

УДК 621.316.1.05

Діагностика та прогнозування рівнів електроспоживання залізородних копалень

Дозоренко^f О. В., e-mail ol.dozorenko2017@gmail.comСінчук І. О., к.т.н. доц., ORCID [0000-0003-3938-0744](https://orcid.org/0000-0003-3938-0744)Сінчук^s О. М., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)Криворізький національний університет
Кривий Ріг, Україна

Анотація—У статті наведені результати експериментальних досліджень оцінювання рівнів споживання електричної енергії залізородними копальнями України. Промислові підприємства, що досліджуються, являють собою енергоємні системи. Доведено, що рівні споживання електричної енергії функціонально залежать від ряду впливових технологічних факторів підприємств. Визначено, що рівні впливу цих факторів різняться між собою. Спостереження щодо споживання електроенергії відповідають індивідуально кожному окремо взятому підприємству. У зв'язку з вищевикладеним запропоновано на основі регресійних моделей методологічні засади діагностики та прогнозного оцінювання рівнів споживання електроенергії, котра враховує аспекти індивідуального впливу кожного фактору на рівні споживання того чи іншого гірничого підприємства.

Бібл. 16, рис. 8, табл. 6.

Ключові слова — електрична енергія; діагностика; прогнозування; рівні споживання.

I. ВСТУП

Гірничорудні підприємства належать до категорії енергоємних підприємств. Саме тому відповідна галузь промисловості України щорічно протягом останніх десяти років споживає біля 25 % електроенергії (ЕЕ) від всього державного обсягу [1], [2].

Рівні споживання та постійне зростання тарифів на ЕЕ є системо утворюючим фактором при визначенні собівартості видобутку залізородної сировини (ЗРС), оскільки більше 30 % цього базового для економіки комплексу становить електроенергетична складова [2], [3].

Логічним висновком з вищевикладеної тези можуть бути напрямки виходу з такої одіозної ситуації – зменшення обсягів споживання ЕЕ. Проте, таке рішення неможливо реалізувати, враховуючи реальні технологічні вимоги щодо видобутку ЗРС. В свою чергу, реальним при цьому виглядає перерозподіл рівнів споживання ЕЕ в годинах доби, оскільки саме диференціювання цін за спожиту ЕЕ в годинах доби формує тарифи на цей вид енергоносіїв, діапазон коливань котрих сягає значних показників – майже 8-ми значень [3], [4].

Проте перерозподіл електроенергопотоків підприємств в годинах доби не є простою статичною задачею, оскільки на процес технології видобутку ЗРС, а значить і на рівень енергозатрат, впливає ряд факторів, котрі в свою чергу, носять випадковий характер [5].

Перший етап досліджень - розробка методології відстеження реальних рівнів споживання ЕЕ з визначенням шляхів оптимізації та перерозподілу

електроенергопотоків залежно від технологічних факторів підприємств. Логічно, що цей дослідницький етап повинен закінчуватись встановленням лінійки споживачів-регуляторів ЕЕ.

Метою роботи є розробка методологічних засад діагностики та прогнозного оцінювання рівнів споживання електроенергії на гірничорудних підприємств з підземними способами видобутку ЗРС.

II. МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Питання збільшення електроенергоєфективності, а значить зменшення електроенергоємності процесу, видобутку ЗРС завжди було актуальним і підлягало дослідженню в різні часи розвитку гірничої галузі [5]–[13]. Саме результати цього наукового пошуку при втіленні їх в практику функціонування залізородних підприємств дозволили певний час стримувати ріст електроенергозатрат при видобутку ЗРС. Цікавим практичним моментом у певних дослідженнях виглядає впровадження на даних підприємствах систем контролю рівнів споживання ЕЕ по кожному технологічному циклу видобутку ЗРС. Незважаючи на простоту, це дало значний економічний ефект. Проте сьогодні такого підходу до проблеми підвищення електроенергоєфективності гірничих підприємств з видобутку ЗРС замало. Лише контролювати вже замало, сьогодні потрібно управляти цим процесом використовуючи показники технологічних факторів. Для такого підходу, перш за все, потрібно мати достатньо ефективну методику оцінки реальних рівнів споживання ЕЕ та рівень впливу на цей процес відповідних факторів.



Спираючись на загальнонаукові підходи щодо визначення діагностики, можемо стверджувати, що метою діагностики споживання електроенергії на залізорудних підприємствах є системне вивчення чинників впливу задля забезпечення ефективної роботи. Сутність поняття діагностики має дотичність до моніторингу, але діагностика споживання електроенергії на залізорудних підприємствах дозволяє системно визначати індивідуальні складові впливу на рівні споживання електроенергії [4], [5].

Відповідно до означеного підходу можемо визначити основні складові теоретико-методологічних засад діагностики рівнів електроспоживання, а саме: об'єкт, суб'єкт, принципи, завдання, функції, методи.

При викладенні суті досліджень, використовуються наступні поняття: об'єкт – процеси споживання ЕЕ на залізорудних підприємствах Криворізького регіону. Суб'єкти – аналітики, управлінці, які приймають рішення відповідно ефективності споживання ЕЕ.

