

Сінчук О. М.,
Сінчук І. О.,
Ялова А. М.,
Віннік М. А.

ФАКТОРНИЙ ПРОСТІР І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗАЛІЗОРУДНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

У статті наведені результати аналізу споживання енергії вітчизняними гірничорудними підприємствами з підземним способом видобутку. Показаний зв'язок між об'ємами споживаної електричної енергії і собівартістю залізорудної сировини, що добувається. Обґрунтована необхідність управління процесом електроспоживання та планування об'ємів споживання енергії підприємствами. Авторами приведена класифікація факторів, що впливають на ефективність системи нормування питомих витрат електричної енергії.

Ключові слова: електроспоживання, електрична енергія, залізорудне виробництво, керування, електроенергоефективність, факторний простір, інтегральний показник.

1. Вступ

Залізорудна промисловість України є основним джерелом поповнення валютних запасів держави [1, 2].

Конкурентоспроможність на світовому ринку видобуваної на вітчизняних гірничорудних підприємствах залізорудної сировини (ЗРС) в значній мірі залежить від собівартості процесу її видобутку.

Нажаль, з ряду в т. ч. об'єктивних причин, цей показник на всіх без винятку вітчизняних залізорудних підприємствах має стійку тенденцію до щорічного зростання. Незалежно від способу видобутку — кар'єрний (відкритий) чи підземний (шахтний) [2, 3].

Незважаючи на те, що залізорудні шахти і комбінати відносяться до підприємств з безперервним циклом роботи, все ж коливання рівнів споживання електричної енергії тут носять різко змінний і непередбачуваний характер. Так, по шахтах одного і того ж комбінату рівні споживання електричної енергії шахт з практично однаковими об'ємами здобичі корисних копалин діапазон коливань досягає нерідко 3-кратних значень. При цьому цікавий і той факт, що в різні дні одного і того ж місяця коливання рівнів споживання електричної енергії навіть по одній шахті можуть досягати більш ніж 2-х кратних значень [3].

Більше того, об'єми споживання норми питомого електроспоживання, що плануються самими ж таки підприємствами, та фактичні майже ніколи не співпадають в своїх значеннях. Тому, задача визначення чинників, що впливають на процес споживання електричної енергії, нормування та контроль її питомих витрат є задачею актуальною і однією з першочергових для відтворення її в структурі управління залізорудним підприємством в цілому [4].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Так виробнича собівартість руди, що добувається, по ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» з 2005

по 2011 рік зросла більш ніж в 2,5 рази. Аналогічна, або близька до цього ситуація і по інших вітчизняних залізорудних комбінатах [2].

Так, лише з 2009 по 2010 рік собівартість видобутку корисних копалин на вітчизняних залізорудних підприємствах, зокрема по ЗЗРК зросла на 24,3 %, по КЗРК — на 27,23 %, по ПАТ «Суха Балка» — на 11,97 % (рис. 1).

Значною мірою, поряд з іншими об'єктивними (хоча і не завжди об'єктивними) чинниками, «провина» в цій зростаючій прогресії — енерговитрати на 1 т руди, що добувається, і, що важливе, електроенерговитрати, оскільки вони, наприклад для підземних комбінатів, складають більше ніж 90 % від всього обсягу енерговитрат [2, 3]. Так тільки за останні п'ять років доля електроенерговитрат при видобутку 1 тонни сирової руди підземним способом збільшилася на 18 % [3].

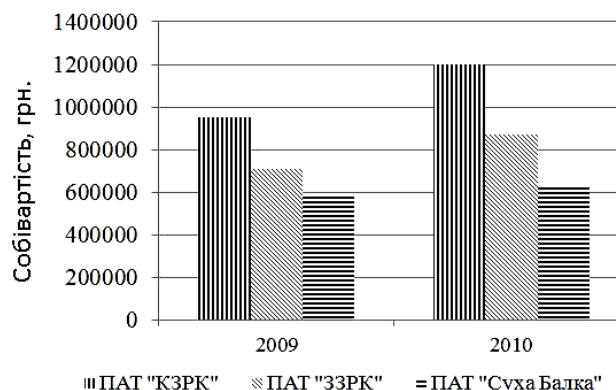


Рис. 1. Діаграма собівартості сирової руди, що добувається на підприємствах України з підземними способами видобутку залізорудної сировини

У 2011 році ПАТ «КЗРК» за спожиту електричну енергію сплатив 86,6 %, за газ — 10,16 % і за теплову енергію 3,3 % від загальної плати за енергоносії. У 2012 році відповідно — 89 %, 7 % і 4 %. Тобто оче-

видно, що основною складовою в оплаті за енергоносії споживані залізорудними шахтами є електрична енергія – близько 90 % в грошовому еквіваленті від всієї суми оплати за енергоносії.

В 2011 році ПАТ «КЗРК» за спожиту електричну енергію сплатив в 8,5 разів більше, ніж за газ і в 27,5 разів більше, ніж за теплову енергію. Аналогічна ситуація спостерігалася і в 2012 році – в 13,1 разу більше, ніж за газ і в 23,3 разу – чим за теплову енергію. При цьому доповнимо цю інформацію і тим, що об'єми споживання електричної енергії за проаналізовані роки практично залишилися без зміни застигнувши на рівні 350 млн. кВт-годин, а ось об'єми вжитку природного газу підприємствами ПАТ «КЗРК» починаючи з 2003 року постійно щорічно зменшуються [2].

