

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

ЯЛОВА АЛЬОНА МИКОЛАЇВНА

УДК: 621.311.086.5:621.3.001.57

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І МЕТОДИ
ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ СПОСОБІ ВИДОБУТКУ
ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у ДВНЗ «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Сінчук Ігор Олегович,
ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем у промисловості та транспорті.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Розен Віктор Петрович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами;

кандидат технічних наук, професор
Плешков Петро Григорович,
ДВНЗ «Кіровоградський національний технічний університет»,
завідувач кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту.

Захист відбудеться «18» березня 2016 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «15» лютого 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. В. Кулик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Продукція гірничодобувної галузі – залізорудна сировина (ЗРС) є основним джерелом поповнення валютних запасів і формування ВВП України.

За останні 5 років, після десятиліть падіння, в Україні знову простежується стійка тенденція збільшення обсягів видобутку ЗРС. Особливо це відноситься до підземного – шахтного, способу, котрий характеризується достатнім рівнем екологічності і якості сировини, що видобувається.

Однак підземному способу видобутку, як втім і відкритому, властива тенденція збільшення собівартості продукції – ЗРС – в середньому, щорічно, на 133,5% у зв'язку зі зниженням глибин видобутку, котрі вже сягнули за проектних значень – 1500-2000 м.

Більш ніж 30% у загальній собівартості видобутої залізної руди підземним (шахтним) способом становлять енерговитрати. В свою чергу, на відміну від інших способів видобутку корисних копалин, близько 90% у загальних енерговитратах, при цьому способі видобутку займають електроенергетичні. Незважаючи на ряд об'єктивних причин, головним залишається фактор неефективності за структурою і параметрами експлуатованих систем електропостачання – електроспоживання цих підприємств, оскільки вони суттєво не модернізувались понад 50-60 років.

При цьому, враховуючи, що напрямки модернізації підприємств відомі, проте рівні очікуваних досягнень у головному – підвищенні електроенергоефективності видобутку ЗРС – не визначені.

Важливо і те, що залізорудні шахти мають суттєву різницю від вугільних та інших гірничовидобувних підприємств, котра полягає, перш за все, в рівнях, режимах та параметрах споживання електричної енергії (ЕЕ), що визначається, перш за все, технологією ведення робіт конкретного підземного підприємства з комплексом його технологічних особливостей.

Таким чином, **наукова задача** дисертаційної роботи полягає у комплексному оцінюванні впливу технічних і технологічних факторів на електроенергоефективність залізорудних шахт.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає напряму наукових досліджень кафедри автоматизованих електромеханічних систем у промисловості та транспорті ДВНЗ «Криворізький національний університет» і виконана за пріоритетним напрямком Міністерства освіти і науки України «Розробка методів оптимізації систем електропостачання» в рамках держбюджетних робіт «Розробка енергозберігаючих заходів на підприємствах гірничодобувної промисловості» (№ держреєстрації 30-102-15) і «Розробка комплексу заходів з енергозбереження на підприємствах залізорудної промисловості» (№ держреєстрації 30-98-14).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності використання електричної енергії в умовах вітчизняних

залізорудних шахт шляхом розроблення математичних моделей для контролю, оцінювання та встановлення прогнозного рівня її використання в умовах непрозорості очікуваних об'ємів видобутку даного виду корисних копалин.

Для досягнення мети дисертаційної роботи поставлені та сформульовані наступні задачі:

- аналіз стану електроенергоспоживання підземних споживачів залізорудних шахт;

- розроблення системи комплексного аналізу рівнів електроенергоспоживання залізорудних шахт з диференціюванням за видами електроприймачів, часом доби і місяцями календарного року, встановлення залежності рівня споживання від обсягів видобутку залізорудної сировини;

- оцінювання реально-досяжного рівня підвищення ефективності використання електроенергопотенціалу за видами приймачів електричної енергії;

- розроблення та обґрунтування тактики економічно і технічно доцільної послідовності реалізації енергозберігаючих заходів в умовах діючих і проєктованих систем електропостачання залізорудних підприємств.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є процес споживання електричної енергії в системах електропостачання залізорудних шахт.

Предметом дослідження є структури і параметри систем електропостачання залізорудних шахт і способи підвищення їх електроенергоефективності.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі для вирішення поставлених задач використовувались такі методи: метод математичної статистики – для статистичного опису результатів експериментів і спостережень, а також побудови математичних моделей щодо об'єму споживання ЕЕ; метод Чадека – для аналізу рівня кореляції між обсягами видобутку ЗРС та об'єму споживання ЕЕ; шкала Чедокка – для встановлення ступені зв'язку між обсягами видобутку ЗРС та об'єму споживання ЕЕ; факторний аналіз – для комплексного системного вивчення досліджуваної проблеми і оцінки впливу факторів на величину споживання ЕЕ; дисперсний аналіз – для статистичної оцінки надійності проявлення залежності споживання ЕЕ від виявлених факторів; метод головних компонент – для зменшення розмірності даних, з найменшою втратою кількості інформації; метод «стискання» інформації – для виявлення значущих ознак, що визначають природу режимів споживання ЕЕ, та скорочення обсягів даних при визначенні природи режимів споживання ЕЕ.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше доведено, що обсяги споживання електричної енергії залізорудними підприємствами України, з підземними видами виробництв, не перебувають у прямій залежності від обсягів видобутої залізорудної сировини, що потребує необхідність у визначенні оптимальних рівнів енергоспоживання на основі запропонованого факторного простору системи чинників, які визначаються індивідуально для кожного окремо взятого підприємства;

