

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: «Удосконалення схем розрахунку електричних навантажень з
розробкою рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних установок
гірничих підприємств»

КНУ.МР.141.25.667-08

Виконав студент II курсу , групи СЕР-24м /Олександр ПЕНЗЕВ/
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

ПЄНЗЄВ Олександр Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Удосконалення схем розрахунку електричних навантажень з розробкою рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних установок гірничих підприємств

1. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є удосконалення схем розрахунку електричних навантажень технологічних установок гірничих підприємств. Завданням є розрахунок електричних навантажень з розробкою рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних установок гірничих підприємств.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Удосконалення методів оцінки та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності застосування електроенергії на гірничих підприємствах; II. Методичні рекомендації зі складання та раціоналізації електробалансів технологічних процесів гірничого виробництва; III. Рекомендації щодо визначення перспективного електроспоживання гірничих підприємств.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Розрахункові коефіцієнти для визначення електричних навантажень електроспоживачів копалень; II. Коефіцієнти для визначення розрахункових навантажень електроспоживачів поліметалічних рудників; III. Розробка рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних процесів гірничого виробництва.

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	Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності застосування електроенергії на гірничих підприємствах	10.09.25
2	Визначення розрахункових навантажень електроприймачів зі статистично неоднорідними енергетичними режимами роботи	17.09.25
3	Методичні рекомендації зі складання та раціоналізації електробалансів технологічних процесів гірничого виробництва	28.11.25
4	Рекомендації щодо визначення перспективного електроспоживання гірничих підприємств	07.12.25

Дата видання завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Олександр ПЄНЗЄВ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення схем розрахунку електричних навантажень з розробкою рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних установок гірничих підприємств», КНУ.РМ.141.25.667-08

Об'єкт розробки – енерговитрати технологічних установок гірничих підприємств.

Мета роботи – удосконалення схем розрахунку електричних навантажень з розробкою рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних установок гірничих підприємств.

Відповідно до мети роботи, актуальним є підвищення ефективності використання електроенергії та точності проектування систем електропостачання гірничих підприємств шляхом удосконалення алгоритмів розрахунку електричних навантажень для обладнання зі статистично неоднорідними режимами роботи, а також розробка методичних рекомендацій щодо оцінки та прогнозування енерговитрат.

Гірнича промисловість належить до найбільш енергоємних галузей, де частка витрат на електроенергію у собівартості продукції є критично високою. Сучасні умови функціонування гірничих підприємств характеризуються впровадженням потужного технологічного обладнання, яке часто працює у стохастичних (випадкових) та динамічних режимах. Існуючі методи розрахунку електричних навантажень, розроблені для більш стабільних графіків споживання, часто не враховують статистичну неоднорідність енергетичних режимів роботи сучасних установок. Це призводить до похибок при проектуванні систем електропостачання:

завищення потужності трансформаторів і перерізів кабелів (зайві капіталовкладення) або їх зниження (ризик аварій та зниження надійності).

Тому удосконалення алгоритмів розрахунку навантажень та створення чітких рекомендацій щодо складання електробалансів є актуальним завданням, яке дозволить підвищити енергоефективність та оптимізувати витрати гірничих підприємств.

ГІРНИЧІ ПІДПРИЄМСТВА, ТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ, ОЦІНКА
ЕНЕРГОВИТРАТ, УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ
НАВАНТАЖЕНЬ

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Удосконалення методів оцінки та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності застосування електроенергії на гірничих підприємствах.....	9
1.1. Вихідні положення.....	9
1.2. Визначення розрахункових навантажень електроприймачів зі статистично неоднорідними енергетичними режимами роботи.....	11
Розділ 2. Методичні рекомендації зі складання та раціоналізації електробалансів технологічних процесів гірничого виробництва.....	25
2.1. Методичні рекомендації зі складання та раціоналізації електробалансів технологічних процесів гірничого виробництва	25
Розділ 3. Рекомендації щодо визначення перспективного електроспоживання гірничих підприємств	31
3.1. Рекомендації щодо визначення перспективного електроспоживання гірничих підприємств	31
Висновки	42
Список використаних джерел.....	43
Додатки.....	45

Вступ

Гірничодобувна промисловість є однією з найбільш енергоємних галузей національної економіки, де ефективність використання енергетичних ресурсів безпосередньо визначає собівартість продукції та конкурентоспроможність підприємств.

В структурі експлуатаційних витрат гірничих комбінатів частка витрат на електроенергію сягає критичних значень, що в умовах постійного зростання тарифів вимагає перегляду підходів до управління енергоспоживанням.

Специфіка сучасного гірничого виробництва характеризується використанням потужного технологічного обладнання (екскаваторів, бурових станків, конвеєрних ліній, дробарок), режими роботи якого відзначаються значною динамічністю та стохастичністю.

Навантаження на електроприводи змінюється випадковим чином залежно від фізико-механічних властивостей гірської маси, циклічності процесів та сезонних факторів.

Це формує статистично неоднорідні енергетичні режими, які важко описуються традиційними детермінованими моделями.

Проблема полягає у тому, що існуючі нормативні методи розрахунку електричних навантажень часто базуються на застарілих емпіричних коефіцієнтах (попиту, використання), які не враховують повною мірою статистичну природу процесів сучасного обладнання.

Це призводить до негативних наслідків: завищення розрахункової потужності, що тягне за собою необґрунтовані капітальні вкладення у "зайву" потужність трансформаторів та перерізи кабельних мереж (заморожування коштів); заниження розрахункової потужності, що знижує

надійність електропостачання, призводить до прискореного старіння ізоляції через перевантаження та збільшує ризик аварійних зупинок виробництва.

Окрім технічного аспекту, важливим є економічний компонент — точне прогнозування енерговитрат.

Відсутність коректних алгоритмів розрахунку ускладнює складання достовірних електробалансів та планування електроспоживання, що є критичним в умовах сучасного ринку електроенергії з погодинним плануванням.

Таким чином, удосконалення алгоритмів розрахунку електричних навантажень, яке базується на врахуванні статистичної неоднорідності режимів роботи, а також розробка на цій основі рекомендацій щодо оцінки енерговитрат і складання раціональних електробалансів, є актуальним науково-прикладним завданням.

Вирішення цього завдання дозволить оптимізувати структуру систем електропостачання, підвищити їх надійність та виявити приховані резерви енергозбереження на гірничих підприємствах.

Розділ 1. Удосконалення методів оцінки та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності застосування електроенергії на гірничих підприємствах

1.1. Вихідні положення

Виконані дослідження дозволяють здійснити удосконалення методів оцінки станів режимів електроспоживання та безпеки застосування електроенергії на гірничих підприємствах.

Дослідження електричних навантажень показало, що їхній опис без урахування статистичного характеру енергетичних режимів неадекватно відображає суть фізичного процесу, спричиняє формування моделей, осереднених на всьому розрахунковому проміжку часу, і призводить до суттєвих похибок у розрахунках [1].

Отримані в цій роботі загальний вираз для опису статистично неоднорідних режимів, математичні моделі для електроприймачів копалень і поліметалічних рудників, їхні статистичні характеристики дозволяють здійснити удосконалення методів визначення розрахункових електричних навантажень.

Дослідження енергоємності та електробалансів технологічних процесів гірничого виробництва дозволило встановити їхні закономірності, що дає можливість виконати розробку рекомендацій з оцінки та нормалізації енерговитрат, складання та раціоналізації електробалансів.

Дослідження електроспоживання гірничих підприємств показало, що моделювання режимів витрат електроенергії доцільно здійснювати, використовуючи методи теорії розпізнавання образів та факторного аналізу і синтезуючи часові, факторні та комбіновані моделі.

Результати дослідження дозволяють розробити рекомендації з оцінки перспективного електроспоживання гірничих підприємств.

Дослідження безпеки процесу електроспоживання гірничих підприємств дозволило виконати моделювання генезису електротравм; дати оцінку впливу на персонал як ергатичний елемент ерготехнічної системи забезпечення електробезпеки небезпечного виробничого фактора — електричного струму; оцінку впливу властивостей персоналу на електротравматизм; встановити характеристики процесів, що зумовлюють безпеку травмонебезпечних видів установок електротехнічних комплексів.

Отримані результати дають можливість розробити рекомендації щодо підвищення безпеки процесу електроспоживання гірничих підприємств.

1.2. Визначення розрахункових навантажень електроприймачів зі статистично неоднорідними енергетичними режимами роботи

Визначення розрахункових електричних навантажень електроприймачів зі статистично неоднорідними енергетичними режимами повинно виконуватися з урахуванням полімодальності їхніх розподілів та наявності стійких рівнів.

Для електроприймачів копалень та поліметалічних рудників при розрахунку електричних навантажень необхідно враховувати наявність двох стійких рівнів навантаження [2].

Дворівнева модель навантаження ефективно відображає його статистичну природу і є його адекватним еквівалентом.

Дворівневий еквівалент навантаження відображає вплив технологічних факторів гірничого виробництва й отриманий на базі статистичного аналізу представницького експериментального матеріалу, виконаного із застосуванням методів теорії розпізнавання образів та кластерного аналізу.

Отримані моделі дозволяють удосконалити метод розрахунку електричних навантажень, що використовується у "Вказівках щодо визначення електричних навантажень промислових установок".