Продовжуючи аналіз собівартості відзначимо факт, що рівень собівартості видобутку ЗРС на підприємствах з підземними способами видобутку корисних копалин (як втім і з кар'єрним способом) має прямий зв'язок з об'ємом споживаної електричної енергії, тобто з матеріальними витратами на її оплату. Так, найвища собівартість видобутку сирової руди по ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» належить шахті «Батьківщина» – і об'єми плати за електричну енергію тут найвищі зі всіх шахт комбінату (рис. 2).

Незважаючи на ряд об'єктивних факторів, таких як постійне пониження глибин видобутку, збільшення відстаней їх транспортування по підземним горизонтам шахт і т. п. в значній мірі низькі показники ефективності видобутку ЗРС це результат неефективної технології видобутку та зростання енергозатрат на тону сирови-

ни [2, 3]. Залишаючи тему «технології видобутку» для вирішення її гірничими технологіями зупинимось на другій складовій – проблемі електроенергоефективності видобутку ЗРС. Як встановлено [4, 5], головною причиною низьких електроенергетичних показників залізорудних шахт та проблем низької ефективності систем залишається фактор недосконалості структур і параметрів експлуатованих систем електропостачання (СЕ) та електроспоживання цих підприємств. Це пояснюється тим, що діючі вітчизняні залізорудні шахти, як і спосіб видобутку в них ЗРС, існують більше п'ятдесяти років без відчутної за останні 20-ть років модернізації їх електротехнічного комплексу.

Продовжуючи рамково обґрунтовувати проблему актуальності досліджень, зазначимо відмінну рису технологій розробки залізорудних родовищ від вугільних, яка полягає, насамперед, у різних умовах їх залягання. Тому залізорудні шахти і мають більш низькі показники вилучення, ніж вугільні [3].

Все це, плюс разюча різниця питомих потужностей електронприймачів, категорійність підприємств за рівнем наявності вибухонебезпечного середовища, що має місце у більшості вітчизняних вугільних шахт, жорстко диктує різницю в формулюванні вимог до типу виконання електрообладнання, рівнів напруги його живлення та режимів функціонування, що, у кінцевому підсумку, є визначальним і, водночас, основним фактором при різниці тактик підходу до вирішення проблеми підвищення ефективності використання електричної енергії відповідно для умов вугільних і залізорудних шахт.

