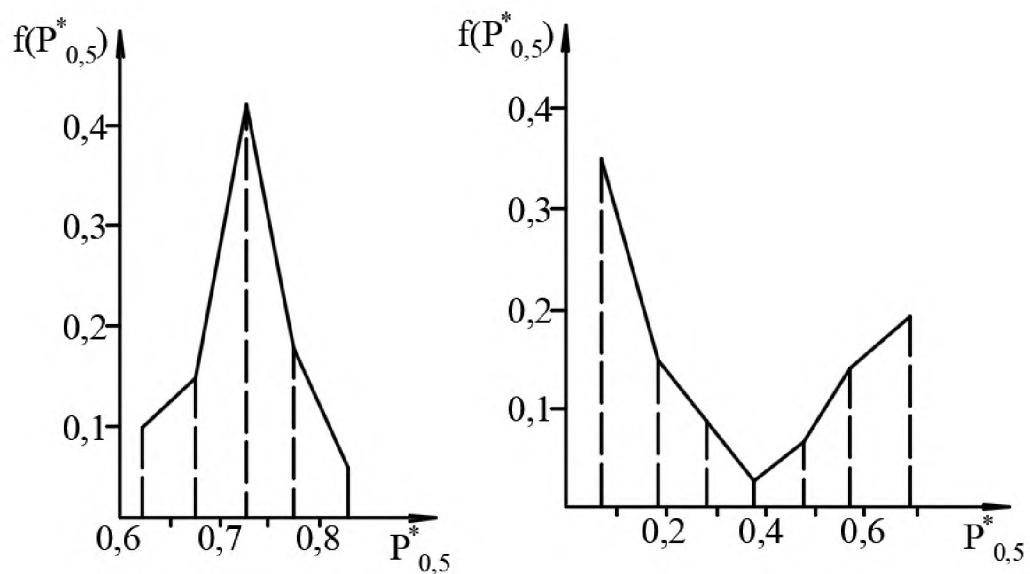


Рисунок 3.4 – Полігони розподілу електричних навантажень індивідуальних електроприймачів (а – вентилятор головного провітрювання (ВЦО-3.1); б – підйомна машина)

Аналіз даних таблиці 3.2 показує, що найбільш завантаженими є компресорні та вентиляторні установки (середні навантаження досягають

0,79–0,98 від встановленої потужності), при цьому для перших характерна більша мінливість, ніж для других.

Значення медіани та моди досить близькі до середніх значень і характеризують достатньо концентрований центр розсіювання електричних навантажень.

Виняток становлять значення M_e та M_o компресорів.

Розкид окремих значень навантажень відносно середнього є незначним для вентиляторів (коефіцієнт варіації $V = 4\text{--}14\%$) і досить великим для підйомних машин ($V = 22\text{--}65\%$).

Це свідчить про наявність статистичної неоднорідності енергетичних змінних режимів компресорів і підйомних машин, яка зумовлена значною кількістю чинників, що формують електричне навантаження.

Ці чинники відображають процеси організації робіт у руднику та залежать від рівномірності (стаціонарності) надходження гірничої маси для підйому або витрат стисненого повітря на технологічні потреби.

Експериментальні розподіли змінних навантажень мають досить великі значення асиметрії та ексцесу.

Вид полігонів розподілів підтверджує висновок про статистичну неоднорідність режимів електричних навантажень для компресорів і підйомних машин (розподіли є бімодальними) та статистичну однорідність режимів для вентиляторів.

Аналіз графіків навантажень водовідливних установок дозволяє стверджувати, що їхні енергетичні режими є однорідними.

Аналіз розподілів навантажень показує, що споживачі розглянутих установок (за винятком підйомних машин) мають досить високий ступінь використання встановленої потужності.

Цікавим є питання щодо належності окремих вибірок змінних графіків електричних навантажень до однієї гіпотетичної генеральної сукупності.

З огляду на відсутність даних про типи законів розподілу електричних навантажень у цьому випадку доцільно застосувати непараметричний критерій Краскела–Уолліса.

Перевірка показала, що всі графіки електричних навантажень компресорів певного типу належать одній генеральній сукупності.

Об'єднана (згрупована) вибірка електричних навантажень компресорів також характеризується неоднорідністю (рис. 3.5), що підтверджує наявність неоднорідності енергетичних режимів компресорів.

За результатами перевірки також встановлено, що вибірки, які характеризують режими електричних навантажень окремих вентиляторів, належать одній генеральній сукупності, причому вона характеризується однорідністю енергетичного режиму.

Неоднорідність режимів електричних навантажень споживачів поліметалічних рудників (компресори, підйомні машини), так само як і для споживачів розсипних підприємств, призводить до завищених похибок при визначенні навантажень через усереднення розрахункових значень на всьому часовому інтервалі розрахункового періоду.

Як показують дослідження, відносні похибки розрахункових навантажень при застосуванні існуючих методів коливаються залежно від технологічних груп електроприймачів у таких межах: для середніх навантажень — 15–22%, для максимальних — 17–21% [5, 6].

Зазначені значні похибки зумовлені неадекватним описом режимів електричних навантажень за їх неоднорідного характеру.

Підвищення рівня адекватності оцінювання та опису режимів електричних навантажень споживачів поліметалічних рудників з

неоднорідним характером навантаження можливе шляхом застосування методології та методів, викладених у даній роботі.