При дослідженні застосовуються наступні принципи: системної оцінки – оцінка результатів щодо ефективності ЕЕ суб'єкта управління повинна носити системний характер з метою з'ясування не лише поточних результатів оцінювання споживання ЕЕ, але і здійснення відповідного прогнозу; причинно-наслідкового зв'язку – діагностика рівнів споживання ЕЕ залізорудного підприємства має виявляти фактори, які здійснюють позитивний та негативний впливи на споживання ЕЕ, з метою нівелювання негативного впливу та посилення факторів позитивної дії, а також встановлення кореляційних зв'язків між ними; достовірності інформаційного забезпечення – здійснення діагностики рівнів електроспоживання залізорудного підприємства має спиратись саме на об'єктивну та повну інформаційну базу, яка в повному обсязі та адекватно кількісно оцінює споживання ЕЕ; наукового обґрунтування – методичні та методологічні підходи до реалізації діагностики рівнів електроспоживання залізорудного підприємства мають перебувати в науковій площині та спиратись на новітні розробки; безперервної реалізації – побудова системи діагностики рівнів електроспоживання має бути здійснена на безперервній основі з метою недопущення погіршення результативності впровадження системи діагностики та необ'єктивності отриманих результатів; результативності – під час проведення діагностики рівнів електроспоживання залізорудного підприємства доцільно здійснювати моніторинг цінності отриманих результатів з витратами на його проведення; галузевої приналежності – діагностика рівнів електроспоживання залізорудного підприємства має виявляти не лише особливості його внутрішнього функціонування, але і враховувати специфічні умови розвитку регіону, а також галузеву приналежність; цільового спрямування – методологічні підходи до здійснення діагностики рівнів електроспоживання залізорудного підприємства мають забезпечувати не лише загальну оцінку електроспоживання по залізорудним підприємствам та виокремлення

відповідних напрямів, але і передбачати можливість проведення цільового аналізу окремих аспектів ефективності споживання ЕЕ [6]–[15].

Діагностика рівнів електроспоживання передбачає: системне оцінювання результативності ефективного управління споживанням ЕЕ за кілька періодів часу; ідентифікація реального стану споживання ЕЕ; виявлення змін у споживанні ЕЕ в просторово-часовому розрізі; встановлення основних чинників, що викликали зміни в споживанні ЕЕ, облік їх впливу; прогноз основних тенденцій рівнів ЕЕ.

Методологія функцій діагностики споживання ЕЕ передбачає визначення відповідних функцій: захисна – пояснюється тим, що юридичні та фізичні особи, що відповідають за прийняття управлінських рішень, змушені шукати засоби і форми захисту від можливості небажаного ризику; стимулююча – має суперечливий характер і може виступати у двох формах – конструктивній і деструктивній.

Конструктивна – полягає в дослідженні джерел ризику при проектуванні операцій і систем, форм угод, що виключають або знижують можливі наслідки ризику як негативного відхилення. Деструктивна – виявляється в тому, що реалізація рішень з недослідженим або необґрунтованим ризиком може призводити до реалізації управлінських рішень, які відносять до авантюричних.

Дотичність понять і визначень діагностики та моніторингу ЕЕ дають підстави для застосування наступних методів: моніторинг (детальний, систематичний аналіз змін); формалізовані методи; кон'юнктурний; методи дослідження операцій і ухвалення рішень.

До кількісних методів прогнозування належать дві великі підгрупи методів: екстраполяції і моделювання. Методи екстраполяції – це прийоми найменших квадратів, рухомих середніх, експоненційного згладжування. В практиці моделювання електроспоживання найбільш застосовуються наступні: структурне, мережеве і матричне моделювання [16].

Під час формування прогнозів з допомогою екстраполяції звичайно спираються на статистично обґрунтовані тенденції зміни тих чи інших кількісних характеристик об'єкта. Екстраполяційні методи є одними з найбільш розповсюджених і розроблених серед усіх способів економічного прогнозування.

Першим елементом успішного прогнозування є вибір часового ряду. При цьому потрібно керуватися такими правилами:

- часовий ряд включає результати спостережень, починаючи від першого і до останнього;
- усі часові проміжки між елементами часового ряду повинні мати однакову тривалість – не варто включати в один ряд дані за декади і місяці;
- спостереження фіксуються в один і той самий момент кожного часового періоду. Наприклад, формуючи часовий ряд на основі



щотижневих результатів, потрібно фіксувати дані в певний день тижня;

Основа методу екстраполяції полягає в тому, що кожен новий прогноз отримується шляхом зсування попереднього прогнозу в напрямку, який би давав кращі результати порівняно зі старим прогнозом.

Екстраполяція дає позитивні результати максимум на 5-7 років.

Для стратегічного прогнозу корисними є також методи прогнозування з допомогою регресійного аналізу [13]–[15].

Застосування регресійного аналізу при дослідженні споживання ЕЕ, дозволяє комплексно оцінити вплив суттєвих факторів на результативну ознаку – рівень споживання ЕЕ.