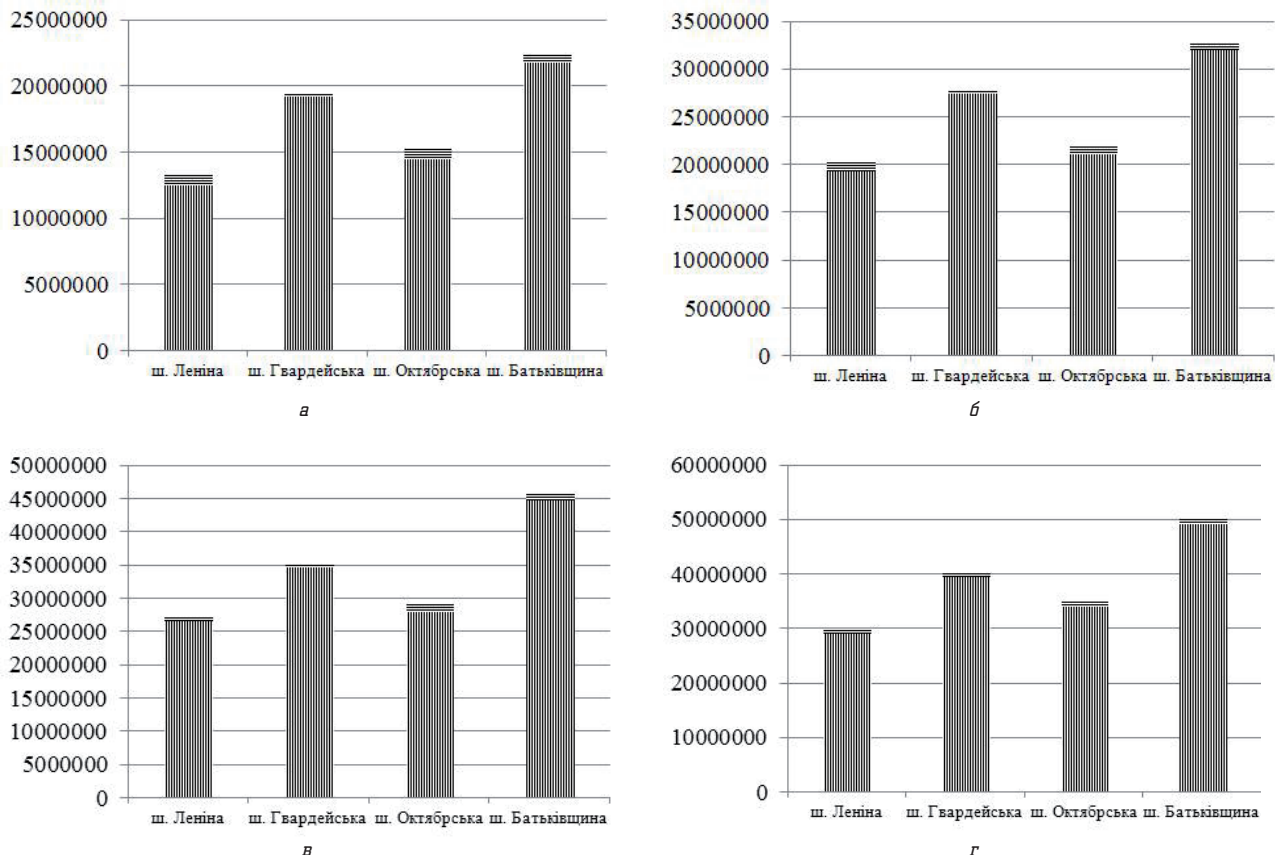


Рис. 2. Діаграма оплати за споживану електроенергію по шахтах ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»: а — за 2009 рік; б — за 2010 рік; в — за 2011 рік; г — за 2012 рік; ■ — за реактивну електроенергію; ■ — за активну електроенергію

Аналіз досліджень, проведених раніше, показав, що значні за обсягом і фундаментальністю дослідження в напрямку підвищення енергоефективності видобутку ЗРС, оптимізації режимів енергоспоживання і вдосконалення структур систем електропостачання для вітчизняних залізрудних шахт проводилися в основі своїй більше 30-ти років тому [6–10].

За минулі з тих п'ять десятиріччя, глибини видобутку ЗРС збільшилися майже вдвічі, досягнувши 1500–1950 м, з проектом більш 2500 м. Відповідно змінилися встановлені потужності електроприймачів, протяжність підземних ЛЕП збільшилася в 3,5–4 рази, а головне, значно змінилися режими електроспоживання.

Тому існуючий «портфель напрацювань» по досягненню необхідного рівня енергоефективності систем електропостачання та електроспоживання залізрудних виробництв з вершин сучасних вимог не можна визнати достатніми навіть з великою натяжкою [6–11]. Зокрема, відсутня обґрунтована сучасна методологія складання реальних програм підвищення енергоефективності видобутку ЗРС, кінцевою метою якої має бути виявлення економічно доцільних енергоефективних заходів, орієнтованих на адресну гранично досягнути реалізацію наявного енергопотенціалу. Разом з тим, як випливає з досвіду роботи ряду зарубіжних дослідників та результатів реалізації в практику роботи гірничих підприємств, вирішення цієї проблеми дозволить ефективно отримувати, транспортувати і використовувати електричну енергію горничометалургійними підприємствами з досягненням кінцевої мети — зниження енергоємності видобувається ЗРС [9–11].

Напрямки підвищення ефективності або як зараз нерідко говорять енергоефективності СЕ загальновідомі. В останні 5–10 років їх кількість збільшилася додатково. Однак, як правило, ця «кількість» реально для знову проєктованих і не переходить у якість для діючих підприємств, щодо яких реальними напрямками підвищення ефективності СЕ є: структурна та параметрична модернізація цих систем та оптимізація процесів електроенергоспоживання з можливістю адаптивного керування цим процесом [6, 7, 10–12].

Перше з вищевикладених напрямків в тій чи іншій мірі реальності досліджено і містить скоріше технічний і вельми обмежений аспект свого рішення. Тому метою даного дослідження є підвищення ефективності використання електричної енергії шляхом розробки теоретичних аспектів і практичних рішень по оцінці та визначенню електроенергетичного потенціалу залізрудних шахт для встановлення реально досяжного рівня використання його складових в умовах невизначеності обсягів видобутку корисних копалин.

На жаль, цей процес на залізрудних підприємствах майже відсутній, як і відсутній дієвий енергоменеджмент на цих підприємствах. Як правило, процес підвищення ефективності використання електричної енергії на залізрудних шахтах обмежується організаційними і малозначними заходами [4, 5].

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — процес споживання електричної енергії електроприймачами залізрудних підприємств з підземними способами видобутку ЗРС.

Проведені дослідження ставили за *мету* встановлення базових принципів керування якістю прийняття

рішень, щодо процесу електроспоживання та розробки методології керування цим процесом.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- визначити групи факторів, що впливають на електроенергоефективність систем енергопостачання промислового підприємства;
- встановити ранжування впливу досліджуваних характеристик на об'єкт досліджень;
- визначити методику розрахунку інтегрального показника для управління енергопостачанням підприємства.

4. Результати дослідження факторів впливу на процес керування енергоспоживанням промислових підприємств

4.1. Визначення факторної системи чинників впливу.

Базові принципи управління полягають у прийнятті рішень на основі фактів, що вирішується методом моделювання процесів інструментаріями математичної статистики [12–15]:

- виявлення значимих інформативних факторів найбільше точно може бути встановлено при системному підході етапного одержання експертних оцінок [12, 15];
- визначення форми проведення опитування (по анкетах, анонімно);
- формування експертної групи, у яку входять фахівці у галузі енергозбереження та електроспоживання на гірничодобувних комбінатах. Оскільки результативність їхнього опитування буде залежати від їхньої компетентності;
- формування правил і порядку роботи експертної групи, заснованих на принципах системи експертних оцінок, при дотриманні повної інформованості експерта про результати оцінок, зроблених іншими експертами, незалежності кожного експерта при обробці результатів анкет опитувань і збереження анонімності оцінок.