В якості вихідних величин для визначення розрахункових електричних навантажень використовуються:

1. Середні потужності стійких рівнів навантаження в іменованих одиницях: $P_{cp\ max}$ — середня потужність максимального рівня навантаження; $P_{cp\ min}$ — середня потужність мінімального рівня навантаження; в відносних (відносно групової номінальної потужності $P_{ном}$).

$$P_{*c.max} = \frac{P_{c.max}}{P_{ном}}; P_{*c.min} = \frac{P_{c.min}}{P_{ном}}. \quad (1.1)$$

2. Час дії кожного рівня навантаження, що є статистично стійкою величиною. Як оцінки часу дії рівнів навантажень використовуються середні значення:

- в іменованих одиницях:
- Час впливу максимального рівня навантаження;
- час дії мінімального рівня навантаження;
- у відносних (по відношенню до тривалості зміни $t_{зм}$) одиницях:

$$t_{*max} = \frac{t_{max}}{t_{зм}}; t_{*min} = \frac{t_{min}}{t_{зм}}. \quad (1.2)$$

3. Коефіцієнт дворівневого режиму навантаження:

$$K_2 = \frac{P_{*c.min}}{P_{*c.max}} = \frac{P_{c.min}}{P_{c.max}}. \quad (1.3)$$

I. Коефіцієнт використання активної потужності дворівневого навантаження на максимальному рівні

$$K_{вик.} = K_2(1 - t_{*max}) + t_{*max}. \quad (1.4)$$

II. Середня активна потужність $P_{ам}$ за найбільш завантажену зміну, що визначається з урахуванням середнього значення активної потужності максимального рівня:

$$K_{ім.} = P_{*c.max}. \quad (1.5)$$

III. Розрахункове максимальне значення активної потужності P_m . Послідовність визначення розрахункових електричних навантажень.

- Середня активна потужність за найбільш завантажену зміну електроприймачів певної технологічної групи знаходиться шляхом множення

встановленої потужності робочих електроприймачів (наведеної для електроприймачів повторно-короткочасного режиму до ПВ=1) на їх коефіцієнти $K_{\text{вик}}$ та $K_{\text{ім}}$:

$$P_{\text{зм}} = K_{\text{вик}} \cdot K_{\text{ім}} \cdot P_{\text{ном}} = K_{\text{вик}} \cdot P_{\text{с.мах}} \quad (1.6)$$

- Середня реактивна потужність за найбільш завантажену зміну електроприймачів певної технологічної групи знаходиться шляхом множення середньої активної потужності за найбільш завантажену зміну на відповідний φ):

$$Q_{\text{зм}} = P_{\text{зм}} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.7)$$

IV. Розрахункова навантаження (півгодинний максимум активного навантаження) визначається за виразом через середню потужність максимального рівня навантаження $P_{\text{стк}}$ і коефіцієнт максимуму активної потужності $K_{\text{м}}$:

$$P_{\text{м}} = K_{\text{м}} \cdot K_{\text{ім}} \cdot P_{\text{н}} = K_{\text{м}} P_{\text{с.мах}} \quad (1.8)$$

Значення $K_{\text{м}}$ для електроприймачів певних технологічних груп визначається за кривими залежно від середньозваженого для групи $K_{\text{ім}}$ та ефективного числа електроприймачів групи.

V. Розрахункове реактивне навантаження визначається за виразом:

$$Q_{\text{м}} = 1,1 Q_{\text{с.мах}} \quad (1.9)$$

Значення розрахункових коефіцієнтів дворівневого навантаження, характерні для певних технологічних приймачів, наведено в табл. 1.1 та 1.2 (рис. 1.1 та 1.2).

Таблиця 1.1 Розрахункові коефіцієнти для визначення електричних навантажень електроспоживачів копалень

Електроспоживачів технологічних груп	$K_{\text{наявн.}}$	$K_{\text{шук.}}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
Промивний прилад	0,77	0,81	0,85	0,62
Землесосна установка	0,75	0,85	0,80	0,75
Драга	0,80	0,91	0,80	0,75
Екскаватор	0,72	0,85	0,75	0,88
Насос водопостачання	0,70	1,00	0,80	0,75

Таблиця 1.2 Коефіцієнти для визначення розрахункових навантажень електроспоживачів поліметалічних рудників

Електроспоживач	$K_{\text{шук.}}$	$K_{\text{наявн.}}$
Компресор ($P_{\text{НОМ}}=630\text{кВт}$)	0,89	0,81
Компресор ($P_{\text{НОМ}}=320\text{кВт}$)	0,82	0,91
Підйомна машина	0,66	0,93
Вентилятор головного провітрювання	1,00	0,72
Водовідливна установка	1,00	0,90

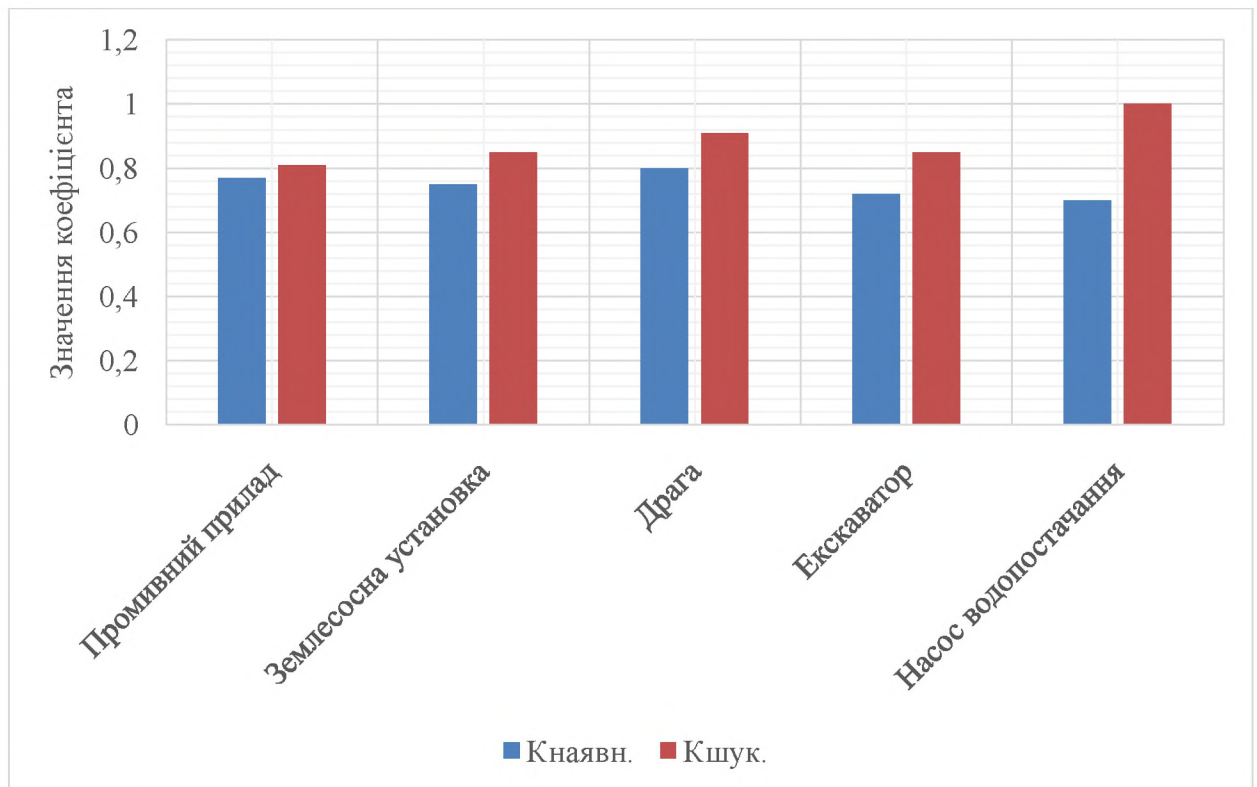


Рисунок 1.1 – Розрахункові коефіцієнти для визначення електричних навантажень електроспоживачів копалень

Загальна послідовність при розрахунку.

1. Складається таблиця електроприймачів.
2. Визначаються середні навантаження максимального рівня: активні – $P_{сmax}$, реактивні - $Q_{сmax}$.
3. Визначаються середні навантаження за максимально завантаженою зміну: активні - $P_{зм}$, реактивні - $Q_{зм}$.
4. Визначаються півгодинні максимальні навантаження: активні - $P_{м}$, реактивні - $Q_{м}$.
5. Визначається півгодинне максимальне повне навантаження.
6. Визначається розрахунковий струм I .