Для знаходження параметрів приблизних залежностей між двома або декількома прогнозованими величинами за їх емпіричними значеннями найчастіше застосовується метод найменших квадратів.

Потрібно враховувати, що різні тенденції можуть мати взаємний вплив, або інакше кажучи, можуть бути тенденції, «приховані» в інших тенденціях.

Отже, аналіз існуючих методів і методик щодо визначення діагностичного прогнозу оцінювання рівнів електроспоживання, застосуємо методіку експоненціального згладжування та регресійного аналізу.

Розглянемо розрахункові формули.

Емпіричні значення тренду (детермінована компонента часового ряду, що відображає вплив постійно діючих факторів) визначаються за формулою:

$$\hat{y} = a_0 + a_1 \cdot t \quad (1)$$

де a_0, a_1 – коефіцієнти тренду; t – час.

Експоненціальні середні розраховуються за формулами:

$$\begin{aligned} S_t^1(y) &= a \cdot y_t + (1-a) \cdot S_{t-1}^1(y), \\ S_t^2(y) &= a \cdot y_t + (1-a) \cdot S_{t-1}^2(y) \end{aligned} \quad (2)$$

де $S_{t-1}^1(y), S_{t-1}^2(y)$ – розрахункові значення експоненціальних середніх в $t-1$ ітерацій; a – експоненціальний коефіцієнт.

Оскільки згідно з формулами (2) неможливо розрахувати $S_t^1(y)$ при $t=1$, то для 1-го елемента, тобто $t=1$, визначаються початкові умови за формулами:

$$\begin{aligned} S_t^1(y) &= a_0 - \frac{1-a}{a} \cdot a_1, \\ S_t^2(y) &= a_0 - \frac{2 \cdot (1-a)}{a} \cdot a_1 \end{aligned} \quad (3)$$

В формулах (3) a_0 і a_1 відповідають коефіцієнтам рівняння часового тренду, що був одержаний методом найменших квадратів.

Щоб виразити коефіцієнти рівнянь тренду (3) через експоненціальні середні, використовується система рівнянь, що пов'язує оцінки коефіцієнтів a_0 і a_1 з названими експоненціальними середніми:

$$S_t^1(y) = \hat{a}_0 - \frac{1-a}{a} \cdot \hat{a}_1, \quad (4)$$

$$S_t^2(y) = \hat{a}_0 - \frac{2 \cdot (1-a)}{a} \cdot \hat{a}_1$$

де \hat{a}_0, \hat{a}_1 – розрахункові значення коефіцієнтів рівнянь тренду.

Реалізувавши систему рівнянь відносно a_0 і a_1 , отримуємо:

$$\begin{aligned} \hat{a}_0 &= 2S_t^1(y) - 2S_t^2(y), \\ \hat{a}_1 &\approx \frac{a}{1-a} \cdot [S_t^1(y) - S_t^2(y)] \end{aligned} \quad (5)$$

Прогноз розраховується за формулою:

$$\hat{y}_{t+p} = \hat{a}_0 + p \cdot \hat{a}_1, \quad (6)$$

де p – величина горизонту прогнозу.

Інтервал довіри визначається таким чином:

$$\hat{y}_t^e = \hat{y}_t \pm \Delta t, \quad (7)$$

де \hat{y}_t^e – інтервал довіри, верхній (нижній) в t -ому періоді; \hat{y}_t – розрахункове значення показника в часі t ;

$$\Delta t = t_T \cdot D_{об} \cdot \sqrt{\frac{(t-i)^2}{k \left(\frac{\sum t^2}{k} - \bar{i}^2 \right)} + \frac{1}{k}}, \quad (8)$$

де t_T – табличне значення t -критерію Ст'юдента; k – кількість даних

$$D_{об} = \sqrt{\frac{\sum (y_t - \bar{i})^2}{k-2}}, \quad (9)$$

Для даних (табл. 1) розраховуємо прогнозні рівні електроспоживання.

Для ш. Жовтнева спостерігається постійне зниження споживання електричної енергії до 2025 р. Визначні інтервали довіри прогнозу (рис. 1). Результати аналітичного аналізу надано в табл. 2.

ТАБЛИЦЯ 1 Рівні споживання ЕЕ шахтами ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»

Рік	ш. Жовтнева	ш. Родіна	ш. Гвардійська	ш. Тернівська
2012	46546,22	70501,87	44219,22	42102,22
2013	42977,31	68458,16	41181,33	41229,13
2014	41829,29	68037,22	43544,69	42161,45
2015	41783,45	44678,34	42983,44	69874,32
2016	42678,32	43784,35	43784,32	71673,54
2017	43673,34	45672,34	47673,55	70432,56



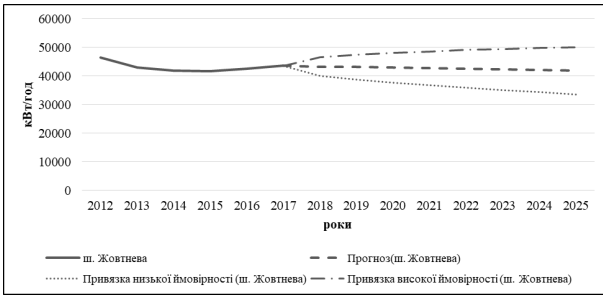


Рис. 1 Прогнозні значення рівнів споживання ЕЕ для ш. Жовтнева

ТАБЛИЦЯ 2 Аналітичні показники прогнозних значень рівнів споживання ЕЕ ш. ЖОВТНЕВА