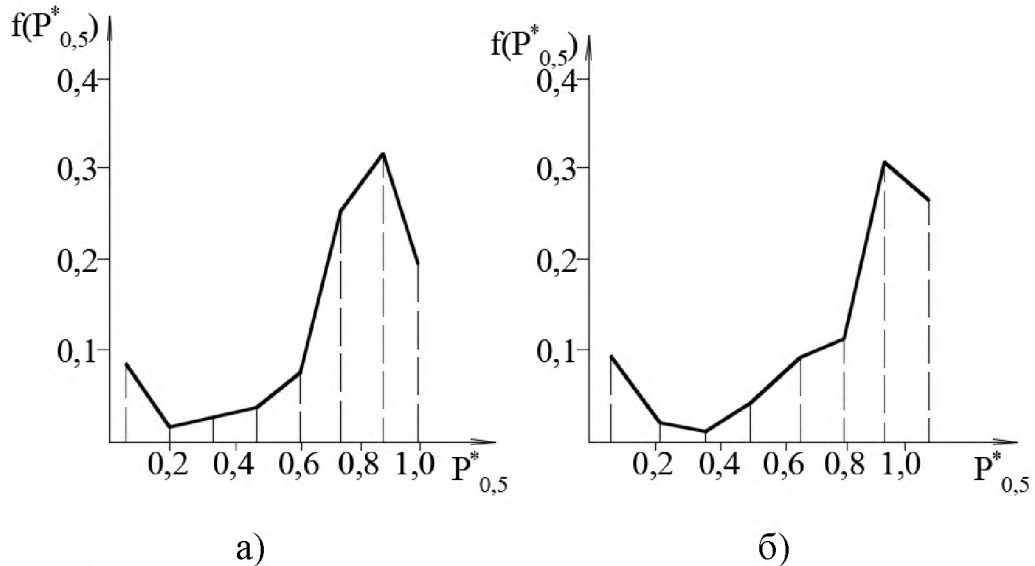


Рисунок 3.5 – Полігони електричних навантажень групових споживачів (а – компресори 4BM10-100/8); б – компресори ВП-50/8)

Математичні моделі режимів електричних навантажень.

Отримання адекватних моделей режимів електричних навантажень споживачів поліметалічних рудників можливе за використання методичного підходу, який застосовувався для побудови моделей режимів електричних навантажень споживачів розсипних родовищ.

Суть підходу полягає у виділенні зі всього множини навантажень сталих рівнів та визначенні розрахункових значень шляхом усереднення на часових інтервалах розрахункового періоду, протягом яких діє кожен сталий рівень навантаження.

У зв'язку з цим було виконано кластеризацію значень електричних навантажень і отримано параметри сталих рівнів (максимального та мінімального), а також тривалість їх дії для електроспоживачів із

неоднорідними режимами роботи — компресорів і підйомних машин (табл. 3.3).

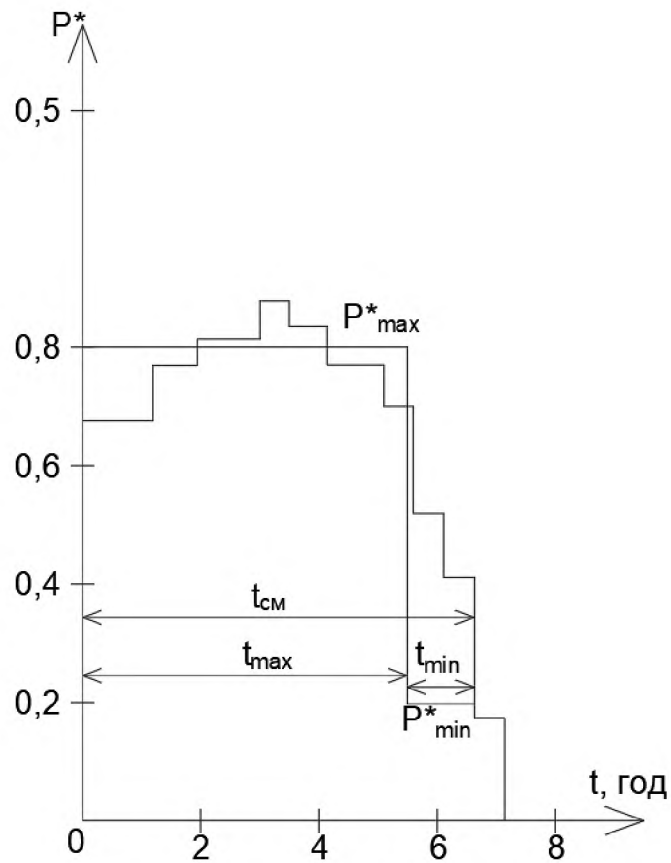


Рисунок 3.6 - Дворівнева модель режимів ЕП споживачів поліметалічних рудників: 1- графік змінного навантаження; 2 – дворівневий еквівалент (модель) навантаження

Таблиця 3.3. Статистичні характеристики моделей режимів електричних навантажень споживачів поліметалічних рудників

Характеристики режимів навантажень	Статистичні характеристики		
	Математичне очікування	Середньоквадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
$P_{c.max}^*$	Компресор (P=630 кВт)		
	0,79	0,13	0,16
$t_{c.max}^*$	0,85	0,15	0,18
$P_{c.min}^*$	0,19	0,15	0,68
$t_{c.min}^*$	0,18	0,02	0,11
$P_{c.max}^*$	Компресор (P=300 кВт)		
	0,90	0,11	0,12
$t_{c.max}^*$	0,71	0,12	0,17
$P_{c.min}^*$	0,28	0,22	0,78
$t_{c.min}^*$	0,29	0,12	0,41
$P_{c.max}^*$	Підйомні установки		
	0,81	0,35	0,41
$t_{c.max}^*$	0,52	0,29	0,59
$P_{c.min}^*$	0,23	0,41	2,05
$t_{c.min}^*$	0,48	0,36	0,75

Математична модель режимів електричних навантажень матиме вигляд, схожий до рисунку 3.6 наведено графік дворівневої моделі електричних навантажень для компресорів типу 4BM10-100/8.

Отримані результати дають змогу розробити рекомендації щодо вдосконалення методів розрахунку електричних навантажень.

Висновки

Метою роботи було дослідження методів підвищення точності оцінювання стану енергетичних режимів роботи електроприймачів гірничих підприємств, обумовлене необхідністю вирішення протиріччя між зростаючими вимогами до енергоефективності гірничих виробництв та недостатньою достовірністю інформації про реальні режими роботи енергоємного обладнання.

Підвищення ефективності застосування електроенергії на гірничих підприємствах обумовлене вдосконаленням методів та підвищенням точності й достовірності оцінки станів енергетичних режимів електроприймачів, особливо в умовах невизначеності та неповноти інформації.

Виконані в цій роботі дослідження дозволили на базі розроблених методів отримати оцінки енергетичних режимів електроприймачів гірничих підприємств, що розробляють розсіпні та поліметалеві родовища.

Визначено статистичні характеристики режимів електричних навантажень основних технологічних приймачів.

Отримано моделі режимів електричних навантажень, що адекватно описують неоднорідні енергетичні режими.

Встановлено енерговитрати та отримано енергетичні характеристики основних технологічних процесів.

Визначено закономірності розподілу та залежності змінної витрати електроенергії приймачів від технологічних факторів.

Виконано оцінки статистик та законів розподілу складових електробалансів технологічних електроприймачів.

Встановлено закономірності складових електробалансів від продуктивності приймачів.