- модернізовано відомий метод оцінювання ефективності функціонування силових трансформаторів напруги головних понижувальних підстанції у функції коефіцієнта їх завантаження. Це дозволило отримати шкалу рівнів ефективності виведення в резерв недовантажених трансформаторів, що відрізняється від відомих методів урахуванням фактичних показників оцінки ефективності для підвищення ефективності системи електропостачання конкретного залізничного підприємства;

- удосконалено метод управління процесом електроенергоспоживання залізничних підприємств у основу якого покладено розроблення інтегрального показника, що відрізняє його від відомих відсутністю нормативних значень і дозволяє здійснювати поточне та прогнозне оцінювання рівнів електроспоживання підприємства протягом складових життєвого циклу;

- отримав подальший розвиток, для умов вітчизняних залізничних підприємств, метод оцінювання наявного оптимістичного та песимістичного потенціалу підвищення рівня ефективності підприємств, що враховує рівень і режими споживання електричної енергії, з процесом формалізації типів і видів технологічного обладнання, які доцільно використовувати споживачами-регуляторами електричної енергії, що дозволило побудувати адаптивні алгоритми керування режимами залізничного підприємства в цілому

Практичне значення одержаних результатів

При виконанні дисертаційної роботи отримано наступні практичні результати:

- Запропонована в роботі методика аналізу процесу електроспоживання та оцінки потенціалу підвищення ефективності використання електричної енергії залізничними підприємствами України з формалізацією видів і типів технологічного обладнання, завдяки чому електромеханічні системи доцільно використовувати споживачами-регуляторами споживаної даними підприємствами електричної енергії;

- розроблено і запропоновано для практичної реалізації інструментарій для побудови системи управління режимом електроспоживання гірничорудного підприємства.

- обґрунтовано структуру «пілотного проекту» та створено алгоритм поетапного втілення його в комплекс «Електропрогноз» для умов ПАТ «Криворізький залізничний комбінат».

Результати досліджень втілюються в практику роботи ПАТ «Криворізький залізничний комбінат» (акт впровадження від 15.04.2015 р.), а також передані базовому інституту по проектуванню залізничних підприємств в Україні «Кривбаспроект» (акт впровадження від 15.09.2015 р.) для практичної реалізації в умовах діючих залізничних підприємств.

Результати дисертаційної роботи використано в навчальному процесі Криворізького національного технічного університету під час проведення лекційних та лабораторних занять (довідка про впровадження від 28.08.2015 р.).

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети та основних завдань досліджень, збиранні, обробці та аналізі результатів експериментальних досліджень, розробці математичних моделей досліджень.

Наукові положення, які містяться у дисертації одержані автором самостійно. У публікаціях, що видані у співавторстві, автору належить: у [1] – методологія комплексного підходу до оцінки реального стану рівнів електроспоживання залізородних підприємств з підземними способами видобутку ЗРС та розробка теоретичної бази для досліджень в аналізуємому напрямку; у [2] – встановлення залежностей обсягів електроспоживання від сезонності; у [3] – аналітичні дослідження ефективності виводу трансформаторів в «холодний резерв»; у [4] – розробка структури системи енергоменеджменту залізородної шахти; у [5] – вдосконалення методу оцінювання ефективності споживання електричної енергії залізородними підприємствами; у [6] – аналітичні дослідження ефективності виводу трансформаторів в «холодний резерв»; у [7] – формування структури алгоритму оцінки процесів енергоспоживання гірничородних підприємств; у [8] – алгоритм-прогноз потенціалу можливо наявної оптимізації рівнів електроспоживання; у [9] – тактика оцінки потенціалу електроенергоефективності залізородних підприємств; у [10] – модель системи енергоменеджменту для гірничородного комбінату; у [11] – розробка математичної моделі електроспоживання залізородним підприємством; у [12] – метод рівняння впливу сезонності на рівні електроспоживання; у [13] – форматизація чинників факторного простору; у [14] – теоретичні аспекти виділення критеріальної ознаки при оцінці рівнів споживання електричної енергії; у [15] - визначення залежності обсягів видобутку ЗРС від сезонності; у [16]- система чинників формування факторного простору електричної енергії залізородними підприємствами ; у [17]- класифікація факторів, що впливають на ефективність системи нормування питомих витрат електричної енергії; у [18] - моделювання прогнозних рівнів електроенергоспоживання.