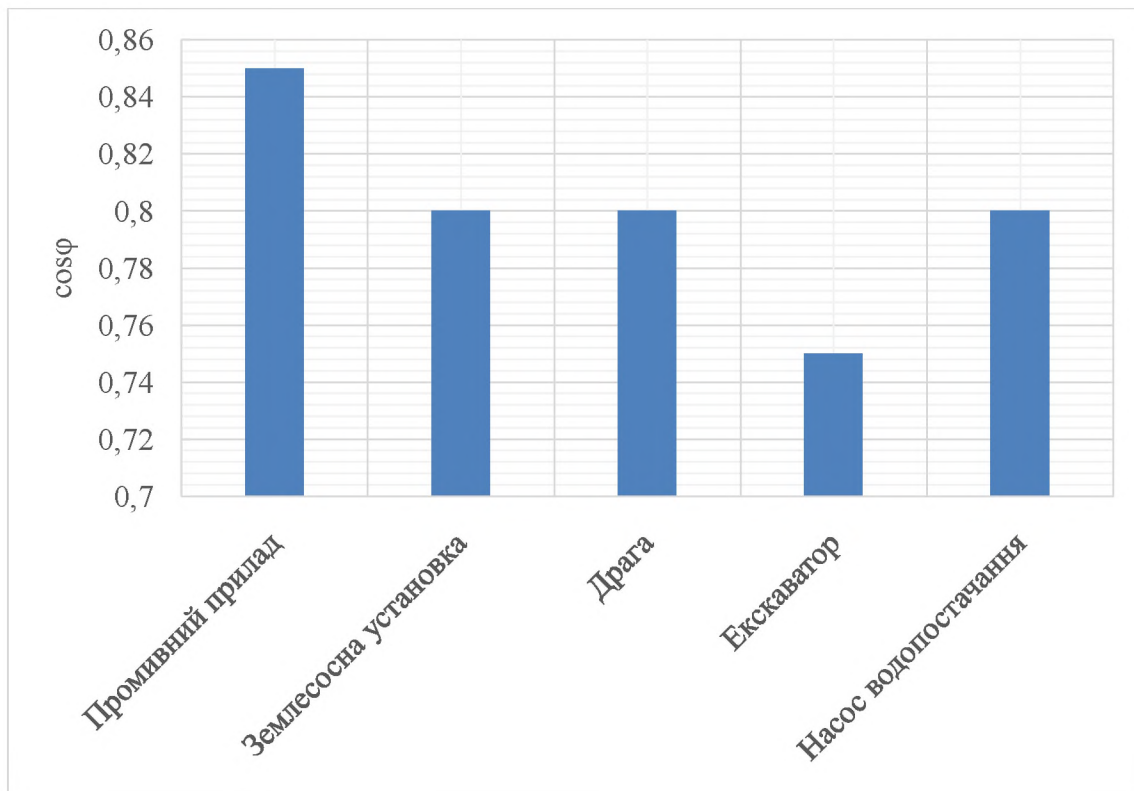


Рисунок 1.2 – Коефіцієнти для визначення розрахункових навантажень електроспоживачів поліметалічних рудників

Вищевикладені рекомендації щодо вдосконалення розрахунку електричних навантажень вперше використовують в ідейному та практичному плані положення про те, що енергетичні режими електроприймачів мають статистично неоднорідний характер, а їхні навантаження мають полімодальні закони розподілу.

Методи розрахунку, що застосовувалися дотепер, базуються на положенні, що розподіли навантажень мають нормальний (одномодальний) закон розподілу [3].

Виходячи з цієї вихідної передумови, введено нові розрахункові величини: середні навантаження максимального рівня, коефіцієнт

використання потужності дворівневого навантаження на максимальному рівні, час дії рівнів навантаження та ін.

Разом з цим для електроприймачів копалень і поліметалічних рудників вперше визначено значення розрахункових коефіцієнтів, що відображають специфіку умов їхньої роботи.

Застосування викладених рекомендацій дозволило знизити похибки розрахунку електричних навантажень (табл. 1.3) порівняно з розрахунком за директивними методами.

Таблиця 1.3 Відносні похибки визначення розрахункових навантажень, %

Технологічні групи електроспоживачів	Відносні похибки визначення навантажень			
	Середніх		Максимальних	
	$\delta P_{зм}$	$\delta Q_{зм}$	δP_p	δQ_p
Промислові прилади	-3,7	-1,9	12,7	-6,5
Землесоси	-8,4	-8,4	30,9	-1,9
Промислові прилади та землесоси	-1,6	1,6	20,8	-6,0
Драги	-2,3	-2,9	3,7	-17,2
Промислові прилади, землесоси та драги	-4,4	-4,4	13,0	-10,2
Експлуатація	12,9	13,0	24,4	1,6

Рекомендації використані при розробці "Інструктивних вказівок з визначення електричних навантажень копальневих електроприймачів", прийнятих як нормативні та керівні матеріали для проектування при

використанні у практиці розрахунків режимів електричних навантажень копальневих електроприймачів.

Для оцінки ефективності використання електроенергії, планування електроспоживання необхідне визначення енерговитрат на процеси гірничого виробництва, яке має здійснюватися шляхом встановлення енергетичних характеристик технологічних машин, агрегатів та установок [4].

Основними завданнями оцінки енерговитрат на технологічні процеси є:

- визначення ефективності використання електроенергії технологічними електроприймачами шляхом порівняння проектних, планових та дійсних питомих енерговитрат в умовах конкретного підприємства;
- встановлення резервів зниження витрат енергії шляхом порівняльного аналізу значень електроспоживання для конкретного технологічного приймача з урахуванням особливостей режимів роботи, технічного стану обладнання, що використовується, тощо;
- зіставлення фактичних енерговитрат на технологічні процеси для установок одного типу з метою виявлення нераціональних витрат енергії та розробка на цій базі рекомендацій та заходів щодо оптимізації енерговитрат.

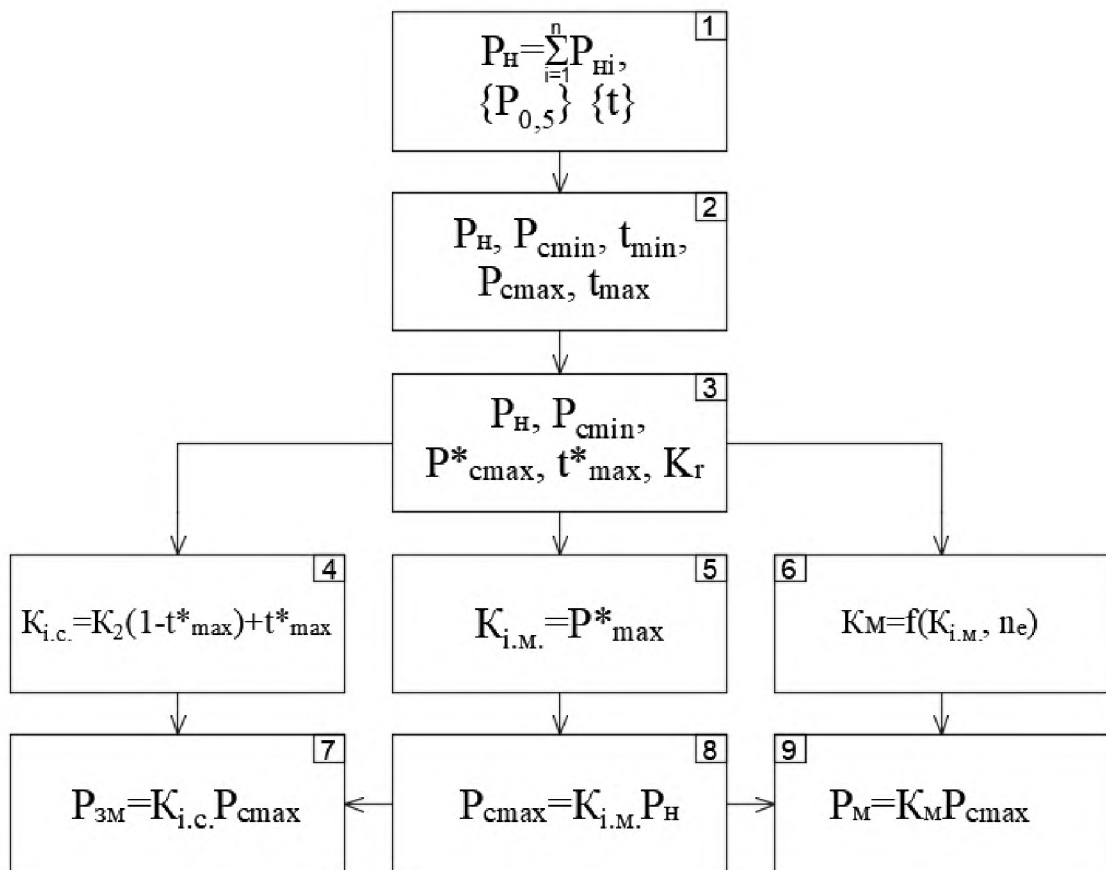


Рисунок 1.3 – Розробка рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних процесів гірничого виробництва

За оптимальні слід приймати витрати енергії, що забезпечують протікання технологічного процесу з технічними та технологічними обмеженнями, при мінімальній вартості та витраті енергоресурсів.

Оцінку енерговитрат слід проводити, в першу чергу, для енергоємних процесів та установок, до яких потрібно віднести:

- технологічні процеси, питома вага яких у загальному електробалансі підприємств становить понад 10%;
- технологічні установки з потужністю електродвигунів понад 100 кВт.

При розробці розсипних родовищ до енергоємних технологічних установок належать промивальні прилади, землесоси, драги, екскаватори, інші машини та агрегати, призначені для розкриву та промивання пісків.

Основними енергетичними показниками, що характеризують ефективність використання електричної енергії при промиванні пісків, є:

- витрата електроенергії машиною (установкою) $A_{\text{мп}}$ за контрольований інтервал часу ΔT_n (кВт·год);
- питома електроспоживання машиною (установкою) (кВт·год/м³), осереднене за контрольований інтервал часу.

Питома енерговитрати машини (установки) є показником, що в інтегруючому вигляді характеризує технологічні особливості підприємства, прийняту організацію робіт, технічний стан обладнання, кліматичні особливості регіону тощо.