Виконано статистичне моделювання та отримано моделі складових електробалансів технологічних приймачів.

Список використаних джерел

1. Сінчук О. М. , Сінчук І. О., Берідзе Т. М. Аналіз факторів енергетичної безпеки України, Гірничий вісн. Наук.-техн. зб., 2018, вип. № 103, с 126-132.
2. Сінчук І. О. , Бойко С. М. , Мельник О. Є. Нормативно-правова база енергетики: під ред. д.т.н., проф. Сінчука О.М.. – Кривий Ріг, 2017. – 150 с.
3. Про ринок електричної енергії: Закон України від 09.11.2017. №2189-VIII: станом на 21.08.2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 20.11.2025).
4. ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2019. Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методики випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії. (ІЕС 61000-4-30:2015, IEDT). — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
5. І. О. Сінчук., Э. С. Гузов, В. А. Кольсун, В. С. Козлов, С. М. Бойко, та О. Є. Мельник, Енергозбереження на підприємствах гірничовидобувної промисловості. Проблеми, шляхи реалізації: Монографія. Кременчук, Україна: ПП Щербатих О. В., 2016.
6. Morkun V. Distributed control of ore beneficiation interrelated processes under parametric uncertainty / V. Morkun, N. Morkun, V. Tron // Metallurgical and Mining Industry. 2015. No 8. p. 18–21.
7. Півняк Г.Г., Жежеленко І.В., Ю.А. Папаїка, Несен Л.І. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / за

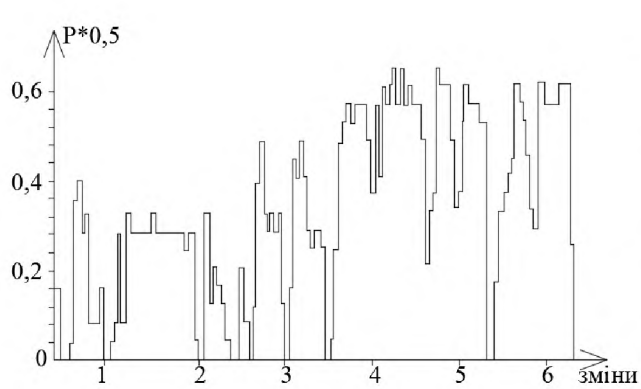
ред. Півняка Г.Г.; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро: НГУ, 2016. – 600 с.

8. Кириленко О. В., Денисюк С. П., Рибіна О. Б. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими : монографія. — Київ : Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. — 400 с.
9. Чорний О.П., Зачепа Ю.В., Титюк В.К., Чорна О.А. Моніторинг і діагностика електромеханічних об'єктів: навчальний посібник. – Кременчук: ЧП Щербатих А.В., 2019. – 122 с.
10. Morkun V., Tcvirkun S. Investigation of methods of fuzzy clustering for determining ore types. Metallurgical and Mining Industry. 2014. No 5, p. 12-15

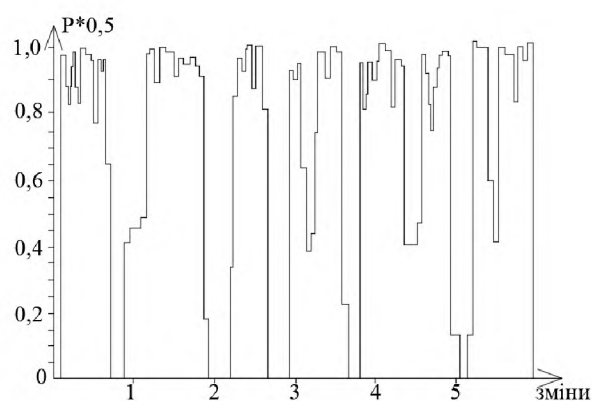
Додатки

Характерні графіки навантаження індивідуальних електроприймачів

(а – промприлад ПГШ-П-50 (250кВт); б – промприлад ПГБ-1000 (320, 250 кВт)



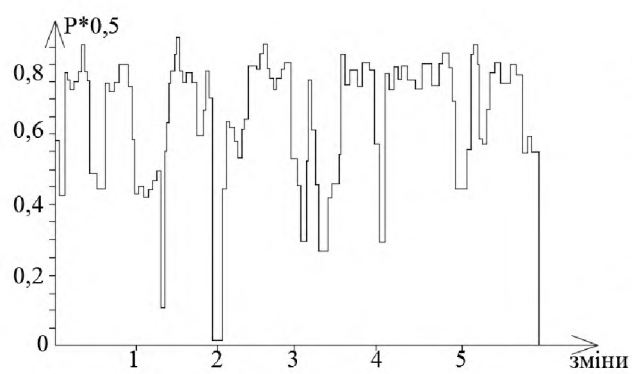
а)



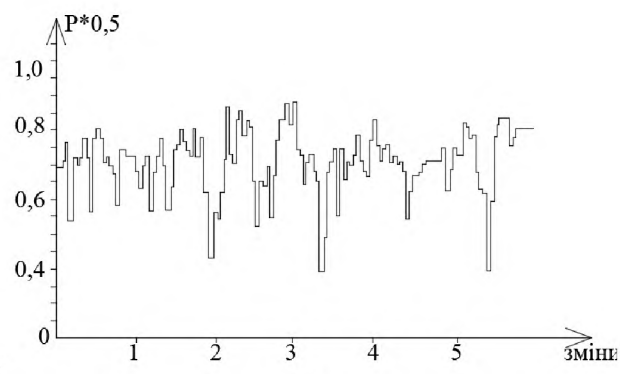
б)

Характерні графіки навантаження індивідуальних електроприймачів

(а – дражна бочка ТОК-210; б – драга ІЗТМ-250)

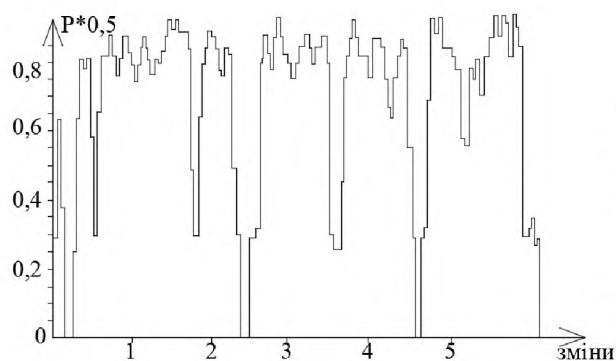


а)