Результати досліджень, що викладені у [1–18], були отримані у ДВНЗ «Криворізький національний університет».

Апробація результатів дисертації. Основні положення, наукові та практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на таких міжнародних науково-технічних конференціях: Міжнародній науково-технічній конференції «Інтегровані технології та енергозбереження» (м. Алушта, 2005-2006 рр.); XI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук, березень 2013 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів і молодих учених «Проблеми енергоефективності та енергозбереження» (м. Кіровоград, листопад 2012 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції «Оптимальное управление электроустановками» (м. Вінниця, жовтень 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми підвищення ефективності електромеханічних перетворювачів в електричних системах» (м. Севастополь, 2013 р.); VII

Міжнародному симпозиумі «Якість мінерального сировини – 2015» (м. Кривий Ріг, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості» (м. Кіровоград, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 15 наукових працях, серед яких 1 монографія та 14 статей у журналах і збірниках (з них: 8 – у наукових фахових виданнях України, 5 – у виданнях, що внесені до міжнародних наукометричних баз даних, а також 6 статей у збірниках матеріалів міжнародних конференцій).

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота розміщена у двох томах. Повний обсяг дисертації становить 212 сторінок друкованого тексту, складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (205 найменувань на 28 сторінках). Другий том складається з чотирьох додатків на 136 сторінках. Основний зміст викладено на 153 сторінках друкованого тексту, містить 72 рисунки та 13 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дана загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність досліджень, вказано на її зв'язок з науково-дослідними державними програмами та темами НДР. Наведено характеристику наукової новизни та практичного значення одержаних результатів для вітчизняних залізородних і суміжних із ними підприємств.

У **першому** розділі оцінено та доведено, що основним видом енергії, котру споживають гірничі підприємства з видобутку ЗРС підземним способом, є електрична – 90%. В зв'язку з цим питання енергоефективності для таких видів промисловості – це, перш за все, електроенергоефективність.

У **другому** розділі з метою отримання реального стану та окреслення кордонів рівнів коливань електроспоживання діючих залізородних підприємств у функції часових відліків для подальшого теоретичного обґрунтування реально досяжного рівня електроенергетичного потенціалу і способів його реалізації наведено результати комплексу експериментальних досліджень, котрі проводились на вітчизняних підземних залізородних підприємствах.

Встановлено, що при практичній незмінності за останні 5-8 років електроенергобалансу залізородних підприємств, коливання рівнів електроспоживання різняться як у часових відліках, так і по окремо взятих споріднених підприємствах – шахтах (рис. 1), котрі вибрані базовими технологічними структурами для досліджень.

Виявлено, що найбільші коливання рівнів споживання електричної енергії спостерігаються за годинами доби і досягають 2,5 разів у середньому за п'ять років проаналізованими шахтами.

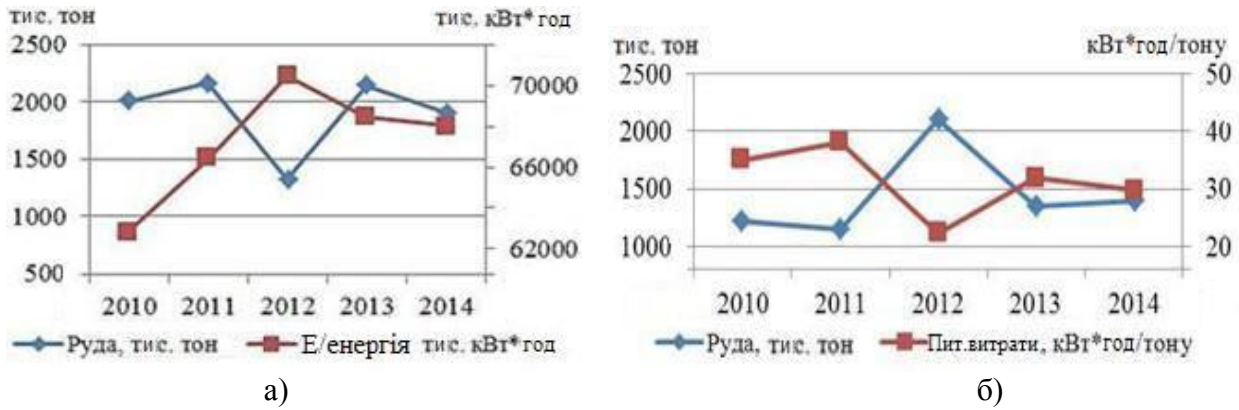


Рисунок 1 – Графіки річних обсягів видобутку залізорудної сировини і споживання електричної енергії по: а) ш. «Батьківщина»; б) ш. «Жовтнева»

При цьому показник максимального рівня споживання ЕЕ відповідав найбільшим обсягам видобутку ЗРС. У той же час така «логіка» відсутня для умов мінімальних обсягів видобутку.