Ефективна робота системи нормування питомих витрат електричної енергії вимагає обліку техніко-економічних факторів, нормативно-правового забезпечення, матеріального стимулювання тощо. При цьому кожний з інформативних факторів може у свою чергу характеризуватися ще декількома показниками (обмежене використання Інтернет-технологій, недосконала система ціноутворення на енергоносії та ін.) [2, 4–7].

Все різноманіття факторів, що впливають на ефективність системи нормування питомих витрат ЕЕ розділимо на ряд характерних груп по основним для них факторам: правові, організаційні, інформаційно-освітні, методологічні та економічні засади.

1. Правові засади, пов'язані з недостатнім забезпеченням нормативно-правової бази контролюючих державних органів в роботу підприємств, в т. ч. комбінатів, відсутністю обґрунтованих правових санкцій за порушення норм питомих витрат ЕЕ, відсутністю нормативно-правових актів щодо стимулювання підприємств у разі виконання норм питомих витрат та запропонування їм пільг різного призначення. Прийняття цілої низки нормативно законодавчих актів, регулюючих відносини у сфері енергозбереження для практичного

використання на підприємствах, в господарствах, на місцевому, галузевому та державному рівнях, не сприяло суттєвому пожевліненню процесів енергозбереження в країні [3, 4].

2. Організаційні засади, в основному, пов'язані з відсутністю уніфікованої системи документообігу щодо ефективного використання ЕЕ та низьким рівнем інформування щодо можливостей енергозбереження для транспортної сфери. Інтенсифікація енергозбереження неможлива без створення системи надійного та ефективного управління цим процесом в усіх секторах економіки, при яких енергозбереження та прибутковість підприємств стануть найважливішою метою виробництва навіть при високому рівні витрат на впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання.

3. Інформаційно-освітні засади, пов'язані з недостатнім рівнем освіченості працівників гірничодобувних комбінатів у сфері енергозбереження про можливості економії енергії, наявності енергозберігаючого обладнання, а також обмеженість інформаційних центрів щодо розробки системи норм питомих витрат ЕЕ інформаційним забезпеченням [8].

4. Економічні засади, пов'язані з нестабільною системою ціноутворення на енергоносії в країні та слабким матеріальним стимулюванням відповідних фахівців підприємства, відсутністю системи виявлення та використання резервів енергозбереження (аналіз, планування, моніторинг), створення внутрішньогосподарських фондів енергозбереження.

5. Методологічні засади, пов'язані з використанням спрощеної методики визначення норм питомих витрат ЕЕ для гірничодобувних комбінатів, що може призвести до неточних результатів системи нормування. Існуюча система нормування питомих витрат ЕЕ базується на застарілому — «радянському» підході [5]. Розрахункові формули наводяться лише у загальному вигляді та не завжди використовуються у подальшому виконанні практичних розрахунків.

4.2. Анкетне опитування та обробка інформації. Експертиза проводилася по спеціально розробленій опитувальній анкеті, у яку на підставі теоретичного аналізу включені 20 інформативних факторів. До експертної групи були залучені фахівці в галузі енергетики Міністерств та відомств, науково-дослідних інститутів.

Отримання в результаті анкетного опитування інформації залежить великою мірою від якості складених анкет, організації та проведенні опитування. Виходячи з цього при складанні анкет слід керуватись такими правилами:

- включати в опитування всі або хоча б основні фактори, що впливають на досліджувану результативну ознаку;
- вживати назви факторів тільки загальноприйняті для досліджуваного процесу;
- за можливістю вказувати для факторів інтервали;
- анкети складати невеликими за розміром, лаконічними та такими, що не потребують багато часу на їх читання та заповнення;
- питання в анкеті формувати чітко не припускати двоякого тлумачення;
- опитувати таких фахівців (експертів), які чітко уявляють собі досліджуваний процес;
- до опитування залучати фахівців різних споріднених спеціальностей;

- опитування проводити так, щоб забезпечити незалежність думки опитуваного фахівця;
- кількість опитуваних фахівців повинна значно перевищувати кількість факторів, включених у дослідження.

При заповненні анкет застосовують метод апріорно ранжирування, який потребує розміщення факторів у порядку зменшення ступеня її впливу на результативний показник [14].

Підготовлені анкети вручають фахівцям для заповнення. Результати зводять у табл. 1.

Таблиця 1

Результати анкетування

Експерти	Ранги факторів, включених в опитування					
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X _n

Цифри у стовпці «ранги» повинні відповідати місцю (номеру), відведеному вами даному фактору (число «1» приписується найзначнішому за впливом фактору і т. д.). Якщо Ви вважаєте, що ступінь впливу кількох факторів однаковий, то їм надається однаковий номер-ранг [14].

Попередній економічний аналіз повинен довести, що між ознаками, які обрані для дослідження, існує причинний зв'язок.