Оцінку енерговитрат енергоємних машин (установок) доцільно виконувати в результаті аналізу енергетичних характеристик, отриманих розрахунково-експериментальним методом.

Вихідними даними для виконання оцінки енергетичних витрат технологічних машин (установок) в умовах експлуатації є: схема електропостачання машини (установки) із зазначенням місця включення лічильників активної енергії, коефіцієнтів трансформаторів струму (КП) та напруги; план гірничих робіт із зазначенням розмірів полігону, кількості та типу допоміжних гірничих машин і механізмів (бульдозерів тощо); паспортні дані машини (установки); добовий графік роботи машини (установки), що відображає організацію промивальних робіт; відомості про технічний стан машини (установки).

Оцінка енерговитрат повинна виконуватися за результатами експериментального обстеження на початку промивного сезону (після

монтажу установок) енергетичними службами підприємства за участю представників технологічних та механічних служб [5].

Крім цього, оцінка енерговитрат повинна виконуватися у разі зміни умов роботи машини (установки).

При оцінці витрат енергії технологічними приймачами встановлюються нормалізовані умови, які передбачають комплектацію обладнанням відповідно до проектної документації, технічну справність механічного та електричного обладнання, відповідність напруги на затискачах електродвигунів вимогам ДСТУ.

При відповідності умов проведення обстеження нормалізованим умовам отримане значення питомої витрати електроенергії вважається нормалізованим [6]. З цим значенням порівнюються надалі значення витрат електроенергії для дійсних умов експлуатації.

Необхідна тривалість обстеження повинна визначатися досягненням заданої точності та достовірності отриманих результатів.

Для досягнення точності не менше 10 % можна рекомендувати тривалість обстеження, що дорівнює 24 годинам (2 робочі зміни) з інтервалом осереднення 0,5 год або 48 годинам (4 робочі зміни) з інтервалом осереднення 1 год.

Для підвищення точності оцінки енерговитрат доцільне застосування самописних приладів або спеціальних вимірювальних комплексів.

Обстеження технологічного приймача складається з наступних операцій: визначення за показаннями лічильника, встановленого на приєднувальному пункті, споживаної електроенергії; реєстрації обсягів переробленої гірничої маси (хронометрування, дані оперативних зведень та маркшейдерських замірів).

Середнє значення питомої витрати електроенергії визначається відповідно до за середніми значеннями показників, що входять у вираз, визначених за результатами обстеження.

За результатами обстеження будується енергетична характеристика технологічного електроприймача:

$$\omega_m = \frac{a}{\Pi_n} + b, \quad (1.10)$$

де:

$$a = \bar{W}_n - b\bar{\Pi}_n, \quad (1.11)$$

$$b = r_{w/n} \cdot \delta_w / \delta_{\Pi}, \quad (1.12)$$

де у виразах (1.10), (1.11): $\bar{W}_n$ $\bar{\Pi}_n$ - середні значення, відповідно, витрати електроенергії та продуктивності технологічної установки по гірській масі; $r_{w/n}$ - Коефіцієнт кореляції між $\bar{W}_n$ і $\bar{\Pi}_n$ за відповідні інтервали часу ΔT_n :

$$r_{w/n} = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (W_{ni} - \bar{W}_n)(\Pi_{ni} - \bar{\Pi}_n)}{\delta_w \cdot \delta_{\Pi}}, \quad (1.13)$$

де N — число замірів за період T ; $\delta_w \cdot \delta_{\Pi}$ — середньоквадратичні відхилення.

Отримані середні значення витрат електроенергії зіставляються з існуючими нормами і з мінімально можливими, визначеними за енергетичними характеристиками, отриманими в нормалізованих умовах.

На підставі проведеного аналізу проводиться оцінка ефективності використання електроенергії технологічним електроприймачем і розробляються конкретні рекомендації, спрямовані на забезпечення режиму роботи машини (установки) з мінімальними енерговитратами.

Розроблені рекомендації можуть бути використані для встановлення енергетичних характеристик технологічних установок при розробці розсипних родовищ, що дозволяє точніше оцінювати та планувати енерговитрати.

Однак, для визначення енергетичних характеристик для кожної технологічної установки в умовах конкретного підприємства потрібне проведення досить трудомістких експериментальних досліджень з використанням спеціальних реєструючих приладів, що обмежує використання пропонованих рекомендацій енергетичними службами підприємств [7].

У цьому випадку для оцінки енерговитрат можна застосовувати узагальнені енергетичні характеристики у відносних одиницях для однотипних технологічних електроприймачів, що працюють у схожих умовах.

Для умов Криворіжжя можуть бути використані отримані в роботі узагальнені характеристики.

Використовуючи узагальнені енергетичні характеристики, можна, порівнюючи значення з індивідуальними енергетичними характеристиками, здійснити оперативну оцінку електроспоживання при зміні виробничої ситуації (зміна середньої продуктивності, середньої витрати електроенергії тощо) і вирішити на цій основі завдання зниження енергоємності.

При розробці поліметалічних родовищ до енергоємних технологічних установок належать вентиляторні (головного провітрювання), водовідливні (головного водовідливу), компресорні та підйомні (головного підйому).

Основними енергетичними показниками, що характеризують ефективність використання електроенергії стаціонарними установками, є:

- витрата електроенергії $W_{\text{ст}}$ за контрольований інтервал часу (кВт·год);
- питоме електроспоживання витрата електроенергії, віднесена до одиниці показника, що визначає продуктивність технологічної установки.

Оцінку енергоємності окремих технологічних установок можна виконати на основі рекомендацій, наведених вище, для установок копалень.

Оцінку змінної витрати електроенергії стаціонарних технологічних установок доцільно виконувати на базі узагальнених енергетичних характеристик, отриманих на базі кореляційно-регресійного аналізу з уніфікацією вихідних варіаційних рядів витрати електроенергії за допомогою приведення значень витрати електроенергії до відносних одиниць: для вентиляторних установок — до одиниці депресії, для водовідливних і підйомних установок — до одиниці висоти підйому, відповідно, рідини та вантажу.

Оцінку енерговитрат поршневих компресорних установок (продуктивність 50 і 100 м³/хв, потужність двигуна, відповідно, 300 і 600 кВт) можна виконувати за допомогою енергетичних характеристик.

Оцінку енерговитрат водовідливних, вентиляторних і підйомних установок слід визначати за енергетичними характеристиками.

При використанні зазначених енергетичних характеристик можна здійснювати оперативну оцінку витрати електроенергії при зміні технологічних показників процесів.

Розділ 2. Методичні рекомендації зі складання та раціоналізації електробалансів технологічних процесів гірничого виробництва

2.1. Методичні рекомендації зі складання та раціоналізації електробалансів технологічних процесів гірничого виробництва

Метою складання та нормалізації електробалансів є підвищення ефективності використання електроенергії на гірничих підприємствах за рахунок виявлення резервів економії енергоресурсів, обґрунтування норм витрати електроенергії на технологічні процеси.

При складанні видаткової частини електробалансів частка енергії, що витрачається на прямі технологічні потреби, може визначатися наступними методами: розрахунковим, експериментальним та розрахунково-експериментальним.

Найбільш доцільним з перерахованих методів є комбінований, розрахунково-експериментальний метод.

Електробаланси окремих агрегатів слід відносити до зміни та характерної робочої доби.

Остання визначається за середньою продуктивністю технологічних установок. У практичних умовах потрібно зосередити всі вимірювання в період найбільш завантаженої зміни [8].

Однак, враховуючи можливу нестійкість у роботі окремих змін, сумарна тривалість замірів повинна бути не менше $m_{зм}=3-4$.

Видаткова частина електробалансів вентиляторних, водовідливних і компресорних установок складається з наступних складових: технологічної витрати, постійних втрат, навантажувальних втрат і втрат у кабельній мережі живлення.

Видаткова частина електробалансів підйомних установок має додатково до перерахованих вище складових пускові та гальмівні втрати.

Таблиця 2.1 Коефіцієнти форми графіка електричних навантажень енергоємних споживачів поліметалевих копалень

Електроприймачі	Значення коефіцієнта форми K_f
Компресорні установки	1,25
Вентиляторні установки	1,01
Водовідливні установки	1,05
Підйомні установки	1,14

Для аналізу електробалансів потрібно визначити енергетичні характеристики технологічних приймачів, статистики і закони розподілів складових балансів, а також їхні залежності від технологічних факторів.

Визначення фактичних електробалансів в умовах виробництва становить значні труднощі через відсутність інформації про електроспоживання окремих електроприймачів та трудомісткість обчислювальних робіт.

У зв'язку з цим для енергоємних споживачів поліметалічних рудників можна використовувати вирази, характеристики і залежності, отримані в цій роботі.

У цьому випадку доцільно рекомендувати наступний алгоритм визначення статей видаткової частини електробалансів технологічних приймачів:

1. Визначають за максимально завантажену зміну загальну витрату електроенергії та технологічні параметри, що характеризують продуктивність і умови роботи технологічного приймача, а саме:

- для вентиляторів — продуктивність (тис. м³), депресія (Па);

- для водовідливних установок — продуктивність (м^3), висота подачі води (м);
- для компресорних установок — продуктивність (тис. м^3);
- для підйомних установок — продуктивність (т), висота підйому вантажу (м), фактичний множник швидкості. Для зазначених електроприймачів визначається також довжина кабельної лінії живлення (км).