Більше того, спроби встановити рівень залежності між обсягами видобутку ЗРС і обсягами електроенергоспоживання по конкретному залізорудному комбінату і його виробничим складовим структурам – шахтам, показали наступні результати. Узагальнений коефіцієнт кореляції в цілому по комбінату: період 2010-2014 рр. склав $-0,43$, що згідно зі шкалою Чеддока визначається як помітний зворотній взаємозв'язок. За цей же період часу по шахтах – структурних складових цього комбінату, узагальнюючи ці показники, можна дійти до загального висновку: кореляція між обсягами видобутку ЗРС та питомими витратами електричної енергії не має стабільності і, більше того, значення коефіцієнтів кореляції коливаються від високого рівня взаємозв'язку $(+)0,91$ до від'ємних його значень $(-)0,58$ (рис. 2).

Тобто, залежність лежить у межах від високого взаємозв'язку до витрат ЕЕ не за призначенням. При цьому важливо, що базовими графіками рівнів навантажень, що формують інші в часі, є добові, а акцент в аналізі та пошуку шляхів підвищення електроефективності видобутку ЗРС повинен бути зроблений на основну технологічну ланку – шахту і її складові та найбільш вагомні електроприймачі: компресорні станції, головний водовідвід (ГВ), скіпові підйомні установки (СкП), вентилятори головного провітрювання (ВГП), що споживають до 90% електричної енергії від загально шахтного обсягу.

Аналіз показників таких графіків – коефіцієнт максимуму k_M та коефіцієнт заповнення $k_{зап}$ – для кожного споживача показав такі дані:

Для СкП $k_M = 2,44 - 1,9$; $k_{зап} = 0,43 - 0,53$; для ВГП відповідно $1,15 - 1,03$ і $0,87 - 0,97$; для ГВ – $2,04 - 1,75$ і $0,49 - 0,57$. В цілому по шахтах Криворізького залізорудного басейна: $k_M = 1,59 - 1,5$, $k_{зап} = 0,63 - 0,66$.

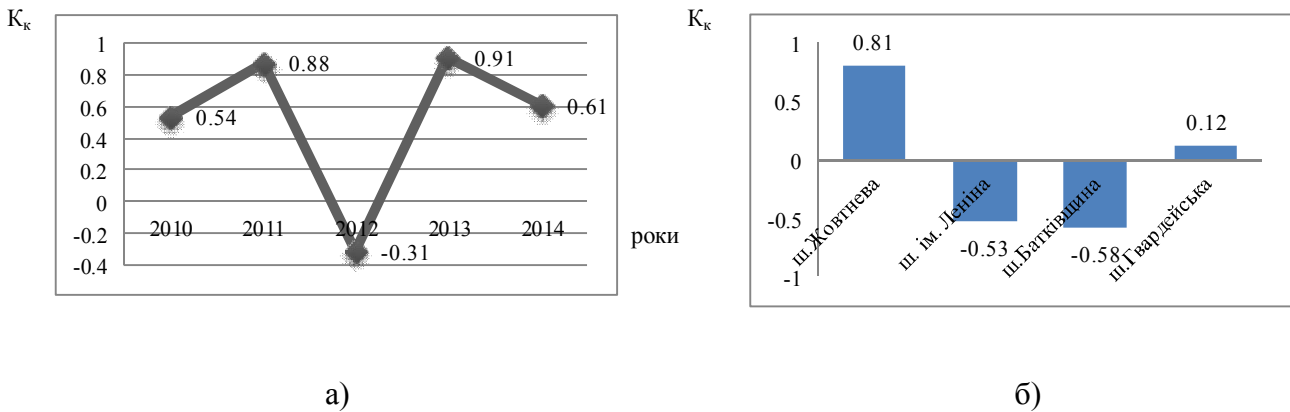


Рисунок 2 – Значення коефіцієнтів кореляції питомих витрат електричної енергії і обсягів видобутку залізорудної сировини шахт ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»: а) по комбінату; б) усереднений показник по шахтах за період 2010-2014 рр.

Не менш важливим для якості досліджень, було отримати результати впливу сезонів року (сезонність) на рівні споживання електричної енергії.

Візуально - графічний аналіз індексів сезонності (рис. 3) показує, що загальна тенденція сезонних енерговитрат для всіх шахт басейну відсутня.

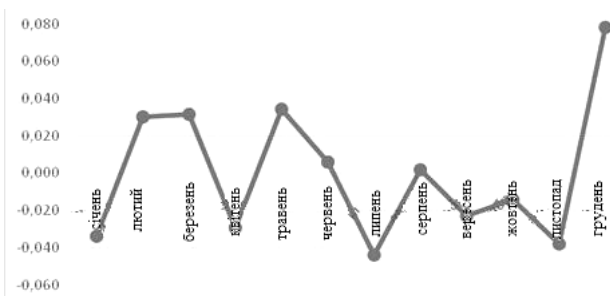


Рисунок 3 – Хвилі сезонності по шахті «Батьківщина» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»

Лише наприкінці року (грудень) рівень енерговитрат на всіх шахтах зростає.