Аналіз експертних оцінок було проведено із застосуванням методу парних порівнянь, в результаті якого отримали ранжування впливу досліджуваних, характеристик для поставленої задачі [13]. Порівняння здійснювалось трьома ступенями вагомості характеристик: більш впливова, менш впливова та рівно значимі, з відповідною символікою та кількісним видом: «>» — 1,5; «<» — 1,5; «=» — 1. Пріоритет характеристики визначався за формулою:

$$k_{pr} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} k_i}{n \cdot (n-1)}, \quad (1)$$

де $\sum_{i=1}^{m-1} k_i$ — сума середньої кількісної оцінки порівняння фактів експертами; n — кількість порівняльних характеристик.

В табл. 2. представлені зведені дані порівняльного аналізу характеристик експертами.

Таблиця 2

Пріоритет характеристик

Фактори впливу	F1	F2	F3	F4	F5	Сума	Визначення пріоритету	Пріоритет характеристики
F1	—	1,1	1	0,9	0,9	39,9	0,195	2
F2	0,9	—	1,3	1,1	0,8	33,3	0,165	4
F3	1	0,7	—	0,9	0,5	31,1	0,155	5
F4	1,1	0,9	1,1	—	0,8	39,9	0,195	3
F5	1,1	1,2	1,5	1,2	—	43,1	0,25	1

За результатами експертних оцінок найбільш вагомими факторами впливу на ефективність системи

нормування питомих втрат енергетичних ресурсів для гірничодобувних комбінатів стали: економічний фактор, правові засади та методологічне забезпечення.

Останнім часом в літературі [12–16] висловлюється думка про те, що при визначенні інтегральних показників, щодо обґрунтування ефективності системи нормування питомих втрат енергетичних ресурсів, необхідно використовувати абсолютні показники діяльності підприємства: обсяг виробництва і реалізації продукції, витрати, прибуток, активи тощо. Але абсолютних показників, так само як і відносних, дуже багато, тому при формуванні факторної системи можна керуватися, на погляд авторів даної роботи, наступними принципами:

- обмеженість числа показників у факторній моделі;
- багатофункціональність чинників повинна компенсувати їх невелике число;
- динамізм, який дозволить оцінити ситуацію в русі;
- запобігливість, оскільки показники повинні сигналізувати про виникнення критичних ситуацій;
- співставленість чинників.

4.3. Методика розробки інтегрального показника для керування процесом енергопостачання підприємства. При розробці інтегрального показника для управління енергопостачанням підприємств необхідно враховувати наступні умови:

1. Недостатність початкової інформації. Для визначення комплексного показника енергопостачання потрібна інформація про різноманітні показники діяльності. При цьому необхідно проводити облік витрат, збирати інформацію про фінансові потоки, трудові і матеріальні ресурси, облік робочого часу, тощо. Проте, як правило, облік відповідних показників на підприємстві поставлений недостатньо і багато хто складає тільки необхідну звітність. Тому для використання пропонованого авторами статті інтегрального показника для управління енергопостачанням підприємства необхідно розробити не тільки методики його розрахунку, але і запропонувати відповідну базу для підготовки початкової інформації.

2. Необхідність повноти вивчення енергопостачання, на яке впливають всі показники виробничої діяльності підприємства, тобто вивчення протягом всього життєвого циклу підприємства.

3. Облік взаємопов'язаності показників між собою. При вивченні енергопостачання всі показники, що його характеризують, пов'язані між собою і витікають один з одного виходячи з принципів їх формування.

4. Однакова спрямованість дії на енергопостачання. Для коректного розрахунку інтегрального показника енергопостачання в набір чинників не включаються показники, що роблять на нього.

5. Негативний вплив. Вплив таких чинників враховується за допомогою інших показників діяльності підприємства, через які вони виражаються.

Ступінь взаємопов'язаності чинників між собою можна оцінити за допомогою кореляційно-регресійного аналізу, на підставі якого вибрати такі показники, які є ключовими, а всі останні можна виразити через них. Суть методу кореляційно-регресійного аналізу розглянута у багатьох фахівців [7, 8] і полягає в наступному:

1. Визначається результуючий показник і чинники, що на нього впливають. До факторних ознак може бути віднесений набір змінних, які міняються в деяких межах. Математична формула, яка виражає реальні зв'язки

між аналізованими чинниками, в спрощеному вигляді може бути представлена формулою (2):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2)$$

де y – результуюча ознака; x_i – факторні ознаки.

2. Проводиться кореляційний аналіз, в процесі якого встановлюється наявність зв'язку між чинником і результуючим показником, а також оцінюється тіснота даного зв'язку. Коефіцієнт парної кореляції по модулю міняється в межах від 0 до 1; чим ближче до 1, тим тісніше зв'язок. При прямолінійній формі зв'язку коефіцієнт парної кореляції розраховується за формулою (3):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3)$$

де r_{xy} – коефіцієнт кореляції між двома випадковими змінними; x, y – незалежний чинник і результуюча змінна, які є випадковими величинами; \bar{x}, \bar{y} – середні значення незалежного чинника і результуючої змінної.