2. Визначаються складові електробалансів, що характеризують втрати електроенергії (постійні, навантажувальні, в мережах, пускові, гальмівні).

3. Здійснюється переведення значень складових електробалансів в іменовані одиниці за виразом:

$$\Delta W = \frac{\Delta W(\%) \cdot W_0}{100}, \quad (2.1)$$

де $\Delta W(\%)$ — постійні втрати електроенергії у %; W_0 — споживана установкою електроенергія протягом зміни, $\text{кВт} \cdot \text{год}$.

Розраховується технологічна витрата електроенергії

$$W_T = W_0 - \sum_{i=1}^n \Delta W_i, \quad (2.2)$$

де ΔW_i — складова електробалансу, що характеризує втрати електроенергії.

4. Проводиться порівняння прибуткової та видаткової частин електробалансу.

Слід зауважити, що розрахунок електробалансів технологічних приймачів, що розглядаються, можна проводити без попереднього експериментального визначення змінної витрати електроенергії.

У цьому випадку для визначення змінної витрати електроенергії можна використовувати отримані в роботі вирази.

Після отримання фактичного електробалансу потрібно виконати його раціоналізацію.

Для цього необхідно визначити ті види втрат електроенергії, які призводять до непродуктивних витрат енергоресурсу, і шляхом аналізу режиму роботи установки встановити причини, що породжують збільшення непродуктивної витрати.

На підставі проведеного аналізу і після встановлення причин непродуктивної витрати електроенергії, згідно з порядком, наведеним вище, складається раціональний електробаланс.

Резерви економії електроенергії можна визначити за виразом:

$$\Delta W_{\text{ек}} = \sum_{i=1}^m (\Delta W_{\text{фі}} - \Delta W_{\text{рі}}), \quad (2.3)$$

де $\Delta W_{\text{фі}}$, $\Delta W_{\text{рі}}$ — втрати електроенергії за кожною статтею до і після раціоналізації електробалансу; m — число статей, за якими відбувається економія електроенергії після раціоналізації електробалансу.

Основним резервом економії електроенергії при раціоналізації електробалансів є зниження частки постійних втрат за рахунок більшого завантаження технологічних приймачів.

На підставі встановлених складових електробалансів можна виконати постатейний аналіз норм витрати електроенергії на технологічний процес, диференціювавши їх за статтями електробалансів.

У зв'язку з цим в індивідуальній нормі витрати електроенергії (на одиницю продукції) можна виділити загальну, технологічну та корисну норми.

Визначення норм проводиться в наступному порядку:

1. За залежностями на підставі даних про середньозмінну продуктивність $Q_{зм}$ визначають загальну витрату електроенергії W_0 .

2. Знаходять індивідуальну загальну норму витрати електроенергії:

$$H_{н.о.} = \frac{W_0}{Q_{зм}}, \quad (2.4)$$

3. На підставі даних раціонального електробалансу визначають технологічну витрату електроенергії:

$$W_T = W_0 - \sum_{i=1}^q \Delta W_{Ti} - \Delta W_n, \quad (2.5)$$

де ΔW_{Ti} — складова втрат електроенергії, що залежить від обсягу виконаної роботи (продуктивності), умовно-змінні втрати; ΔW_n — складова втрат електроенергії, що не залежить від обсягу виконаної роботи (продуктивності), умовно-постійні втрати; Q — число складових умовно-змінних втрат.

4. Визначають індивідуальну технологічну норму витрати електроенергії:

$$H_{ц.т.} = \frac{W_{кор}}{Q_{зм}}, \quad (2.6)$$

5. Низка втрат електроенергії, що виникають при протіканні технологічного процесу, залежить від обсягу виконаної роботи (навантажувальні втрати, пускові втрати, гальмівні втрати та втрати в кабельних мережах), які не зовсім коректно називати втратами, оскільки раціональне збільшення частки цих втрат компенсується

збільшенням продуктивності технологічного обладнання [9]. Ці втрати слід визначати як супутні технологічній витраті електроенергії. У зв'язку з цим зазначені втрати з метою аналізу структури норм витрати електроенергії доцільно включити до індивідуальної технологічної норми. На підставі цього маємо індивідуальну корисну норму:

$$H_{\text{и.п.}} = \frac{W_{\text{кор}}}{Q_{\text{зм}}} , \quad (2.7)$$

де $W_{\text{кор}}$ – корисна витрата електроенергії:

$$W_{\text{кор}} = W_{\text{T}} + \sum_{i=1}^q \Delta W_{\text{Ti}} , \quad (2.8)$$

Наведені методичні рекомендації щодо диференціального аналізу індивідуальних норм витрати електроенергії на основі даних електробалансів дозволяють встановити раціональні норми та контролювати понаднормативні втрати електроенергії.

Розділ 3. Рекомендації щодо визначення перспективного електроспоживання гірничих підприємств

3.1. Рекомендації щодо визначення перспективного електроспоживання гірничих підприємств

Підвищення точності та надійності визначення рівнів перспективного електроспоживання підприємств, що розробляють розсипні родовища, — необхідна умова підвищення ефективності використання електроенергії.

На даний час на підприємствах процес визначення заявки лімітів на електроенергію здійснюється практично без достатнього аналізу електроспоживання та показників обсягу робіт, що часто призводить до відхилення фактичного ЕС (електроспоживання) від заявочних значень.

При коригуванні лімітів не завжди враховуються поточні показники роботи підприємства, прогноз кліматичних факторів і, як наслідок, неефективно використовуються заявлені ліміти на електроенергію.

При перевищенні ліміту електроенергії з підприємств стягується в безакцептному порядку штраф за величину перебору електроенергії [10].

У зв'язку з цим визначення перспективних рівнів споживання електроенергії для правильної та своєчасної заявки необхідних лімітів неможливе без застосування прогнозних процедур.

Процес фондування електричних навантажень гірничих підприємств носить випадковий характер, тому для оцінки перспективного електроспоживання, поряд із прогнозуванням середнього значення, необхідно визначати і параметри, що характеризують розкид випадкових значень ознаки.

У зв'язку з цим прогноз повинен забезпечувати інтервальну оцінку перспективного електроспоживання.

Для прогнозування електроспоживання слід створити інформаційну базу даних рівнів електроспоживання гірничих підприємств (у ретроспективному плані), значень ділянок, що визначають електроспоживання.

Вихідну інформацію доцільно представляти у матричному вигляді.

Для опису режимів електроспоживання гірничих підприємств доцільно використовувати розроблену методику оцінки їхніх станів та моделювання.

Відповідно до цього визначення прогнозних рівнів електроспоживання повинно включати наступні етапи:

1. збір, передачу, формування бази даних та зберігання інформації про електроенергію;
2. синтез математичних моделей процесів електроспоживання гірничих підприємств;
3. визначення за допомогою отриманих моделей прогнозних значень електроспоживання на місячному та річному рівнях;
4. адаптація моделей при зміні факторів та коригування прогнозних значень електроспоживання.

Послідовність реалізації кожного етапу наступна.

Перший етап. Збір даних про ЕС здійснюється на гірничому підприємстві за показаннями лічильників комерційного та технічного обліку, за звітними даними про планово-виробничу діяльність підприємства.

Передача даних на ОЦ (Обчислювальний Центр) здійснюється у вигляді щомісячного звіту про використання електроенергії за минулий місяць.

Передача даних за відсутності системи автоматизованого збору та передачі даних може здійснюватися по телетайпу (телеграфу) або передаватися у вигляді телерадіограм за відповідною формою.

Зазначеними каналами також може передаватися на ОЦ прогноз клімато-метеорологічних даних, необхідних для адаптації моделей електроспоживання.

Формування бази даних передбачає їхню організацію у матричному вигляді.

Наприклад, дані про місячне електроспоживання представляються у вигляді двовимірної матриці $W(I, J)$. Де I — номер року, $I=1, N$ J — номер місяця, $J=1, M$

Кожен рядок матриці представляє зміну ЕС (електроспоживання) протягом I -го року по місяцях, а стовпці являють собою значення електроспоживання J -го місяця в різні роки.

Побудовані матриці дають стовпці річного електроспоживання (РЕС), що відображають його зміну за роками:

$$W(I) = \sum_{j=1}^M W(I, J), \quad (3.1)$$

де $M=12$ (к-ть місяців).

Кожне значення МЕП представлено як суми значень добового (П (СЕП):

$$W(I, J) = \sum_{k=1}^n W(I, J, K), \quad (3.2)$$

де n – кількість днів у місяці.

Зберігання інформації про електроспоживання та фактори, що його визначають, здійснюється у зовнішній пам'яті ЕОМ.

Другий етап. Обробка даних про електроспоживання та синтез математичної моделі електроспоживання здійснюється на базі розробленої в главі 2 методики, математичні процедури якої реалізуються на ЕОМ.

Третій і четвертий етапи в методологічному плані базуються на результатах, отриманих у ході дослідження.

При цьому потрібно врахувати, що отримані в ході статистичного аналізу математичні моделі та точкові оцінки режимів електроспоживання не вільні від похибки, пов'язаної з тим, що обсяг інформації про електроспоживання, на основі якої проводилося моделювання, обмежений.