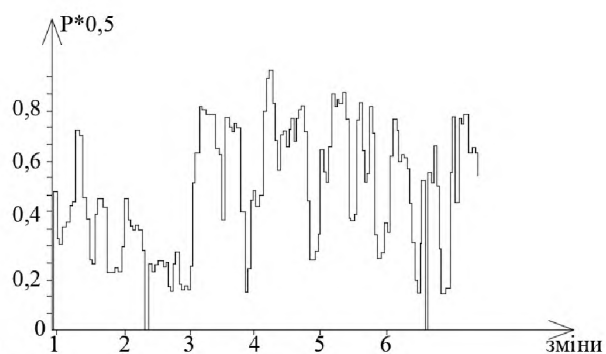


б)

Характерні графіки електроприймачів (а – індивідуального (землесосна установка ЗГМ-2м); б – групового (2 промприлада ПГШ-П-250, насос водопостачання І2 Ндс, насос гідроприбирання І2 Ндс))

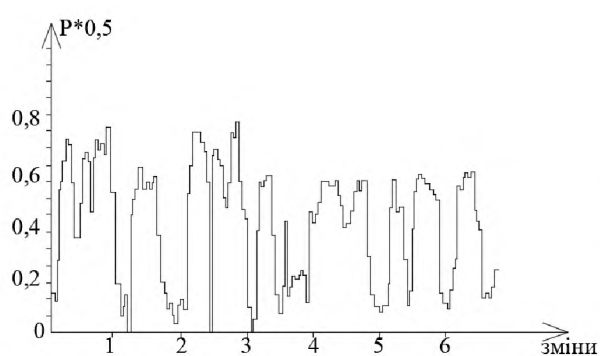


а)

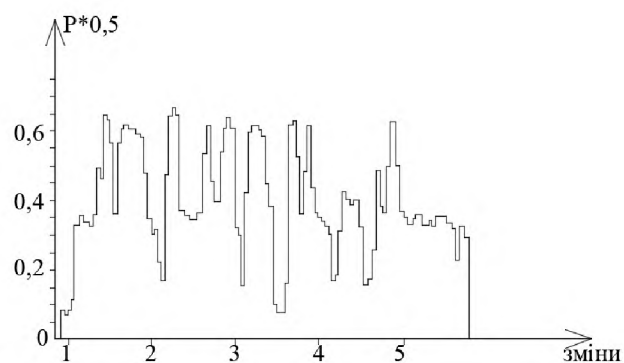


б)

Характерні графіки навантаження групових електроприймачів (а – промприлад ПГШ-2-50, землесос ЗГМ-2М, екскаватор ЕКГ-4,6, насоси водопостачання І2 Ндс, 8 Ндс; б – промприлад ПГШ-2-50, драга ІЗТМ-250, екскаватор Е-2505, насоси водопостачання І2 Ндс)



а)



б)

Статистики змінних графіків індивідуальних навантажень
електроспоживачів

Електроспоживачі	Статистичні характеристики								
	M	V	R	Mo	Me	σ	D	A	E
Промприлади	0,85	145,3	1,00	0,94	0,97	0,47	0,22	1,40	1,98
	0,12	3,67	0,06	0,052	0,030	0,053	0,033	-1,89	-1,99
Драги	0,78	103,2	0,90	0,86	0,78	0,30	0,90	2,13	2,29
	0,19	7,38	0,22	0,06	0,050	0,050	0,002	-1,72	-1,76
Екскаватори	0,27	43,4	0,33	0,32	0,20	0,09	0,010	0,94	1,54
	0,17	21,1	0,16	0,10	0,11	0,002	0,002	-1,32	-1,35

Групові статистики змінних графіків навантаження індивідуальних
споживачів

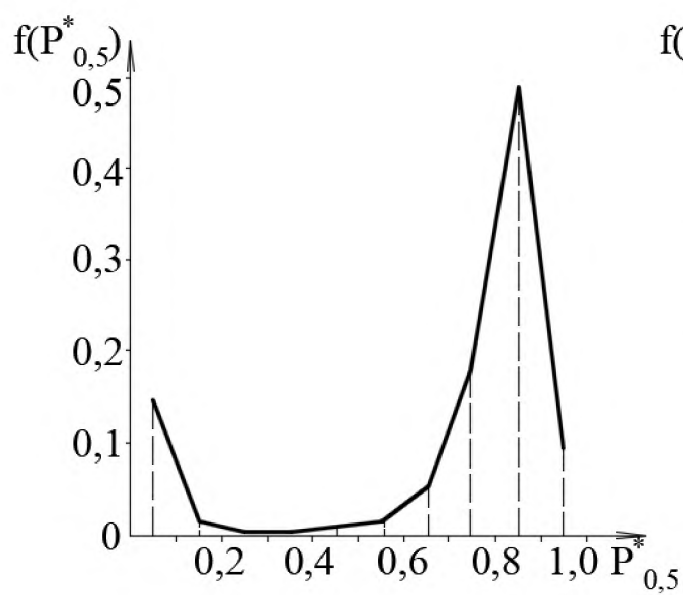
Електроспоживачі	Статистичні характеристики			
	M	D	σ	V
Промприлади	0,480	0,042	0,205	42,7
Драги	0,580	0,023	0,151	26,0
Землесоси	0,626	0,068	0,062	41,8
Дражна бочка	0,680	0,194	0,036	28,5
Екскаватори	0,220	0,0016	0,40	18,2

Діапазони зміни групових статистик графіків навантаження груп електроспоживачів основних видів технологій розробки розсипних родовищ.