В деяких випадках для визначення тісноти зв'язку між досліджуваними параметрами розраховують коефіцієнт детермінації (R^2), який є квадратом коефіцієнта кореляції. Застосовуючи коефіцієнт детермінації, дослідник має справу тільки з двома результатами дослідження: є залежність – коефіцієнт детермінації вище 0,5, немає залежності – коефіцієнт детермінації менше 0,5. Крім того, значення коефіцієнта детермінації безпосередньо указує на ступінь впливу незалежного чинника на результуючий показник.

Проте багатофакторна система вимагає вже не одного, а безліч показників тісноти зв'язку. В цьому випадку основою вимірювання зв'язків є матриця парних коефіцієнтів кореляції. На основі матриці можна судити про тісноту зв'язку чинників з результуючою ознакою і між собою.

Після проведення кореляційного аналізу у факторну модель включаються ті показники, які мають найбільш тісний зв'язок з результуючим показником і найменш тісний між собою.

3. Проводиться регресійний аналіз для визначення виду залежності між чинниками і результуючим показником. При цьому передбачається, що незалежні чинники є не випадковими величинами; а результуючий показник має постійну, не залежну від чинників дисперсію і стандартне відхилення.

Проста лінійна регресійна модель, що пов'язує між собою результуючий параметр Y і деякий незалежний чинник X , виглядає таким чином (13):

$$Y(X) = a + b(X). \quad (4)$$

Прямолінійне рівняння регресії показує рівномірну зміну результуючої ознаки із збільшенням факторної. Коефіцієнт регресії a є основним показником в рівнянні регресії. Він показує, на скільки одиниць в середньому змінюється результуюча ознака Y із зміною на одну одиницю факторної ознаки X . Для знаходження

чисельного значення коефіцієнта регресії і вільного члена застосовується метод найменших квадратів [13].

4. Часто зв'язок між показниками може бути описаний не як прямолінійний, а як криволінійний. Дані про значення показників за допомогою комп'ютерних програм, заснованих на сучасних статистичних методах, піддаються аналітичній обробці:

1) для того, щоб визначити, чи є даний зв'язок криволінійним або прямолінійним;

2) для оцінки параметрів криволінійної залежності.

Після того, як оцінки параметрів залежності найбільш відповідного типу знайдені, їх можна використовувати для прогнозування перспективного рівня показника по заданому прогнозному значенню обсягу реалізації.

При рішенні поставленої задачі початкову інформацію розглядають як багатофакторну модель залежності енергопостачання підприємства від декількох чинників. В цьому випадку задачу вирішують за допомогою багатовимірної регресійного аналізу [13]. Тоді модель, що описує цю залежність, виглядає таким чином (5):

$$\bar{y} = X * \bar{a} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n, \quad (5)$$

де y — результуючий показник; a — вектор параметрів показників діяльності (коефіцієнти рівняння регресії); X — матриця показників діяльності.

5. Відбувається перевірка моделі на адекватність. В процесі такої перевірки або підтверджується, або не відповідає розробленої моделі реальному процесу. Для цілей перевірки моделі на адекватність розроблено декілька методів (вони називаються критеріями згоди, наприклад, критерій Ст'юдента, критерій Фішера тощо).

Наприклад, критерій Ст'юдента, служить для перевірки приналежності двох середніх значень з нормально розподілених вибірок (експериментальною і теоретичною) одній генеральною середньою за умови, якщо дисперсії цих вибірок рівні (або хоч би близькі), хоча і невідомі. Для перевірки гіпотези розраховується критерій Ст'юдента за формулою (6):

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{(n_x - 1)s_x + (n_y - 1)s_y}} \sqrt{\frac{n_x n_y (n_x + n_y - 2)}{n_x - n_y}}. \quad (6)$$

Із статистичних таблиць по t -розподілу для вибраного рівня значущості і відомих мір свободи (міра свободи — це кількість елементів у вибірці без одного) знаходиться табличне значення t — критерія ($t_{\text{табл}}$). В тому разі, якщо розраховане значення t -критерія більше табличного (по абсолютній величині), тобто $|t| > t_{\text{табл}}$ то гіпотеза про рівність двох вибірок відкидається. Якщо ж, $< t_{\text{табл}}$, то гіпотеза підтверджується, значить, дана випадкова величина розподілена по нормальному закону. Інші критерії перевірки моделі на адекватність засновані на тому ж принципі, що і критерій Ст'юдента.

При адаптації приведенного методу до дослідження енергопостачання підприємства необхідно відзначити, що завданням проведення кореляційно-регресійного аналізу є формування факторної моделі, на підставі якої автори статті визначають інтегральний показник для управління енергопостачанням підприємства до і після проведення реінжинірингу [13].

Застосування інтегрального показника, що розробляється, дозволить вирішити проблему множинності показників і їх співвідношення. При цьому він дозволить проводити визначення рівня енергопостачання, стадії життєвого циклу розвитку підприємства і здійснювати прогнозування зміни його рівня до і після проведення реінжинірингу.

Пропонується здійснювати управління енергоспоживанням підприємства за наступними кроками [12, 16]:

1. Формування бази факторної системи чинників впливу на енергопостачання.

2. Розрахунок інтегрального показника для управління енергопостачанням підприємства.