У зв'язку з цим, потрібне здійснення інтервального прогнозу, який вказує не тільки точкову оцінку, але й інтервал, в якому, за припущенням, із заданою надійністю може опинитися фактичне значення прогнозованої величини.

Довірчий інтервал для W , пов'язаний з глибиною вибірки (періодом спостереження) та з інтервалом випередження, може бути підрахований за формулою виробок, в яких спостерігається значний капіж, велика вологість атмосфери:

$$\Delta W^*(I + L, J) = S_w \cdot K^*, \quad (3.3)$$

де S_w – середньостатистична помилка прогнозу:

$$S_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W(I, J) - \hat{W}(I + L, J))^2}{N - 1}}, \quad (3.4)$$

Звісно, такий поділ має низку умовностей, зумовлених труднощами визначення водоприпливу у виробках під час експериментальних досліджень параметрів к.м. (контактних мереж).

Однак, подібний підхід дозволяє розділяти вироби за одним з основних факторів, що впливають на рівень опору ізоляції.

Відповідно до викладеного, досліджувані контактні мережі були класифіковані на дві групи: ті, що експлуатуються в сухих (перша група) і сирих (друга група) виробках.

Статистики розподілів зазначених груп контактних мереж наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Статистика розподілу наведеного активного опору ізоляції к.с.

Групи к.с.	$R_{\text{із.а.о.}}$, кОм/км	σ , кОм/км	v	Медіана, кОм/км	Мода, кОм/км	Асиметрія	Ексцесс
Перша	49,1	24,8	0,51	51,7	45,5	1,13	1,57
Друга	18,89	6,51	0,39	18,4	14,1	0,63	0,11

Дані табл. 3.1 свідчать про відмінність значень опору ізоляції для груп розглянутих контактних мереж.

Перевірка статистичної гіпотези про вид закону розподілу дозволила з ймовірністю 0,95 прийняти гамма - закон із щільністю розподілу для сухих виробок:

$$f(R_{\text{із.а.о.}}) = 12,5^{2,95} \cdot [r(2,92)]^{-1} \cdot R_{\text{із.а.о.}} \cdot \exp(-12,5 \cdot R_{\text{із.а.о.}}), \quad (3.5)$$

для мокрих виробок:

$$f(R_{\text{із.а.о.}}) = 2,60^{5,46} \cdot [r(5,46)]^{-1} \cdot R_{\text{із.а.о.}}^{4,46} \cdot \exp(-2,60 \cdot R_{\text{із.а.о.}}). \quad (3.6)$$

Експериментальні та теоретичні розподіли активного опору ізоляції для умов сухих та сирих виробок наведено на рис. 3.1.

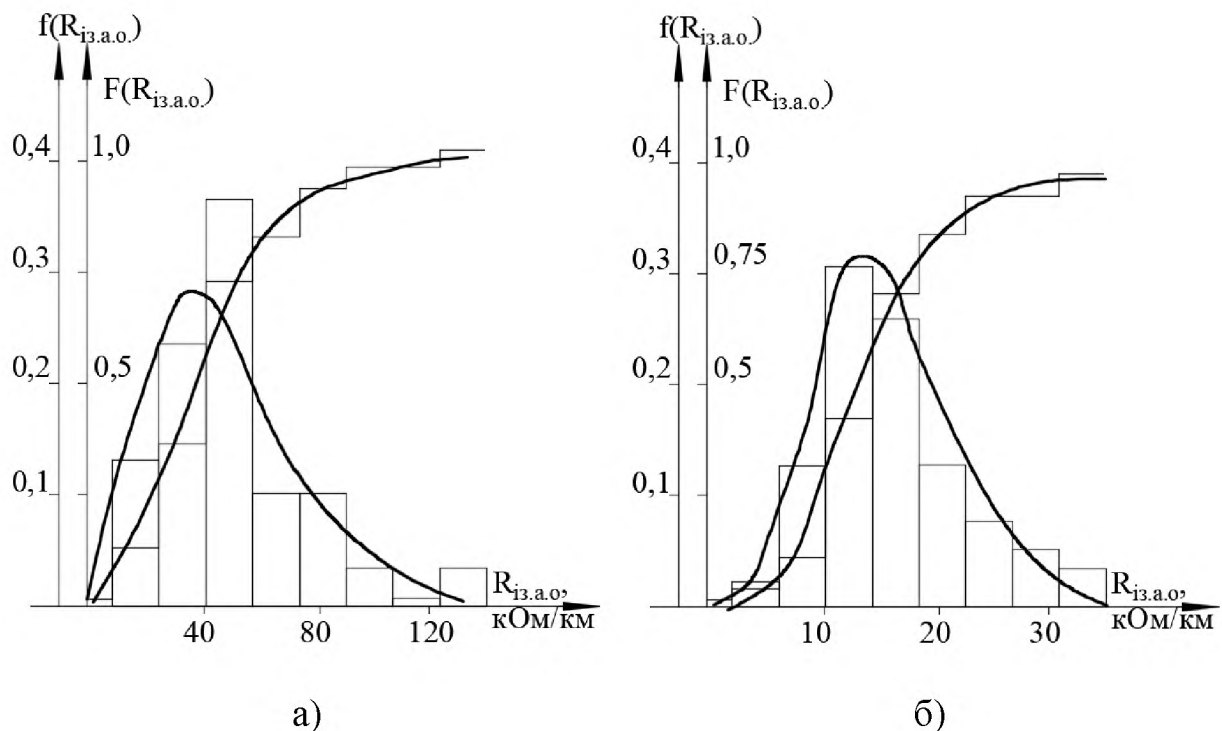


Рисунок 3.1 – Експериментальні та теоретичні закони розподілу опору ізоляції контактних мереж: а) – перша група; б) – друга група.

При розробці норм на опір ізоляції к.м. (контактних мереж) з урахуванням досвіду розробки норм на опір ізоляції елементів шахтного електрогосподарства змінного струму намітилися певні тенденції, що обмежують мінімальний рівень опору ізоляції, виходячи з умов пожежної безпеки, електробезпеки та надійної роботи захисту від витоків.

Крім цих умов, норматив на опір ізоляції к.м., очевидно, повинен враховувати реально досяжні рівні, в якості яких можуть бути прийняті стійкі рівні опору ізоляції к.м., що експлуатуються.

Використовуючи наслідок однієї з властивостей інтегральної функції розподілу (ймовірність того, що випадкова величина прийме значення, що міститься в певному інтервалі, дорівнює приросту інтегральної функції на цьому інтервалі) та враховуючи, що при статистичному дослідженні відносна частота є мірою ймовірності настання події, визначаємо інтервали значень (починаючи від нуля) приведенного активного опору ізоляції при прийнятій ймовірності 0,4 для розглянутих груп к.м.

Для першої групи к.м. інтервал дорівнює (0–34,6) кОм/км, для другої групи к.м. — (0–11,5) кОм/км. Іншими словами, у сухих виробках 40% к.м. мають приведений активний опір ізоляції менше 34,6 кОм/км, у сирих виробках 40% к.м. мають значення цього параметра менше 11,5 кОм/км.

Для врахування роду вимірювального струму при визначенні активного опору ізоляції к.м. (контактної мережі) доцільно використовувати коефіцієнт еквівалентності опорів ізоляції к.м. випрямленому струму з коефіцієнтом пульсації 0,057 та змінному струму частотою 50 Гц, який являє собою математичне сподівання відношень зазначених опорів.

Статистичні характеристики зазначеного коефіцієнта для умов шахт Східного Донбасу наступні: середнє $K_e=1,55$, дисперсія $D=0,116$, асиметрія $A=-0,65$, ексцес $E=0,032$.

Таким чином, для розглянутих умов коефіцієнт еквівалентності може бути прийнятий рівним 1,55.

З урахуванням коефіцієнта еквівалентності вищевказані стійкі рівні приведенного активного опору ізоляції к.м. будуть дорівнювати: для сухих виробок — 53,6 кОм/км; для мокрих виробок — 17,8 кОм/км.

Отримані значення опору ізоляції можуть характеризуватися як стійкі експлуатаційні рівні та слугувати рекомендаціями при розробці нормативів на опір ізоляції к.м.

Становлять інтерес залежності опору ізоляції від довжини к.м. Зазначені залежності отримані у вигляді рівнянь регресії:

$$R_{iz.a} = A + B \cdot \lg L_{к.с.}, \quad (3.6)$$

де $R_{iz.a}$ — опір ізоляції к.м. (контактної мережі), кОм; $L_{к.с.}$ — довжина к.м., км; A і B — коефіцієнти рівняння. Значення коефіцієнтів наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Значення коефіцієнтів залежностей $R_{iz.a}=f(L_{к.с.})$

Групи контактних мереж	Значення коефіцієнтів регресій	
	A	B
Перша	52	128
Друга	31	114

За вказаними залежностями можна, використовуючи критичні значення опору ізоляції, визначати допустимі значення довжини к.м. (контактної мережі) для різних умов, що обумовлює безпеку в к.м.

Напруга контактних мереж як уражаючий фактор.

Дослідження напруги к.м. з усією очевидністю показує, що в її складі присутні постійна та гармонічна складові, що мають значення такої величини, за якої можливі (у разі дотику до тролєя) фізіологічні ефекти,

невластиві постійному за величиною струму (наприклад, ефект "приковування").

Підтвердженням цьому є факти, які виявлені під час аналізу електротравматизму в умовах шахт і рудників.