При цьому слід зазначити, що чим сильніші відхилення хвилі сезонності від базової лінії, тим вище рівень впливу сезонності. У періоди, де точка хвилі сезонності нижче базової, сезонність впливає негативно (зменшує показник). У періоди, де точки хвилі сезонності вище базової, сезонність впливає позитивно (збільшує показник).

Наведений вище ряд показників позначається на головному показнику електроенергоєфективності залізорудних виробництв – питомої витрати ЕЕ на тону видобутого ЗРС, де планові і фактичні показники на всіх без винятку шахтах не збігаються. Це наслідок того, що підприємства неадекватно прогнозують складові ЕЕ в вартості сировини, що видобувається, з витікаючими звідси економічними наслідками.

У третьому розділі обґрунтовано та вибрано як дослідницький апарат для подальших досліджень багатофакторний аналіз у поєднанні з експертно-статистичними методами, що дозволило визначити та оцінити рівень впливу на споживання ЕЕ підземних залізорудних підприємств початкової сукупності впливаючих факторів. Запропоновано для зменшення розмірності факторного

простору використовувати метод головних компонент, який дозволяє шляхом ранжування «відкинути» менш інформативні фактори.

З метою отримання достовірних результатів за умови не збільшення обсягів вихідних даних для вирішення задач розробки заходів з оцінки та підвищення ефективності використання електричної енергії було визначено кількість необхідних спостережень і групи впливаючих факторів початкової сукупності. Наявність великої кількості вихідних даних збільшує розмірність задачі і тим самим ускладнює проведення розрахунків і процедуру прийняття рішень. Тому запропоновано використовувати допустиме (критичне) значення коефіцієнта множинної кореляції R_{yx} за даними табл. 1, визначити кількість необхідних спостережень. Згідно з існуючими методиками проведення експериментального аналізу були розроблені відповідні анкети. Для факторів, які представлені якісними показниками, були застосовані чисельні шкали. Обробка результатів з метою узагальнення результатів анкетування, проведеного з метою виявлення впливу факторів, що найбільше впливають на ефективність електроспоживання шахт, проводилася на основі використання методів рангової кореляції.

В табл. 1. $f = n - d$, де n – кількість відповідних ступенів свободи.

Таблиця 1 – Граничне значення коефіцієнта кореляції для рівнів імовірності 0,95

$f = n - d$	1	3	5	7	9	11	13	15	17
R_{yx}	0,99	0,88	0,75	0,67	0,6	0,55	0,51	0,48	0,46
$f = n - d$	19	25	30	35	40	45	50	60	70
R_{yx}	1,43	0,38	0,35	0,32	0,3	0,2	0,27	0,25	0,23
$f = n - d$	80	90	100						
R_{yx}	0,21	0,203	0,19						

Для цього, з метою перевірки втрати інформації, визначено парний ранговий коефіцієнт Спірмена. Для виявлення ступеня узгодженості думок експертів (фахівців) використовувався коефіцієнт конкордації Кенделла. У разі значущості коефіцієнта конкордації Кенделла, тобто, якщо думки експертів в оцінці поставленого питання про ступінь впливу факторів узгоджені, переходили до аналізу узгодженості думок експертів по кожному фактору окремо. З цією метою перевірялось припущення про рівномірність розподілу рангів по кожному фактору, застосовуючи критерій Мизеса-Смирнова (критерій ω^2). Для досліджень за запропонованою методикою були отримані наступні результати. Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена: $\rho = 0.828 > 0$, можна вважати, що втрати інформації не відбулося. Коефіцієнт конкордації: $W = 0,946$ близький до одиниці, це свідчить про високий рівень узгодженості думок експертів стосовно даних факторів. Для рівня значимості 0,01 (99%) і кількістю ступенів свободи $\nu = 26 - 1 = 25$, то критичне значення $\chi^2_{кр} = 44,3$. Так як $\chi^2 = 353,3$, то можна стверджувати про існування невипадкової високої

узгодженості думок експертів щодо факторів, які були оцінені розрахованим коефіцієнтом конкордації (рис. 4, 5).

Для формування груп факторів впливу використовувався дисперсійний аналіз. Висновки про однорідність результатів проведено за F -критерієм Фішера:

$$F_1 = \frac{S_1^2}{S_{01}^2} = \frac{3,5}{57,77} = 0,06, \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{S_2^2}{S_{02}^2} = \frac{822,3}{11,13} = 73,9, \quad (2)$$

де $S^2_{1}, S^2_{01}, S^2_{2}, S^2_{02}$ – відповідні оцінки дисперсії (з табл. 2).

Використовуючи t – критерій Ст'юдента, оцінена структура сукупності.

Для визначення інформативного набору найбільш впливаючих факторів використовувався метод головних компонент з геометричною інтерпретацією результатів.

У **четвертому** розділі запропонована методика розробки інтегрального показника ефективного управління електроенергоспоживанням залізрудних шахт.