Часова шкала	ш. Жовтнева	Прогноз	Прив'язка ймовірності	
			Низька	Висока
2012	46546,22			
2013	42977,30			
2014	41829,29			
2015	41783,45			
2016	42678,32			
2017	43673,34	43673,34	43673,34	43673,34
2018		43339,021	40146,74	46531,30
2019		43135,705	38838,80	47432,61
2020		42932,389	37759,91	48104,87
2021		42729,073	36807,58	48650,57
2022		42525,757	35938,49	49113,02
2023		42322,441	35129,50	49515,39
2024		42119,125	34366,49	49871,76
2025		41915,809	33640,15	50191,47

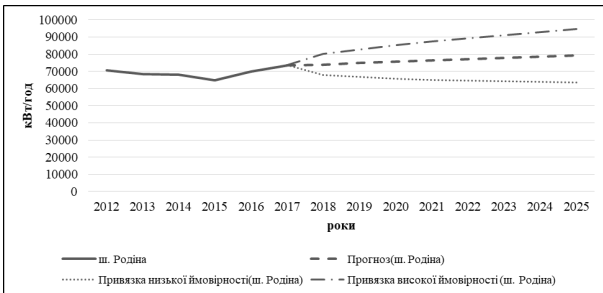


Рис. 2 Прогнозні значення рівнів споживання ЕЕ для ш. Родіна

ТАБЛИЦЯ 3 Аналітичні показники прогнозних значень рівнів споживання ЕЕ ш. РОДИНА

Часова шкала	ш. Родіна	Прогноз	Прив'язка ймовірності	
			Низька	Висока
2012	70501,87			
2013	68458,15			
2014	68037,22			
2015	69874,32			
2016	71673,54			
2017	70432,56	70432,56	70432,56	70432,56
2018		71392,642	68378,33	74406,95
2019		71864,204	68492,75	75235,65
2020		72335,766	68640,31	76031,22
2021		72807,328	68812,93	76801,73
2022		73278,890	69005,34	77552,44
2023		73750,451	69213,89	78287,02
2024		74222,013	69435,91	79008,12
2025		74693,575	69669,40	79717,75

Для ш. Гвардійська – прогноз зростання рівнів споживання електричної енергії до 2025 р. (рис. 3). Аналітичний аналіз отриманих значень прогнозу споживання електричної енергії ш. Гвардійська відповідно до довірчих інтервалів надано в табл. 4.

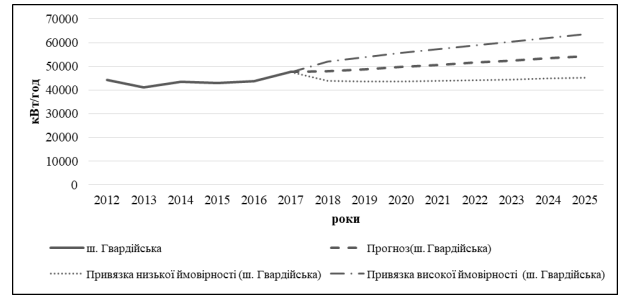


Рис. 3 Прогнозні значення рівнів споживання ЕЕ для ш. Гвардійська

ТАБЛИЦЯ 4 Аналітичні показники прогнозних значень рівнів споживання ЕЕ ш. ГВАРДІЙСЬКА

Часова шкала	ш. Гвардійська	Прогноз	Прив'язка ймовірності	
			Низька	Висока
2012	70501,87			
2013	68458,15			
2014	68037,22			
2015	69874,32			
2016	71673,54			
2017	70432,56	70432,56	70432,56	70432,56
2018		71392,642	68378,33	74406,95
2019		71864,204	68492,75	75235,65
2020		72335,766	68640,31	76031,22
2021		72807,328	68812,93	76801,73
2022		73278,890	69005,34	77552,44
2023		73750,451	69213,89	78287,02
2024		74222,013	69435,91	79008,12
2025		74693,575	69669,40	79717,75

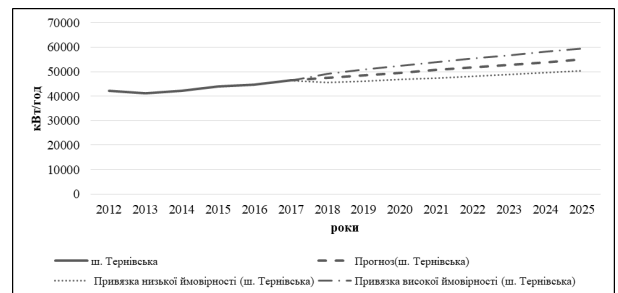


Рис. 4 Прогнозні значення рівнів споживання ЕЕ для ш. Тернівська

ТАБЛИЦЯ 5 Аналітичні показники прогнозних значень рівнів споживання ЕЕ ш. ТЕРНІВСЬКА