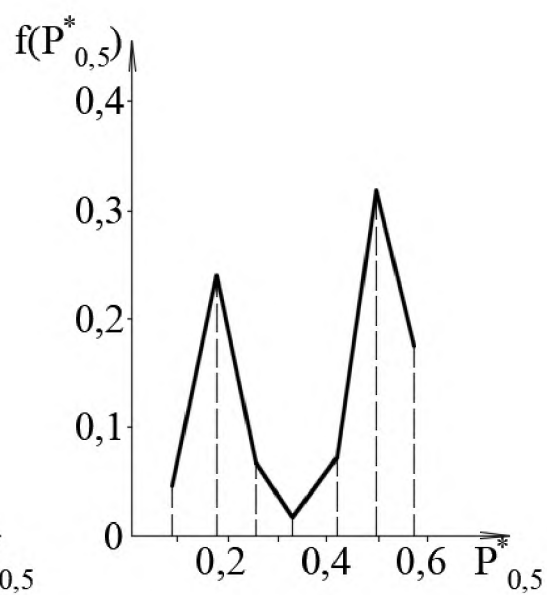
Види технологій	Статистичні характеристики								
	M	V	R	Mo	Me	σ	D	A	E
З застосуванням промприладів	$\frac{0.70}{0.09}$	$\frac{141.1}{21.3}$	$\frac{1.04}{0.13}$	$\frac{0.94}{0.8}$	$\frac{0.83}{0.05}$	$\frac{0.36}{0.05}$	$\frac{0.13}{0.002}$	$\frac{1.04}{-1.94}$	$\frac{2.65}{-1.90}$
З використанням землесосів	$\frac{0.64}{0.05}$	$\frac{173.2}{5.2}$	$\frac{0.85}{0.02}$	$\frac{0.77}{0.4}$	$\frac{0.34}{0.01}$	$\frac{0.34}{0.01}$	$\frac{0.11}{0.0001}$	$\frac{2.67}{-1.43}$	$\frac{6.74}{-1.99}$
З застосуванням драг	$\frac{0.62}{0.18}$	$\frac{100.8}{11.26}$	$\frac{0.54}{0.24}$	$\frac{0.67}{0.6}$	$\frac{0.85}{0.22}$	$\frac{0.19}{0.06}$	$\frac{0.04}{0.0036}$	$\frac{0.53}{-2.10}$	$\frac{5.37}{-1.38}$
З застосуванням промприладів та землесосів	$\frac{0.68}{0.13}$	$\frac{89.9}{18.3}$	$\frac{0.93}{0.15}$	$\frac{0.85}{0.6}$	$\frac{0.77}{0.15}$	$\frac{0.33}{0.04}$	$\frac{0.11}{0.0002}$	$\frac{0.74}{-1.89}$	$\frac{3.44}{-1.75}$
З застосуванням промприладів і драг	$\frac{0.56}{0.20}$	$\frac{76.05}{5.97}$	$\frac{0.74}{0.10}$	$\frac{0.74}{0.08}$	$\frac{0.63}{0.19}$	$\frac{0.22}{0.3}$	$\frac{0.5}{0.001}$	$\frac{0.60}{-2.52}$	$\frac{7.21}{-1.94}$

Полігони розподілу навантаження електроприймачів

(а – промприлади; б – землесоси)

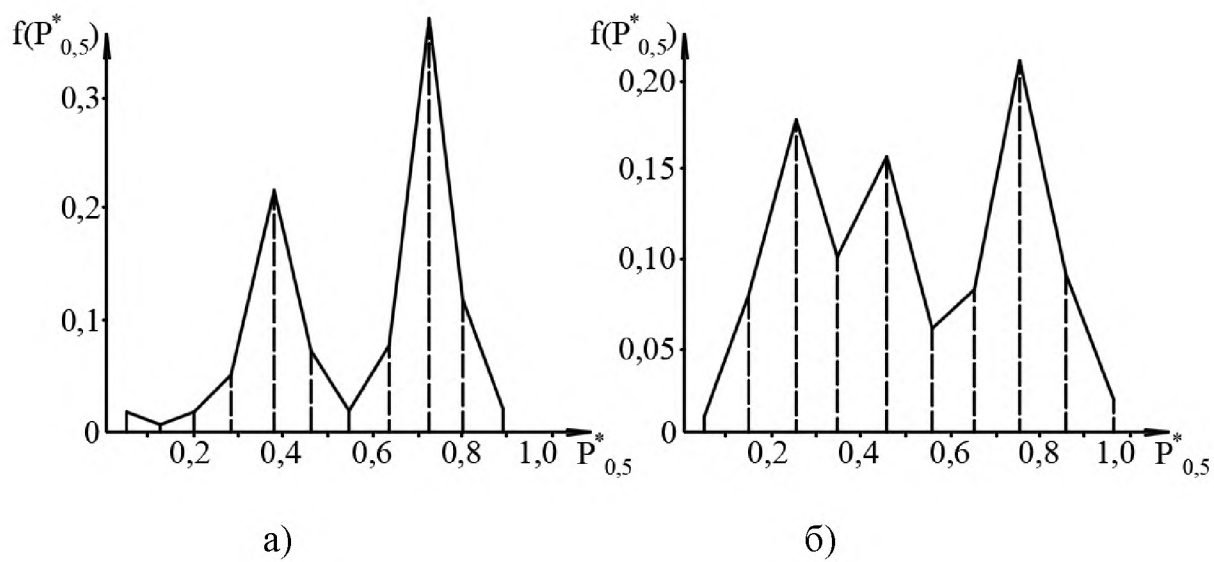


а)



б)

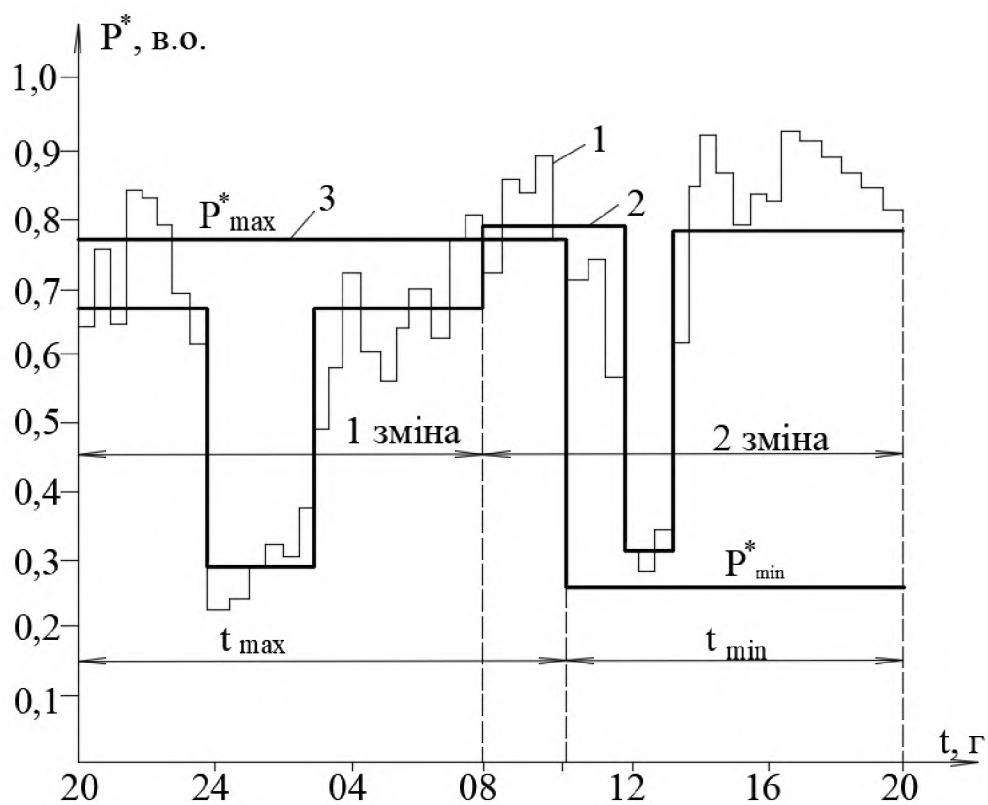
Полігони розподілу навантаження групових електроприймачів
(а – дренажна бочка (2х250кВт); б – промприлади (4х250кВт))