Рисунок 4 – Упорядкована гістограма результатів ранжирування

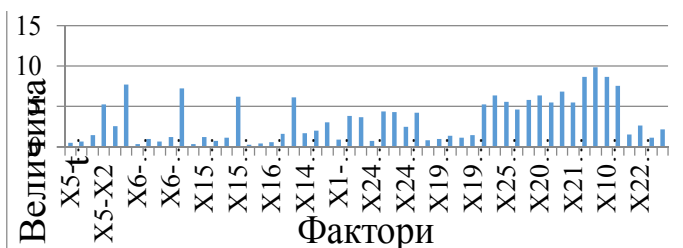


Рисунок 5 – Гістограма результатів розрахунку параметра t

Між тим очікувано значний обсяг необхідної вихідної інформації ускладнює дослідження і отримання необхідного рішення. Таким чином, виникає необхідність відхилити менш інформативні фактори без впливу на кінцевий результат і якість очікуваного рішення

Метод допускає використання наступних принципів: обмеженість числа показників у факторній моделі; багатofункціональність факторів повинна компенсувати їх невелике число; динамізм, який дозволить оцінити ситуацію в русі; безпека, оскільки показники повинні використовуватись як індикатори під час виникнення критичних ситуацій; зіставлення факторів.

Таблиця 2 – Розрахунок дисперсій

Варіація	Ступінь вільності	Сума квадратів	Дисперсія
Між експертами	$m-1=14$	$n \sum_{j=1}^n (\bar{x}_j - \bar{X})^2 = 49,26$	3,5
Між факторами	$n-1=25$	$m \sum_{i=1}^m (\bar{x}_j - \bar{X})^2 = 49,26$	822,3
Залишкова (між експертами)	$m(n-1)=315$	$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (\bar{x}_j - \bar{X})^2 = 21662,96$	57,77
Залишкова (між факторами)	$n(m-1)=364$	$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{i,j}^2 - \sum_{i=1}^n \frac{(\sum_{j=1}^m x_{i,j}^2)}{m} = 4051,2$	11,13

Під час розроблення інтегрального показника для управління рівнем електроенергоспоживання підприємств, що аналізувались, враховувались умови: недостатність початкової інформації, необхідність повноти вивчення енергопостачання, на яке впливають всі показники виробничої діяльності підприємства протягом усього життєвого циклу підприємства, врахування взаємозв'язку показників між собою, однакова спрямованість дії на процес електроенергоспоживання (ЕЕС), негативний вплив факторів.

Вибрані показники можна вважати координатами в багатовимірному просторі, а стан підприємства – вектором у даному просторі. Таким чином, пропонується використовувати теорію векторного поля, яка базується на розрахунках дивергенції (розходження) поля. При цьому дивергенція для оцінки ефективного управління ЕЕС підприємства в декартових координатах визначається:

$$\operatorname{div} \nabla = \frac{\partial V_r}{\partial x} + \frac{\partial V_v}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial V_m}{\partial m}, \quad (3)$$

де похідні відповідно $\frac{\partial V_r}{\partial x}$ - за фактором «обсяг видобутку ЗРС»; $\frac{\partial V_v}{\partial y}$ - за фактором «приплив води в шахту»; $\frac{\partial V_z}{\partial z}$ - за фактором «витрата стисненого повітря»; $\frac{\partial V_m}{\partial m}$ - за фактором «чисельність виробничого персоналу».

Динамічна характеристика ефективного управління ЕЕС аналізуемий підприємств за рахунок усіх факторів визначається за допомогою єдиного рівняння, що утворює вектор стану системи W (4):

$$W_i = \sum_i (a_{ij})^2 . \quad (4)$$

Даний вектор характеризує систему в i -му стані, в j -й момент часу, тобто характеризує її як цілісну за вказаний період i , водночас, є «динамічною» характеристикою системи в аналізуемий період часу. При цьому рівняння полінома вектора стану має вигляд (5):

$$W(t) = 0,018 + 0,325t + 0,27t^2 - 0,039t^3 + 0,0061t^4 \quad (5)$$

Згідно з наведеними розрахунками, коефіцієнт детермінації дорівнює 0,994; коефіцієнт кореляції 0,99; відносна похибка дорівнює 3,39%; значимості за критерієм Фішера 99%. Всі наведені критерії показують, що отримана модель адекватна і відповідає реальному процесу.

В свою чергу визначення похідної для рівняння полінома (5) визначає динамічний рівень ефективного управління ЕЕС підприємства за обраними факторами:

$$Div(t) = \sum_{n=1}^k W_n n t^{n-1} . \quad (6)$$

Оскільки розрахунки інтегрального показника ґрунтуються на математичній моделі поліноміального виду, то з його допомогою можна, що вкрай важливо, зробити прогноз зміни рівня ефективного управління ЕЕС підприємства на майбутній період.