Таким чином, підтверджується неспроможність оцінки небезпеки дотику до тролєя, що розглядає к.м. як постійну за величиною.

Разом з цим, розвиток підземного електровозного транспорту характеризується все ширшим застосуванням тиристорної техніки.

На даний час існують регульовані перетворювальні агрегати тиристорних електровозів, перетворювальні агрегати з пристроями, що поєднують у собі (за рахунок застосування керованих вентилів) властивості максималь-струмового захисту та захисту від ураження електричним струмом при дотику до тролєя.

Крім цього, вище зазначалося, що спостерігається тенденція застосування для захисту від витоків принципу полярного поділу оперативного та силового сигналів. Таким чином, в к.м. має місце поширення напруг із фазовими відсічками.

З метою визначення форми кривої напруги к.м. було виконано її моделювання з використанням наступного:

1. Збереження в модельованій напрузі періодичності, що дорівнює періодичності напруги к.м., та забезпечення пульсаційного характеру, аналогічного напрузі к.м.

2. Дотримання в модельованій напрузі процентних співвідношень між гармонійними та постійною складовими в межах, що мають місце в реальних к.м.

3. Розмах кидка напруги в модельованій напрузі повинен бути не меншим за аналогічний параметр напруги к.м.

На основі цих положень в якості моделі напруги к.м. може бути прийнята напруга на виході керованого трифазного тиристорного перетворювача, зібраного за мостовою схемою, при малих кутах регулювання ($\alpha=10^\circ\div 15^\circ$).

На підставі вищевикладеного можна констатувати, що для забезпечення безпеки електроустановок підземного контактного відкачування необхідно використовувати в рішеннях критерії електробезпеки для струмів із фазовими відсічками.

Безпека застосування електроенергії на гірничих підприємствах обумовлена, поряд з іншим, оперативністю та якістю аналізу нещасних випадків, що відбуваються в електротехнічних комплексах і системах.

Виконані на базі використання моделей генезису нещасних випадків дослідження дозволяють визначити методичні рекомендації щодо проведення експрес-аналізу аварійних ситуацій.

Основними положеннями при цьому є наступні.

1. Всі нещасні випадки в електротехнічних комплексах і системах гірничого підприємства аналізуються відповідно до положень причинного аналізу та схемою причинно-наслідкових зв'язків генезису електротравм.

2. На основі аналізу всіх випадків травмування розраховуються ймовірності виникнення станів процесу та ймовірності переходів між цими станами, будується потоковий граф причинно-наслідкових зв'язків генезису електротравм.

3. Визначаються причини, які призвели до стану процесу на різних стадіях.

4. Встановлюються причини, які мають найбільшу вагу (найбільшу частоту появи).

5. Розробляються профілактичні заходи щодо усунення причин електротравм та недопущення можливості їхньої повторної появи.

Висновки

Метою роботи було удосконалення схем розрахунку електричних навантажень з розробкою рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних установок гірничих підприємств.

Відповідно до мети роботи були розглянуті питання підвищення ефективності використання електроенергії та точності проектування систем електропостачання гірничих підприємств шляхом удосконалення алгоритмів розрахунку електричних навантажень для обладнання зі статистично неоднорідними режимами роботи, а також розробка методичних рекомендацій щодо оцінки та прогнозування енерговитрат.

В даній роботі розроблено: вдосконалений метод розрахунку електричних навантажень електроприймачів зі статистично неоднорідними режимами; методичні рекомендації з оцінки енерговитрат, складання та раціоналізації енергобалансів енергоємних технологічних процесів гірничих підприємств; рекомендації щодо визначення перспективних режимів електроспоживання, алгоритми синтезу моделей та прогнозування витрати електроенергії; рекомендації щодо підвищення безпеки процесу електроспоживання на гірничих підприємствах.

Список використаних джерел

1. 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.
2. 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.
3. Sinchuk O., Strzelecki R., Sinchuk I., Beridze T., Fedotov V., Baranovskyi V., Budnikov K. Mathematical model to assess energy consumption using water inflow-drainage system of iron-ore mines in terms of a stochastic process. *Mining of Mineral Deposits*. 2022. Vol. 16, Iss. 4. P. 19–28.
4. 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.
5. 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: 27.10.2025).
6. 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.
7. 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.

8. 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.
9. 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.
10. 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>.

Додатки

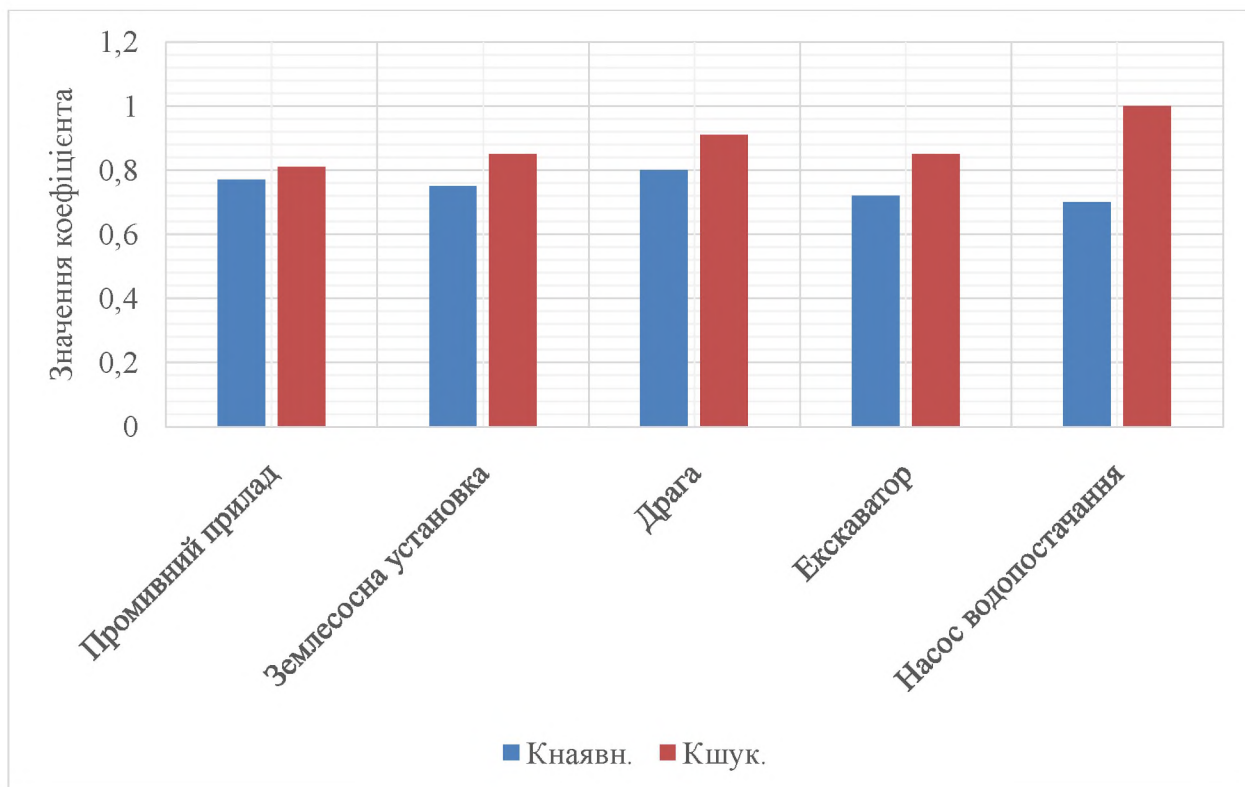
Розрахункові коефіцієнти для визначення електричних навантажень
електроспоживачів копалень

Електроспоживачів технологічних груп	$K_{\text{наявн.}}$	$K_{\text{шук.}}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
Промивний прилад	0,77	0,81	0,85	0,62
Землесосна установка	0,75	0,85	0,80	0,75
Драга	0,80	0,91	0,80	0,75
Екскатор	0,72	0,85	0,75	0,88
Насос водопостачання	0,70	1,00	0,80	0,75