Похибки визначення розрахункових навантажень без урахування умов
роботи копальних електроприймачів

Технологічні групи електроприймачів	Похибка визначення розрахункових навантажень, %			
	Середня		Максимальна	
	$\delta P_{\text{с}} \cdot \text{т}$	$\delta Q_{\text{с}} \cdot \text{т}$	$\delta P_{\text{р}}$	$\delta Q_{\text{р}}$
Промприладів	83.0	135.3	47.1	88.3
Землесосів	97.0	101.5	58.5	62.9
Промприладів та землесосів	114.7	152.7	57.2	86.3
Драг	49.9	61.6	26.5	30.8
Промприладів, землесосів і драг	66.9	104.4	38.1	63.5
Екскаваторів	73.7	34.2	11.6	126.3

Дворівнева модель режимів електричного навантаження споживачів копалень (1 – графік змінного навантаження; 2 – дворівневий еквівалент змінного навантаження; 3 – дворівневий еквівалент електричного навантаження)

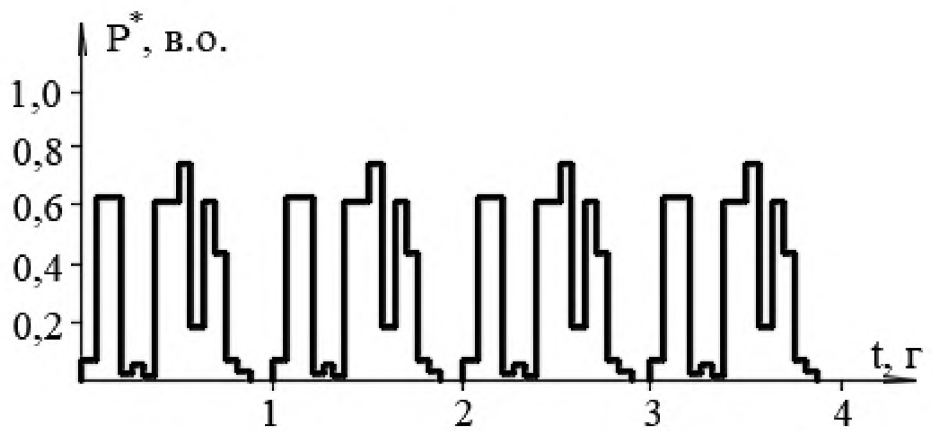
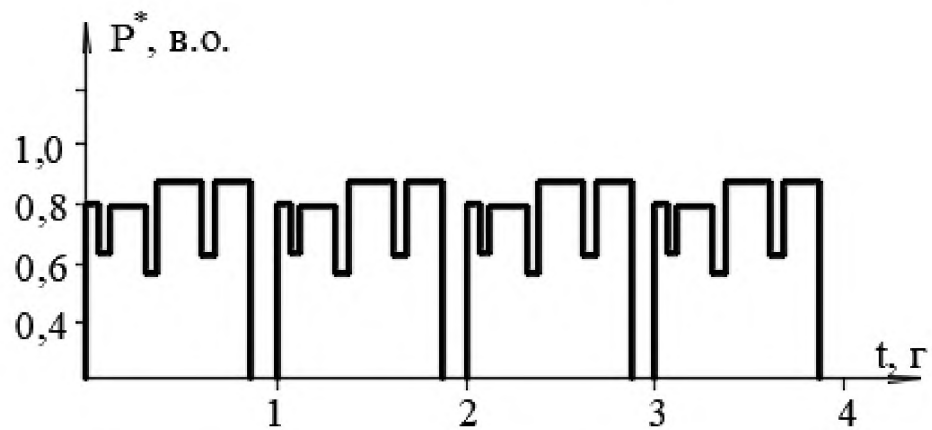
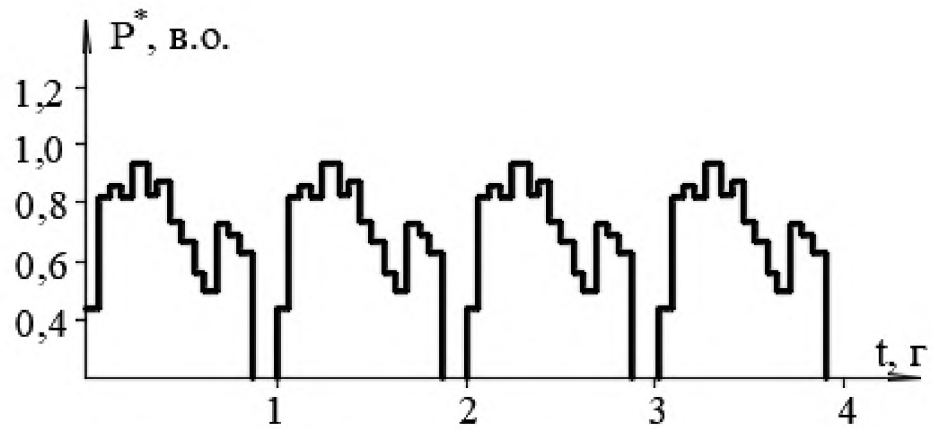


Статистики характеристик моделей режимів електричних навантажень
споживачів копалинь