3. Вимірювання рівня ефективності енергопостачання підприємства, оцінка його відповідності життєвому циклу на основі інтегрального показника.

Кожен крок містить ряд послідовних дій, які реалізують побудову інтегрального показника:

1 крок. Проведення моніторингу управління енергопостачанням підприємства на основі економічного аналізу з урахуванням життєвого циклу підприємства. Мета даного аналізу — оцінити фінансові ресурси підприємства. Економічний аналіз дозволить оцінити здатність підприємства досягти певного рівня ефективного використання енергоресурсів і визначити зовнішні і внутрішні чинники, що впливають на управління енергопостачанням підприємства, прогнозувати зміни показників енерговитрат підприємства.

2 крок. Формування факторної системи і облікової бази для розрахунку інтегрального показника. Для підготовки початкової інформації формується облікова база, яка дозволяє враховувати впливові чинники.

3 крок. Розрахунок інтегрального показника для управління енергопостачанням підприємства. Інтегральний показник управління енергопостачанням підприємства — число, що дозволяє оцінити рівень ефективності енергопостачання при обліку всіх основних показників діяльності підприємства. Зміна інтегральних показників в часі дозволяє визначити динаміку зміни управління енергопостачанням підприємства.

Розрахунок інтегрального показника є найважливішим етапом. При його проведенні можна задати наступну послідовність операцій:

1. Набір виявлених показників розглядається як багатовимірний простір. В даному випадку можна говорити про p -вимірний простір, оскільки виявлених чинників, що впливають на управління енергопостачанням підприємства, p ять. Зміна параметрів з часом характеризує траєкторію руху системи в даному p -вимірному просторі, тобто траєкторію зміни управління енергопостачанням підприємства.

2. Якщо припустити, що в процесі еволюції траєкторії зміни параметрів можуть заповнювати весь простір, тоді в кожній точці траєкторії обчислюється її похідна за часом (аналог темпу зростання), отже, маємо векторний простір. При цьому в просторі траєкторії можуть бути трьох типів:

- що розходяться — коли в процесі еволюції траєкторії все далі віддалятимуться від початкової точки, що відповідає ефективному управлінню енергопостачання підприємства;
- граничний цикл (траєкторія беззбиткової) — коли в процесі еволюції система повертається в початковий стан, що відповідає рівноважному стану системи;

— що сходяться — коли в процесі еволюції система наближається до початкової точки, що відповідає неефективному управлінню енергопостачання підприємства.

Траєкторія що розходиться буде, якщо в досліджуваній точці векторного поля є джерело, за рахунок якого відбувається його розбіжність. Якщо джерело відсутнє, то траєкторія буде сходиться [14].

Динамічна характеристика ефективного управління енергопостачання підприємства за рахунок всіх чинників визначається за допомогою єдиного рівняння, утворюючого вектор стану системи W (7):

$$W_i = \sum_i (a_{ij})^2. \quad (7)$$

Даний вектор характеризує систему в i -ом стані, y -ий момент часу, тобто він характеризує систему як ціле за вказаний (оцінюваний) період часу. При цьому він є «динамічною» характеристикою системи у вказаний період часу.

Знаходження похідної по рівнянню полінома визначає динамічний рівень ефективного управління енергопостачанням залізорудного підприємства по вибраних чинниках:

$$\text{Div}(t) = \sum_{n=1}^k W_n n t^{n-1}. \quad (8)$$

Траєкторія зміни вищевикладених вибраних показників розходиться, що говорить про ефективне управління енергопостачанням підприємства. Оскільки розрахунок інтегрального показника ґрунтується на поліномі, то за допомогою його можна зробити прогноз зміни рівня ефективного управління енергопостачанням підприємства на наступний період [12].

5. Висновки

1. Отриманий інтегральний показник дозволяє ефективно управляти процесом енергоспоживання, визначити його рівень, стадію життєвого циклу і складати прогноз на наступний — плануємиий період для конкретного залізорудного підприємства чи об'єднання. При цьому перевагою пропонуємого метода є відсутність строго нормативного значення.

2. При вирішенні практичних задач конкретне число рівня стійкості системи не є значимим, а цікава загальна динаміка. При цьому нормальний рівень стійкості для кожного підприємства свій і пристосований до умов його функціонування.

3. Можливості отриманого інтегрального показника не обмежуються моніторингом зміни структури та обсягів енергоспоживання залізорудного підприємства, а і визначенням рівня його ефективності на певний момент часу, визначенням стадії розвитку і складанням прогнозу на наступний період. За допомогою його також можливо ефективно планувати діяльність підприємства, а змінюючи показники факторної системи, заздалегідь оцінювати, як це вплине на діяльність підприємства в цілому.

Література

1. Шидловський, А. К. Енергетичні ресурси та потоки [Текст] / А. К. Шидловський, Ю. О. Віхорев, В. О. Гінайло та ін.; під ред. А. К. Шидловського. — К.: УЕЗ, 2003. — 472 с.