У **п'ятому** розділі на основі отриманих даних енергетичного аудиту режимів електричних навантажень (ЕН) залізорудних підприємств розроблена модель режимів їх ЕЕС.

При цьому оцінка тісноти взаємозв'язку між показниками витрати електроенергії W і продуктивності X характеризувалась кореляційним відношенням $\eta^2_{w/x}$ і визначала частку дисперсії δ_w^2 :

$$\eta^2_{w/x} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (w_i - \bar{w}_i)^2}{\delta_w^2} , \quad (7)$$

де w_i - розрахункове значення функції; \bar{w}_i - середнє значення функції згідно експериментальної вибірки; n - об'єм вибірки; K - кількість інтервалів змінення функції; δ_w^2 - повна дисперсія, що складається з дисперсії $\delta^2_{w/x}$ в межах

кожного інтервалу функції W і дисперсії $\delta \frac{2}{w}$ середніх значень, зумовленої впливом аргументу:

$$\delta_w^2 = \delta_{w/x}^2 + \delta \frac{2}{w}. \quad (8)$$

У зв'язку з тим, що характер зв'язку між витратою електроенергії і показниками продуктивності залізородних шахт не суперечить умові лінійності то, в цьому випадку повинно виконуватися з довірчою ймовірністю $2\phi(t_\alpha) = 1 - \alpha$ співвідношення:

$$|r_{w/x}| - (1 - r_{w/x})\sqrt{nt_\alpha} \leq \eta_{w/x}|r_{w/x}| + (1 + r_{w/x})\sqrt{nt_\alpha}, \quad (9)$$

де $r_{w/x}$ - коефіцієнт кореляції; t_α - квантиль t статистики при рівні α .

З метою зменшення обсягів обчислень при незбільшенні похибки кінцевого результату запропоновано використовувати метод стиснення вхідної інформації. Під час моделювання часових моделей ЕЕС з вихідної інформації за допомогою стиснення інформації виділяємо попередні вектори або головні компоненти, які спільно з векторами перетворення утворюють мультиплікативну модель ЕЕС:

$$F_{Xij}(\gamma_a, \varphi_Y) = \sum_{i=1}^n \gamma_{a.r_i} \cdot \varphi_{Y.r_i}, \quad (10)$$

$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$.

Апроксимація першого попереднього вектора і першої головної компоненти Y_I з урахуванням сезонності ЕЕС допустима у вигляді розкладання в ряд Фур'є:

$$\varphi_{Y_I} = \beta_{0.1} + 2 \sum_{k=1}^{k=5} \beta_{k.1} \cos(2\pi K f_1 t + \psi_{k.1}), \quad (11)$$

де $\beta_{0.1}$ - середнє значення Y ; $\beta_{k.1}$ - амплітуда K -ої гармоніки Y_I ; f_1 - основна частота виміру Y_I ; $\psi_{k.1}$ - фаза k -тої гармоніки.

Часова модель ЕЕС як випадкового процесу може бути представлена у вигляді моделі, що містить систематичну $\hat{W}_c(I, t)$ і випадкову $\Delta \hat{W}(I, t)$ складові:

$$\hat{W}(I, t) = \hat{W}_c(I, t) + \Delta \hat{W}(I, t), \quad (12)$$

де I, t - координати моделі ЕЕС, що визначають відповідно номер року та місяця.

У реальному процесі ЕЕС виділяються характеристичні ортогональні (незалежні) складові (ставні вектори), що описують режим електроспоживання в просторі меншої розмірності при отриманні з результатів спостережень максимуму інформації.

У разі неоднорідного енергетичного режиму роботи електроприймачів (при полімодальному розподілі значень електричного навантаження) моделювання процесу ЕЕС доцільно виконувати з уведенням з усієї області зміни навантаження стійких рівнів, близько середніх значень які з певним ступенем розсіювання варіюються в окремі випадкові значення навантаження. Оцінку адекватності моделі знаходили із застосуванням критерію Дарбіна-

Уотсона, який оцінює наявність автокореляції. За відсутності автокореляції модель відповідає вимогам адекватності. Між тим за наявності автокореляції потрібен подальший аналіз моделі, зокрема аналіз впливу сезонності на відхилення, що являють собою різницю між фактичним і отриманим за регресійною моделлю значеннями ЕЕС. У цьому випадку допустиме застосування теорії рядів Фур'є

Наведені методи обробки і моделювання дозволяють отримати моделі, що дають ефективні оцінки стану режимів ЕЕС залізрудних шахт, включаючи режими ЕН споживачів, енергетичні характеристики, електробаланси і витрати електроенергії.

Реалізація рекомендованих способів дозволить по залізрудній шахті (комбінату) скоротити витрату ЕЕ за оптимістичним сценарієм на 35-40%, за песимістичним – на 15-20%.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на підставі отриманих теоретичних і практичних результатів та їх систематизації, обґрунтоване і вирішене наукове завдання підвищення електроенергоєфективності і визначення тактики його реалізації вітчизняними залізрудними підприємствами з підземними способами видобутку залізрудної сировини.