Часова шкала	ш. Тернівська	Прогноз	Прив'язка ймовірності	
			Низька	Висока
2012	42102,22			
2013	41229,12			
2014	42161,45			
2015	44678,34			
2016	43784,35			
2017	45672,34	45672,34	43673,34	43673,34
2018		46527,225	40146,74	46531,30
2019		47413,845	38838,80	47432,61
2020		48300,465	37759,91	48104,87
2021		49187,085	36807,58	48650,57
2022		50073,705	35938,49	49113,02
2023		50960,325	35129,50	49515,39
2024		51846,945	34366,49	49871,76
2025		52733,565	33640,15	50191,47

Для ш. Тернівська – незначне підвищення прогнозних значень рівнів споживання ЕЕ (рис. 4).



Аналітичний аналіз отриманих значень прогнозу споживання ЕЕ ш. Тернівська відповідно до довірчих інтервалів надано в табл. 5.

Проведені дослідження прогнозних значень рівнів споживання ЕЕ дозволяють зробити висновок щодо підвищення рівнів споживання ЕЕ для ш. Гвардійська, Тернівська, Родіна. Значне значення підвищення рівнів ЕЕ зафіксовано на ш. Родіна. Зниження прогнозних значень рівнів ЕЕ спостерігається на ш. Жовтнева.

Аналітичні висновки є підґрунтям для подальшого більш детального аналізу: побудови регресійних рівнянь складових ЕЕ – електробалансу.

Відповідно до концептуальних положень щодо управлінських процесів споживання ЕЕ на підприємствах залізорудної промисловості, проводився моніторинг рівнів електроспоживання. За отриманими даними побудовані графіки (рис. 5-8), що дозволяє провести візуальний аналіз складових електробалансу.

Так, рис. 5 – споживання ЕЕ дробильно-сортувальною фабрикою (ДСФ) – засвідчує найбільший рівень електроспоживання відмічений на ш. Тернівській у період з 01.09.2014 по 1.11.2014. В означений період спостерігається суттєве збільшення і для ш. Жовтнева. Період найменшого споживання відповідає: 01.05.2017 – 01.07.2017. Споживання ЕЕ ДСФ для шахт Гвардійська, Жовтнева, Родіна в період з 01.01.2015 по 01.09.2017 характеризується відносно стабільністю на відміну від ш. Тернівської.

На рис. 6 відображено споживання ЕЕ пристроями відливу. На відміну від споживання ЕЕ складовими ДСФ, рівні споживання ЕЕ пристроями відливу мають значно більше значення. Для ш. Родіна відповідають періоду 01.07.2014 – 01.09.2014, та з 01.07.2017 по 01.09.2017.

Взагалі, споживання ЕЕ пристроями відливу для ш. Родіна характеризується значною нерівномірністю, що може свідчити про технічні проблеми роботи пристроїв.

Для ш. Жовтнева, Гвардійська, Тернівська споживання ЕЕ можна охарактеризувати як відносно стабільне. Найменше споживання ЕЕ зафіксовано для ш. Гвардійська.

Відповідний опис споживання ЕЕ вентиляційними пристроями для залізорудних підприємств Криворізького регіону відображено на рис. 7. Проблема-тичним можемо вважати споживання ЕЕ вентиляційними пристроями для ш. Родіна, що характеризується значним коливанням. Найвищі значення зафіксовано в період з 01.09.2014 по 01.03.2015. Відносно стабільним вважається споживання ЕЕ вентиляційними пристроями ш. Тернівської. Найнижчі значення споживання ЕЕ вентиляційними пристроями зафіксовано для ш. Жовтнева в період з 01.09.2014 по 01.11.2014.

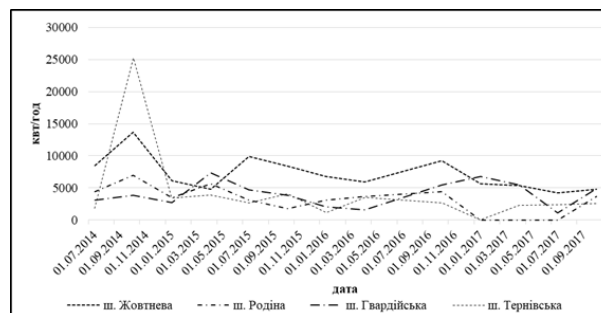


Рис. 5 Споживання ЕЕ дробильно-сортувальною фабрикою для підземних гірничорудних підприємств Криворізького регіону

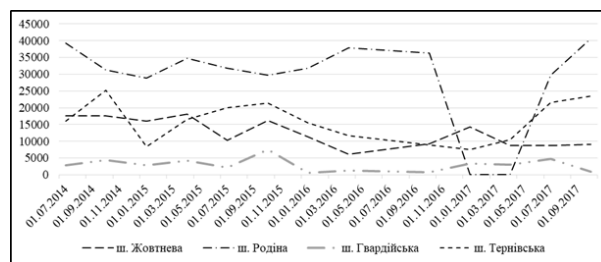


Рис. 6 Споживання ЕЕ для водовідливних складових підземних гірничих підприємств Криворізького регіону