Характеристики режимів навантаження	Мінімальне значення	Максимальне значення	Розмах	Математичне очікування	Середньоквадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
P^*_C $P^*_{C \max}$ $P^*_{C \min}$ $t^*_{C \max}$	Технологія з використанням промивочних насосів					
	0,124	0,773	0,649	0,416	0,145	0,349
	0,191	0,823	0,632	0,507	0,171	0,338
	0,000	0,729	0,729	0,270	0,131	0,485
	0,161	0,907	0,756	0,611	0,186	0,305
	Технологія із застосуванням землесосів					
	0,120	0,911	0,691	0,378	0,175	0,463
	0,160	0,852	0,692	0,432	0,170	0,395
	0,052	0,753	0,701	0,280	0,200	0,715
	0,167	0,825	0,658	0,607	0,193	0,319
	Технологія із застосуванням драг					
	0,182	0,791	0,609	0,464	0,171	0,368
	0,221	0,816	0,595	0,500	0,168	0,335
	0,087	0,716	0,629	0,402	0,169	0,421
	0,333	0,917	0,584	0,583	0,185	0,318
	Технологія із застосуванням екскаваторів					
	0,186	0,462	0,276	0,293	0,119	0,405
	0,208	0,538	0,330	0,346	0,150	0,434
	0,137	0,416	0,279	0,230	0,122	0,528
	0,375	0,833	0,458	0,569	0,200	0,352

Графіки навантажень

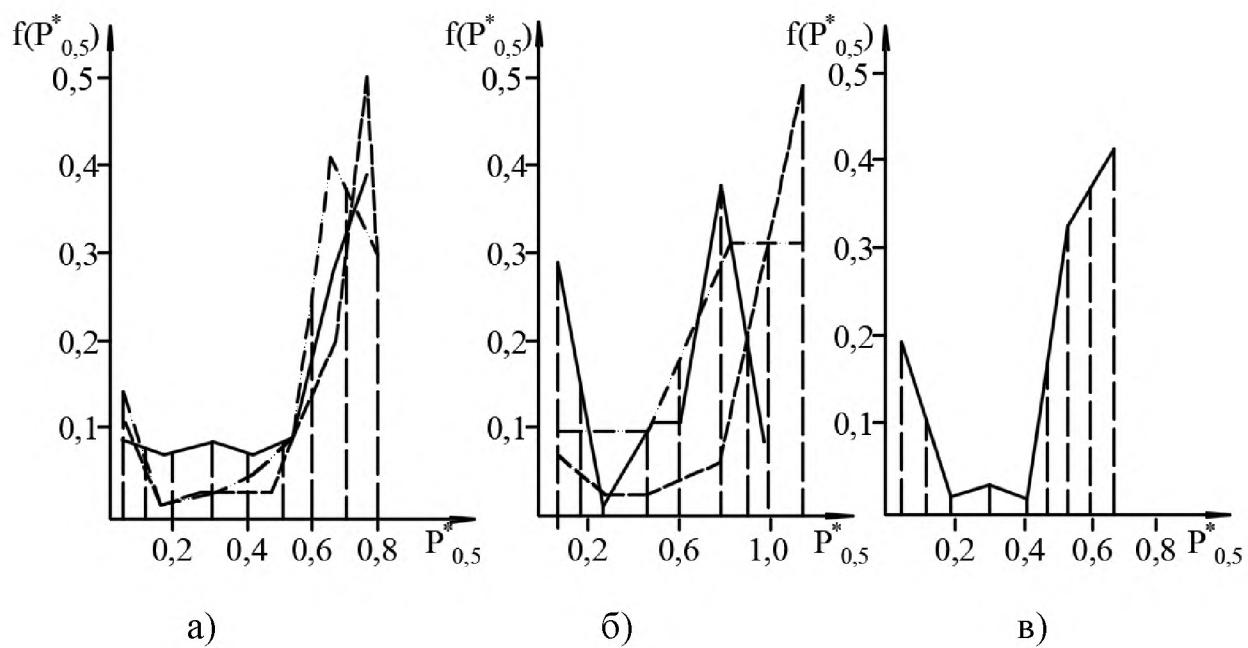
(а – компресорів; б – вентиляторів; в – підйомних машин)



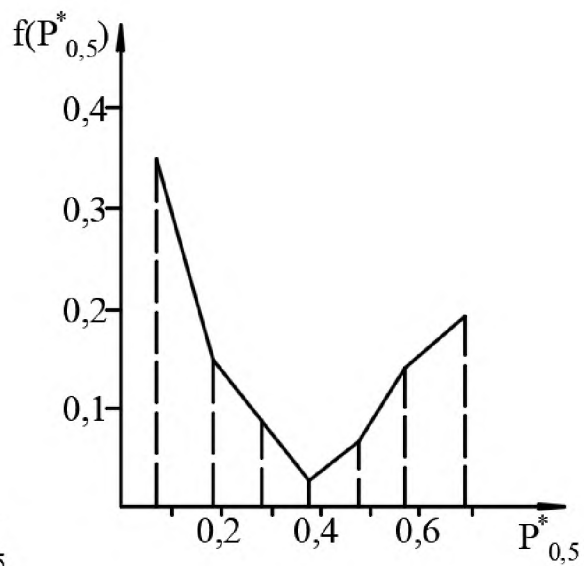
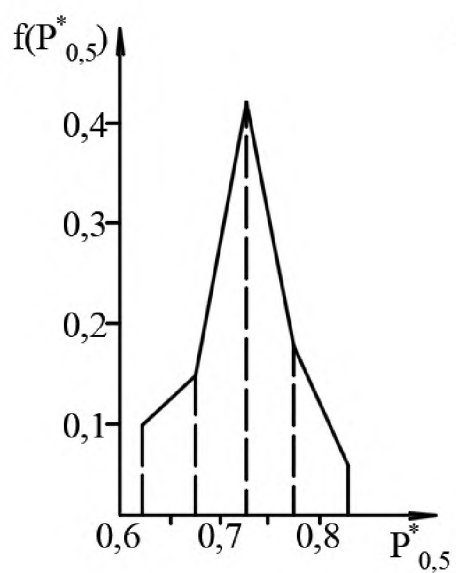
Діапазони зміни статистичних характеристик розподілу змінних
навантажень споживачів поліметалевих копалень