2. Бабец, Е. К. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004–2011 г.г. [Текст] / Е. К. Бабец, Л. А. Штанько, В. А. Салганик и др. // Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009–2010 г.г. — Кривой Рог: Видавничий дім, 2011. — 329 с.
3. Азарян, А. А. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв [Текст] / А. А. Азарян, Ю. Г. Вілкул, Ю. П. Капленко, Ф. І. Караманиц, В. О. Колосов, В. С. Моркун, П. І. Пілов, В. Д. Сидоренко, А. Г. Темченко, П. Й. Федоренко. — Кривий Ріг: Мінерал, 2006. — 219 с.
4. Сінчук, О. М. До проблеми ефективності споживання електричної енергії залізорудними підприємствами [Текст] / О. М. Сінчук, І. О. Сінчук, Т. М. Берідзе, А. М. Ялова // Вісник Криворізького національного університету. — 2014. — Вип. 36. — С. 160–167.
5. Сінчук, О. Н. Оценка потенциала и тактика повышения электроэнергоэффективности подземных железорудных производств [Текст] / О. Н. Сінчук, И. О. Сінчук, Э. Г. Семёнович, А. Н. Яловая, М. А. Баулина // Технологический аудит и резервы производства. — 2014. — № 3/4(17). — С. 34–39. doi:10.15587/2312-8372.2014.25329
6. Полтава, Л. Й. Пути рационализации подземного электроснабжения железорудных шахт Кривбасса [Текст] / Л. Й. Полтава // Сборник научных трудов. — Кривой Рог: КГРИ, 1948. — Вып. 2. — С. 3–10.
7. Разработка и внедрение высокоэффективных систем электроснабжения шахт с переходом на большие глубины в условиях интенсификации горных работ, увеличения единичных мощностей и использования тиристорных преобразователей [Текст]: Отчёт по НИР. — Кривой Рог, 1981. — 215 с.
8. Самойлович, И. С. Электроэнергетика карьеров с циклично-поточной технологией [Текст] / И. С. Самойлович, О. Н. Сінчук, Н. В. Панасенко, В. В. Ксендзов; под ред. Сінчука О. Н. — К.: АДЕФ — Украина, 2000. — 209 с.
9. Bazilevich, S. V. Saving materials and power in iron-ore agglomeration processes [Text] / S. V. Bazilevich // Metallurgist. — 1973. — Vol. 17, № 11. — P. 780–782. doi:10.1007/bf01089510
10. Robinson, F. D. Power Production and Consumption [Text] / F. D. Robinson // Nature. — 1956. — Vol. 178, № 4530. — P. 392–394. doi:10.1038/178392a0
11. Messner, S. MESSAGE-MACRO: linking an energy supply model with a macroeconomic module and solving it iteratively [Text] / S. Messner, L. Schrattenholzer // Energy. — 2000. — Vol. 25, № 3. — P. 267–282. doi:10.1016/s0360-5442(99)00063-8
12. Ньютон, Р. Управление проектами от А до Я [Текст] / Ричард Ньютон; пер. с англ. А. Кириченко. — М.: Альпина Паблишер, 2011. — 192 с.
13. Уилкс, С. Математическая статистика [Текст] / С. Уилкс. — М.: Наука, 1967. — 632 с.
14. Гаек, Я. Теория ранговых критериев [Текст] / Я. Гаек, З. Шидлак. — М.: Наука, 1971. — 375 с.
15. Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрии [Текст] / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. — М.: ЮНИТИ, 1998. — 1022 с.
16. Праховник, А. В. Управление электрическим навантаженням [Текст]: зб. допов. / А. В. Праховник, В. П. Калінчик // Управление энергоснабжения. — К.: Альянс за збереження енергії, 2001. — С. 225–230.

ФАКТОРНОЕ ПРОСТРАНСТВО И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

В статье приведены результаты анализа потребления энергии отечественными горнорудными предприятиями с подземными способами добычи. Показана связь объёмов потребления электрической энергии предприятиями и себестоимости добываемого железорудного сырья. Обоснована необходимость управления процессом электропотребления и планирования объёмов потребления энергии предприятиями. Авторами представлена классификация факторов, влияющих на эффективность системы нормирования удельных потерь электрической энергии.

Ключевые слова: электропотребление, электрическая энергия, железорудное производство, управление, электроэнергоэффективность, факторное пространство, интегральный показатель.

Сінчук Олег Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, **e-mail: speet@ukr.net**.

Сінчук Ігор Олегович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, **e-mail: speet@ukr.net**.

Ялова Альона Миколаївна, аспірант, кафедра автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, **e-mail: speet@ukr.net**.

Вінник Марина Анатоліївна, аспірант, кафедра автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, **e-mail: speet@ukr.net**.

Сінчук Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГБУЗ «Криворожский национальный университет», Украина.

Сінчук Ігорь Олегович, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГБУЗ «Криворожский национальный университет», Украина.

Яловая Алёна Николаевна, аспирант, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГБУЗ «Криворожский национальный университет», Украина.

Винник Марина Анатольевна, аспирант, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГБУЗ «Криворожский национальный университет», Украина.

Sinchuk Oleg, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, **e-mail: speet@ukr.net**.

Sinchuk Igor, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, **e-mail: speet@ukr.net**.

Yalova Al'ona, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, **e-mail: speet@ukr.net**.

Vinnik Marina, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, **e-mail: speet@ukr.net**.