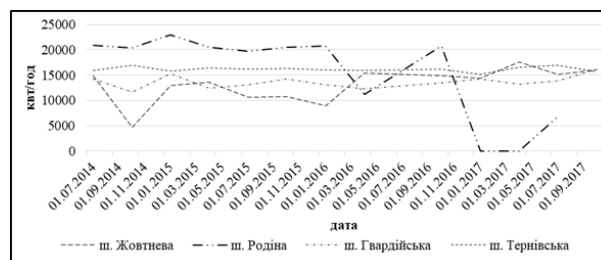


Рис. 7 Споживання ЕЕ для вентиляційних пристроїв підземних гірничих підприємств Криворізького регіону

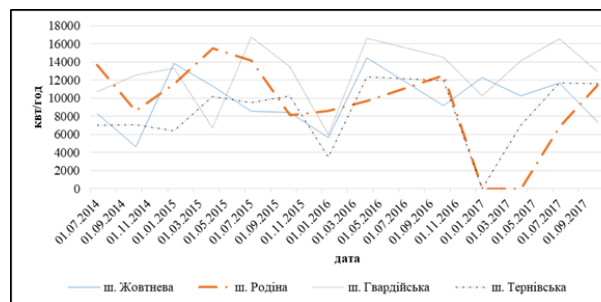


Рис. 8 Споживання ЕЕ для пристроїв скіпових під'ємних установок підземних гірничих підприємств Криворізького регіону

ТАБЛИЦЯ 6 БАГАТОФАКТОРНІ МОДЕЛІ ПІДЗЕМНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ КРИВОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ

№ з/п	Шахта	Багатофакторне регресійне рівняння	R ²
1	ш. Жовтнева	$Y=60421+0,37x_1-0,9x_2-0,35x_3-0,66x_4$	0,59
2	ш. Гвардійська	$Y=134472,1-0,14x_1-0,21x_2-2,01x_4$	0,29
3	ш. Родіна	$Y=61237,34+0,45x_1+0,01x_2+0,17x_3-0,49x_4$	0,87
4	ш. Тернівська	$Y=10719-0,21x_1+2,35x_2+0,18x_3-2,32x_4$	0,84

Візуальний аналіз споживання ЕЕ пристроями скіпових під'ємних установок (Ск.ПУ) проводимо відповідно до рис. 8. Відрізняються ш. Тернівська і ш. Родіна, що мають найнижчі значення споживання ЕЕ пристроями Ск.ПУ в період з 01.01.2017 по 01.03.2017. Загальна характеристика споживання ЕЕ пристроями Ск.ПУ для підприємств Криворізького регіону – відносно нестабільна.

Таким чином, можна стверджувати, що період з 01.01.2017 по 01.03.2017 вважається проблематичним для ш. Родіна – відсутнє електроспоживання для всіх пристроїв, що аналізуються. Найбільше споживають ЕЕ пристрої водовідливу. Найменші значення споживання ЕЕ відповідають пристроям ДСФ.

Побудова регресійних моделей дозволить більш детально дослідити діагностичні складові рівнів споживання ЕЕ. На основі отриманих числових даних побудовані багатофакторні регресійні моделі, наведені в табл. 6.

Позитивні якості регресійних моделей полягають в тому, що, по-перше, точно визначається фактор, за яким виявляються резерви підвищення результативності управління електроспоживанням; по-друге, виявляються об'єкти з більш високим рівнем ефективності; по-третє, виникає можливість кількісно виміряти економічний ефект від впровадження передового досвіду, проведення організаційно-технічних заходів.

В таблиці 6 зазначено: x_1 – значення рівнів споживання ЕЕ для Ск.ПУ; x_2 – значення рівнів споживання ЕЕ для вентиляції; x_3 – значення рівнів споживання ЕЕ для водовідведення; x_4 – значення рівнів споживання ЕЕ для ДСФ; R_2 – оцінка адекватності рівняння регресії.

Аналіз і інтерпретація отриманих моделей регресії дозволили визначити найбільш впливові фактори та їх вплив на величину результативної ознаки, яка кількісно відображає рівні споживання ЕЕ. Конкретні значення коефіцієнтів регресії визначені за емпіричними даними отриманими за результатами спостереження щодо рівнів споживання електроенергії на залізрудних підприємствах. Розраховані коефіцієнти регресії є підґрунтям щодо визначення інтенсивності впливу факторів на результативний показник та характеризують ступінь значущості окремих факторів задля підвищення рівня результативного показника.

ВИСНОВКИ

Для ш. Жовтнева найбільший позитивний вплив на загальне споживання ЕЕ мають значення рівнів споживання ЕЕ для Ск.ПУ. Негативний вплив відзначається факторами впливу для вентиляції, водовідведення, ДСФ. Слід зазначити що коефіцієнт детермінації, який визначає адекватність, становить 0,59 – свідчить про можливість практичного застосування при вирішенні управлінських задач щодо ефективності споживання ЕЕ.