Електроспоживачі	Статистичні характеристики							
	M	Me	Mo	D	σ	V	A	E
Вентилятори	$\frac{0.79}{0.71}$	$\frac{0.72}{0.66}$	$\frac{0.83}{0.72}$	$\frac{0.99 \cdot 10^{-2}}{0.08 \cdot 10^{-2}}$	$\frac{0.99 \cdot 10^{-1}}{0.28 \cdot 10^{-1}}$	$\frac{0.14}{0.4}$	$\frac{2.2}{-1.69}$	$\frac{3.96}{-0.3}$
Компресори (індивідуальний споживач)	$\frac{0.92}{0.56}$	$\frac{1.47}{0.56}$	$\frac{1.12}{0.64}$	$\frac{0.10}{0.01}$	$\frac{0.31}{0.10}$	$\frac{0.34}{0.18}$	$\frac{-0.86}{-2.50}$	$\frac{3.48}{-0.32}$
Компресори (груповий споживач)	$\frac{0.75}{0.64}$	$\frac{0.68}{0.57}$	$\frac{0.83}{0.72}$	$\frac{0.06}{0.02}$	$\frac{0.24}{0.14}$	$\frac{0.32}{0.20}$	$\frac{2.20}{0.28}$	$\frac{3.40}{-0.79}$
Підйомні машини	$\frac{0.42}{0.18}$	$\frac{0.43}{0.17}$	$\frac{0.38}{0.19}$	$\frac{0.04}{0.008}$	$\frac{0.2}{0.09}$	$\frac{0.65}{0.22}$	$\frac{0.33}{0.1}$	$\frac{-0.96}{-1.58}$

Полігони розподілу електричних навантажень індивідуальних приймачів компресорів (а – 4BM10-100/8; б – ВП-50/8; в – 2BM-10-50/8)

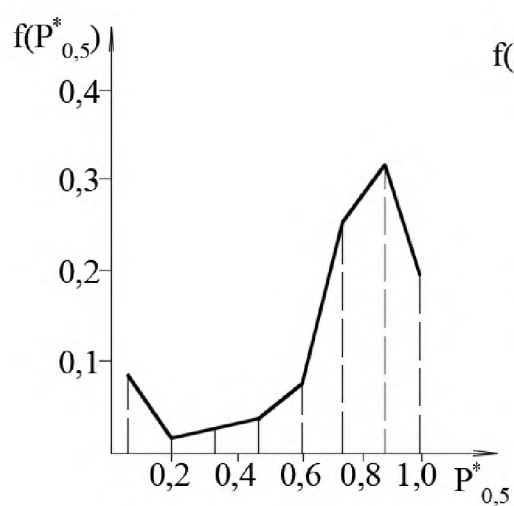


Полігони розподілу електричних навантажень індивідуальних електроприймачів (а – вентилятор головного провітрювання (ВЦО-3.1);
б – підйомна машина)

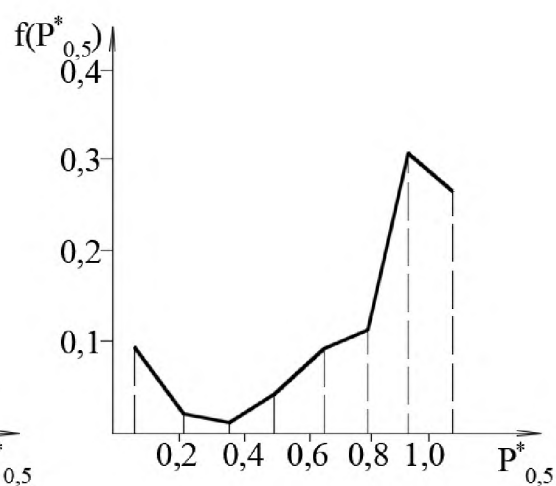


Полігони електричних навантажень групових споживачів

(а – компресори 4ВМ10-100/8); б – компресори ВП-50/8)



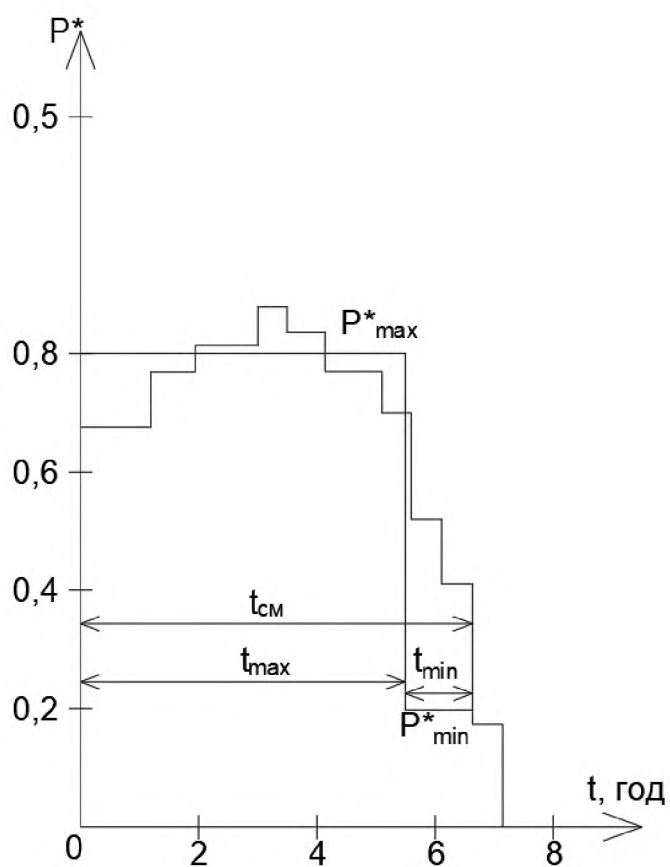
а)



б)

Дворівнева модель режимів ЕП споживачів поліметалічних рудників:

1- графік змінного навантаження; 2 – дворівневий еквівалент (модель)
навантаження



Статистичні характеристики моделей режимів електричних
навантажень споживачів поліметалічних рудників

Характеристики режимів навантажень	Статистичні характеристики		
	Математичне очікування	Середньоквадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
$P_{c.max}^*$	Компресор (P=630 кВт)		
	0,79	0,13	0,16
$t_{c.max}^*$	0,85	0,15	0,18
$P_{c.min}^*$	0,19	0,15	0,68
$t_{c.min}^*$	0,18	0,02	0,11
$P_{c.max}^*$	Компресор (P=300 кВт)		
	0,90	0,11	0,12
$t_{c.max}^*$	0,71	0,12	0,17
$P_{c.min}^*$	0,28	0,22	0,78
$t_{c.min}^*$	0,29	0,12	0,41
$P_{c.max}^*$	Підйомні установки		
	0,81	0,35	0,41
$t_{c.max}^*$	0,52	0,29	0,59
$P_{c.min}^*$	0,23	0,41	2,05
$t_{c.min}^*$	0,48	0,36	0,75