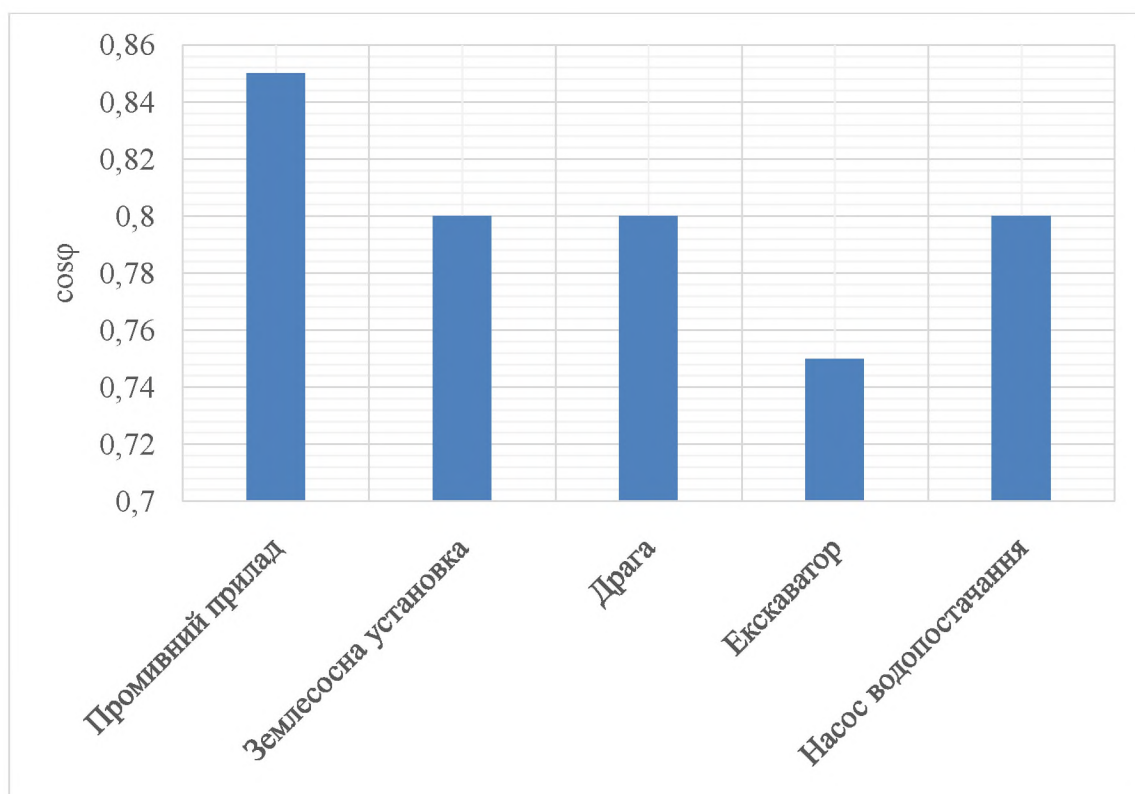
Коефіцієнти для визначення розрахункових навантажень
електроспоживачів поліметалічних рудників

Електроспоживач	$K_{\text{пвк.}}$	$K_{\text{наявн.}}$
Компресор ($P_{\text{ном}}=630\text{кВт}$)	0,89	0,81
Компресор ($P_{\text{ном}}=320\text{кВт}$)	0,82	0,91
Підйомна машина	0,66	0,93
Вентилятор головного провітрювання	1,00	0,72
Водовідливна установка	1,00	0,90

Розрахункові коефіцієнти для визначення електричних навантажень
електроспоживачів копалень



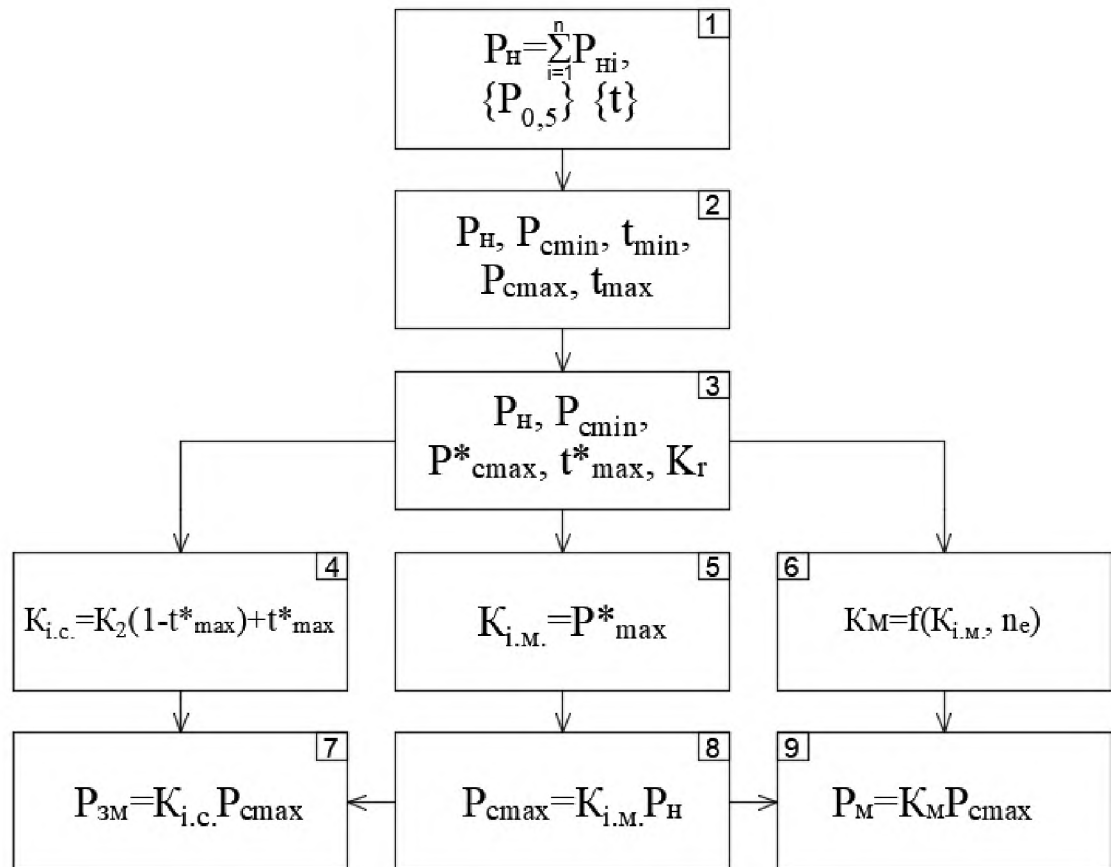
Коефіцієнти для визначення розрахункових навантажень
електроспоживачів поліметалічних рудників



Відносні похибки визначення розрахункових навантажень, %

Технологічні групи електроспоживачів	Відносні похибки визначення навантажень			
	Середніх		Максимальних	
	δP_{3M}	δQ_{3M}	δP_p	δQ_p
Промивні прилади	-3,7	-1,9	12,7	-6,5
Землесоси	-8,4	-8,4	30,9	-1,9
Промивні прилади та землесоси	-1,6	1,6	20,8	-6,0
Драгі	-2,3	-2,9	3,7	-17,2
Промивні прилади, землесоси та драги	-4,4	-4,4	13,0	-10,2
Екскаватори	12,9	13,0	24,4	1,6

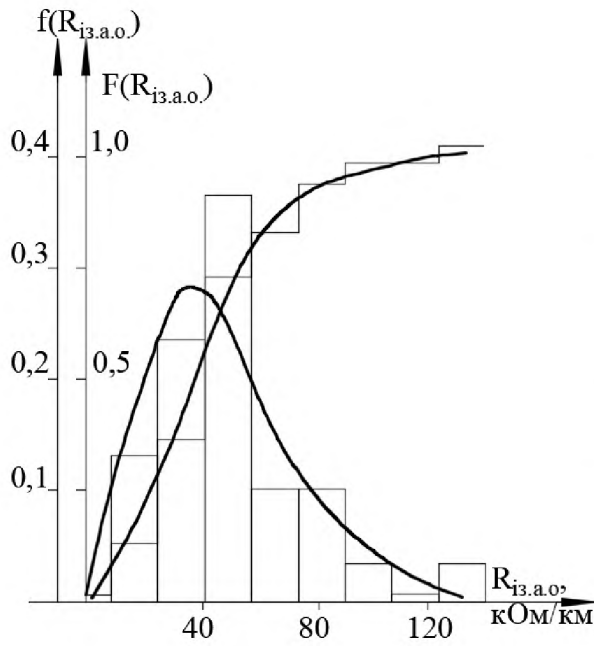
Розробка рекомендацій щодо оцінки енерговитрат технологічних процесів гірничого виробництва



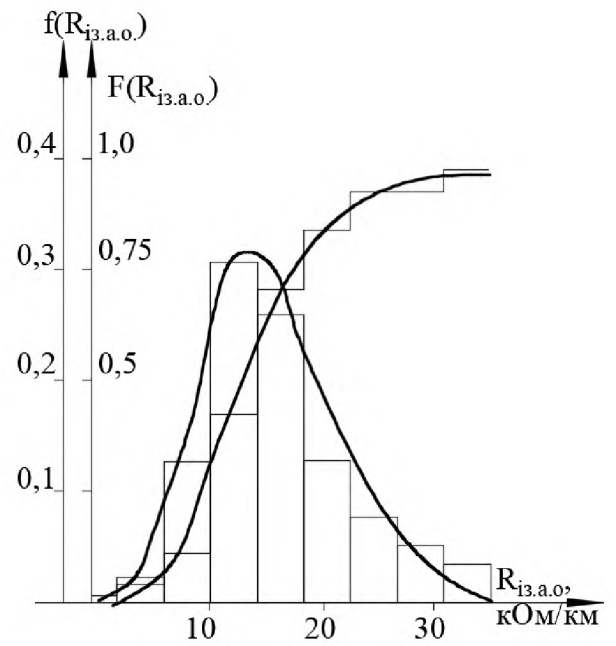
Коефіцієнти форми графіка електричних навантажень енергоємних
споживачів поліметалевих копалинь

Електроприймачі	Значення коефіцієнта форми K_ϕ
Компресорні установки	1,25
Вентиляторні установки	1,01
Водовідливні установки	1,05
Підйомні установки	1,14

Експериментальні та теоретичні закони розподілу опору ізоляції
контактних мереж: а) – перша група; б) – друга група



а)



б)

Значення коефіцієнтів залежностей $R_{i3,a}=f(L_{k,c})$

Групи контактних мереж	Значення коефіцієнтів регресій	
	А	В
Перша	52	128
Друга	31	114