Для ш. Родіна позитивний вплив мають значення рівнів споживання ЕЕ для Ск.ПУ, значення рівнів споживання ЕЕ для вентиляції, значення рівнів

споживання ЕЕ для водовідведення. Негативний вплив відзначається для рівнів споживання ДСФ. Коефіцієнт детермінації становить 0,87, що свідчить про вірно відібрані фактори для оцінювання впливу на загальне споживання ЕЕ по шахті і можна рекомендувати для впровадження.

Для ш. Тернівська, відмічається позитивний вплив на загальне споживання ЕЕ факторів вентиляції, водовідведення. Негативний вплив відповідно стосується факторів рівнів споживання ЕЕ для Ск.ПУ, для ДСФ. Коефіцієнт детермінації становить 0,84 – рекомендовано для практики управлінських рішень щодо ефективності споживання ЕЕ.

Аналіз регресійної моделі для ш. «Гвардійська», свідчить про неможливість практичного застосування результатів моделювання (коефіцієнт детермінації становить 0,29). Слід зауважити, що в моделі не відображений фактор впливу рівнів споживання на водовідведення. Становиться очевидним, по-перше статистична інформація щодо рівнів споживання складових для ш. Гвардійська є недостатньою; по-друге специфічні технологічні процеси, що відбуваються на ш. Гвардійська потребують перевірки складових факторів впливу.

В цілому для всіх підприємств, що аналізувались, характерним є негативний вплив на загальне споживання ЕЕ, факторів, які характеризують складову ДСФ.

Таким чином, науковий підхід щодо дослідження діагностичного прогнозування рівнів електроспоживання створює підґрунтя для формування системних синергетичних інноваційних принципів.

Запропонована система дослідження є основою інформаційно-аналітичної бази щодо подальших досліджень та імплементації отриманих результатів в практику гірничих підприємств задля забезпечення ефективного управління електроспоживанням.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] A. K. Shidlovsky, G. G. Pivniak, M. V. Rogoza, and S. I. Vipanasko, *Heoekonomika ta heopolityka Ukrainy*. Natsional'nyy hirnychy universytet, 2007.
- [2] B. S. Stohniy, O. V. Kyrylenko, A. V. Prakhovnik, and S. P. Denisyuk, *Osnovni parametry enerhozabezpechennya natsional'noyi ekonomiky na period do 2020 roku*. Kiev: Instytut elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2011.
- [3] I. Sinchuk, "Harmonization of modeling systems for assessing the electric-power consumption levels at mining enterprises," *Min. Miner. Depos.*, vol. 12, no. 4, pp. 100–107, Dec. 2018, DOI: [10.15407/mining12.04.100](https://doi.org/10.15407/mining12.04.100).
- [4] O. M. Sinchuk, S. M. Boiko, F. I. Karamanyts, I. A. Kozakevych, M. L. Baranovska, and A. M. Yalova, *Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supply systems*. Warsaw, Poland: ISENCT, 2018.
- [5] A. V. Prakhovnik, V. P. Rosen, and V. V. Degtyarev, *Energosberigayushchiye rezhimy elektrosnabzheniya gornodobyvayushchikh predpriyatiy*. Moscow: Nedra, 1986.
- [6] A. V. Meier, *Electric power systems: a conceptual introduction*. Wiley-IEEE Press, 2006, ISBN: 978-0-471-17859-0.
- [7] S. Jiang, M. Lian, C. Lu, and Q. Ma, "Optimization research of mine production energy control system based on synergy theory," *Pap. Asia. Compedium*, vol. 1, no. 3., pp. 48–52, 2018.
- [8] A. J. H. Nel, J. C. Vosloo, and M. J. Mathews, "Financial model for energy efficiency projects in the mining industry," *Energy*, vol.



- 163, pp. 546–554, Nov. 2018,
DOI: [10.1016/j.energy.2018.08.154](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.154).
- [9] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, and G. B. Sheble, *Power generation, operation, and control*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014, ISBN: 978-0-471-79055-6.
- [10] W. S. Blume, *Electric power system basics for the nonelectrical professional*. Hoboken, New Jersey: Wiley-IEEE Press series on Power Engineering; 2 edition, 2017, ISBN: 978-111-918-019-7.
- [11] T.-Y. Wu, S.-S. Shieh, S.-S. Jang, and C. C. L. Liu, “Optimal Energy Management Integration for a Petrochemical Plant Under Considerations of Uncertain Power Supplies,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 3, pp. 1431–1439, Aug. 2005,
DOI: [10.1109/TPWRS.2005.852063](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.852063).
- [12] S. R. Patterson, E. Kozan, and P. Hyland, “An integrated model of an open-pit coal mine: improving energy efficiency decisions,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 54, no. 14, pp. 4213–4227, Jul. 2016,
DOI: [10.1080/00207543.2015.1117150](https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1117150).
- [13] V. F. Timchenko and V. H. Ezhilov, “Interval’nyy odnofaktornyy metod kratkosrochnogo prognozirovaniya sutochnogo potrebleniya elektroenergii energosistem,” *Elektrichestvo*, vol. 2, pp. 10–15, 1976.
- [14] Y. A. Fokin, *Veroyatnostno-statisticheskiye metody v raschetakh sistem elektrosnabzheniya*. Moscow: Energoatomizdat, 1985.
- [15] V. V. Chavchanidze and V. A. Kumsishvily, “Ob opredelenii zakonov raspredeleniy na osnove malogo chisla nablyudeniyy,” *Primen. vychislitel’noy tekhniki dlya Avtom. Proizv.*, pp. 129–139, 1961.
- [16] V. V. Fedoseyev, A. N. Garmash, and D. M. Dayitbegov, *Ekonomiko-matematicheskiye metody i prikladnyye modeli*. Moscow: Yuniti, 1999, ISBN: 5-238-00068-5.

Надійшло до редакції 07 березня 2019 р.

УДК 621.316.1.05

Диагностика и прогнозирование уровней электропотребления железорудных шахт

Дозоренко^f О. В., e-mail ol.dozorenko2017@gmail.com
Сінчук І. О., к.т.н. доц., ORCID [0000-0003-3938-0744](https://orcid.org/0000-0003-3938-0744)
Сінчук^s О. Н., д.т.н, проф., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)

Криворожский национальный университет
Кривой Рог, Украина

Аннотация—В статье приведены результаты экспериментальных исследований оценки уровней потребления электрической энергии железорудными шахтами Украины. Промышленные предприятия, что исследуются, представляют собой энергоёмкие системы. Доказано, что уровни потребления электрической энергии функционально зависят от ряда влияющих технологических факторов предприятий. Определено, что уровни влияния этих факторов отличаются друг от друга. Наблюдение по потреблению электроэнергии соответствуют индивидуально каждому отдельно взятому предприятию. В связи с вышеизложенным предложено на основе регрессионных моделей методологические основы диагностики и прогнозного оценивания уровней потребления электроэнергии, которая учитывает аспекты индивидуального влияния каждого фактора на уровне потребления того или иного горного предприятия.

Библ. 16, рис. 8, табл. 6.

Ключевые слова — электрическая энергия; диагностика; прогнозирование; уровни потребления.



Diagnosis and Forecasting of the Levels of Electrical Consumption of Iron Ore Mines

O. V. Dozorenko^f, e-mail ol.dozorenko2017@gmail.com

I. O. Sinchuk, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0003-3938-0744](https://orcid.org/0000-0003-3938-0744)

O. M. Sinchuk^s, Dr.Sc.(Eng.) Prof., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)

Kryvyi Rih National University

Kryvyi Rih, Ukraine

DOI: [10.20535/2523-4455.2019.24.2.169731](https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.2.169731)

Abstract—The article presents the results of experimental studies on the estimation of electricity consumption levels by iron ore mines in Ukraine. Using the systematic research, and highlighting the strategic goal - the optimal distribution of electricity between subsystems of the production system, proposed decomposition of objectives. The proposed decomposition allows us to isolate the production subsystems and investigate each separately. According to each separate subsystem, a set of analytical procedures for diagnostic analysis is used in conjunction with regression models and forecast models. Integrative obtained characteristics were obtained general system evaluations. The approved thesis on the types of industrial enterprises under investigation is a system of energy-intensive enterprises. It is proved that the levels of electric energy consumption functionally depend on the line of influential technological factors of enterprises. It is determined that the level of influence of these factors varies among themselves, and observations show the character individually for each enterprise. The cost characteristics of electricity consumption are investigated. In the conditions of constant increase of tariffs for electricity consumed and existing variables in the time of daily tariffs for electricity (peak, semi-fire, and night), iron ore enterprises can maneuver in hours of the day by volume of electricity consumption. This will enable enterprises to reduce their «accounts» for consumed electricity. That is, the electricity tariff in the day time should serve as an input for the target function, in order to obtain a solution that would minimize the cost of payment for consumed electricity by maximizing the change in electrical loads in the hours of the day. Multi-factor models have been formed to determine the relationship between electricity consumption and the most influential factors. Between this «blind» formalization of this process will not give a positive. Comprehensive studies of this process have promising results in terms of highlighting the potential for reaching the level of electrical energy efficiency. The proposed methodology can be used to determine the optimal response in the direction of seeking ways to increase the energy efficiency of any industry, any enterprise, where variables are available in clock-hour tariffs. Thematic studies of iron ore enterprises show that the change in the levels of electricity consumption in the hours of the day with the transition of electricity consumption levels from the «peak» to «night» has a significant effect. In connection with the above, it is proposed, on the basis of regression models, a unique method of forecast estimation of electricity consumption levels, taking into account aspects of individual influence of each factor at the consumption level of any mining enterprise. It is believed that an innovative approach to the harmonization of diagnostic methods, forecasting on the basis of system analysis provides an opportunity to solve the problem of optimizing the distribution of electricity consumption for mining companies in order to ensure power efficiency.

Ref. 16, fig. 8, tabl. 6.

Keywords — *electric energy; diagnostics; forecasting; consumption levels.*