Виконані в дисертаційній роботі дослідження дозволяють зробити наступні узагальнюючі висновки:

1. Оцінка рівнів споживання різних видів енергії залізрудними підприємствами з підземними способами видобутку залізрудної сировини показала, що 90% становить електрична енергія. При цьому процес споживання електричної енергії приймачами підземних залізрудних підприємств, при практично постійному електробалансі, носить різко коливальний характер, де рівні коливань обсягів у функції ряду тимчасових періодів у середньому становлять відповідно: за добу до 250%; за днями тижня – 10%; за днями місяця – 30%; за роками – 30%. При цьому за проаналізовані роки значення коефіцієнта кореляції між обсягами видобутку ЗРС і питомим споживанням електричної енергії по всіх шахтах змінювалися у відносно невеликому діапазоні: 0,699 – 0,597. Однак за конкретними роками така близькість значень не спостерігалася. Так, загальний показник кореляції у 2010 р. склав 0,489, а в 2012 р. – 0,890, тобто різниця склала майже 2 рази.

2. Основним – базовим графіком рівнів споживання електричної енергії залізрудних шахт, що формує всі інші графіки, слід вважати добовий, з природними вимогами до нього в напрямку мінімізації пікових сплесків рівнів споживання.

Знизити приріст максимальної потужності на окремо взятому підприємстві можливо тільки шляхом ущільнення добових графіків навантажень із залученням споживачів-регуляторів, які здатні перенести частину свого навантаження з одних годин доби на інші, або з робочих днів на

вихідні. При цьому, аналізуючи електроенергоємність технологічних процесів гірничорудного виробництва, оцінюючи технологічні і організаційні можливості і обмеження, споживачами-регуляторами для залізородних шахт, які споживають до 90% від всієї споживаної електричної енергії для технологічних процесів, слід вважати:

- для видобутку і транспортування ЗРС, порожньої породи та інших вантажів – електропривод силових підйомних установок і магістральних стрічкових конвеєрних ліній в шахті та на поверхні;

- для технологічного процесу відкачування шахтних вод – електропривод насосних агрегатів та установок;

- для виробництва і транспортування стисненого повітря – електропривода ЦКС;

- для провітрювання головних відкаточних виробок – електропривод головних вентиляційних установок.

При цьому рівень ефективності управління буде визначатися адекватністю відпрацювання АСУ відповідного алгоритму, де один із базових принципів будови оцінки, контролю та управління рівнем електроенергоспоживання залізородного підприємства, в т.ч. за допомоги споживачів-регуляторів електричної енергії, буде полягати в прийнятті рішень на основі статистичної інформації, обробленої за допомогою методів моделювання та математичної статистики.

3. Застосування розробленої та рекомендуємо для практики роботи залізородних підприємств шкали рівнів ефективності виводу в резерв («холодний» чи «гарячий») недовантажених силових трансформаторів напруги ГПП, дозволить на основі реальних показників оцінювати ступінь реальності та необхідності прийняття таких рішень для оцінки очікуемого рівня ефективності існуючих систем електропостачання.

4. Визначення перспективних рівнів електроспоживання підземних гірничорудних підприємств в умовах невизначеності та неповноти інформації доцільно виконувати з використанням отриманих моделей електроспоживання, синтезованих із застосуванням теорії факторного аналізу (розкладання Карунена-Лоева, метод головних компонент). Застосування зазначених моделей дозволяє виконувати ефективний прогноз рівнів і режимів електроспоживання (витрати електроенергії, середньої і максимальної потужності на місячному та річному часових рівнях) з адаптацією при внесенні додаткових умов.

5. Розроблена і рекомендована для практичної реалізації методика експертних оцінок комплексного аналізу факторів, що визначають вплив на ефективність управління потоками електроенергетичних ресурсів для залізородних шахт і включає в себе простір таких формувальних факторів, як: економічні, правові, методологічне забезпечення, інформаційне забезпечення, організаційні заходи; дозволяє провести ранжування виділених складових і оцінити адресно ступінь їх впливу. Найбільшими важливими складовими є економічні, правові та методологічні, які в загальному обсязі становлять до 70% від всього об'єму факторів.

6. Адаптація методу головних компонент до формування множини факторів, які визначають вплив на ефективність споживання електроенергії залізорудних шахт, дозволила конкретизувати елементи множини: обсяг видобутку корисних копалин, приплив води в шахту, витрата стисненого повітря, чисельність виробничого персоналу.

7. Розроблена математична модель оптимального управління електроенергоспоживанням залізорудного підприємства допускає використання інтегрального показника, який дозволяє оцінити ступінь ефективності управління електроенергопостачанням конкретного підприємства, визначити рівень якості енергопостачання, стадії його життєвого циклу розвитку. Перевагою використання інтегрального показника є відсутність нормативного значення. При цьому під час визначення прогнозних значень показників енергоспоживання інтегральний показник не вимагає додаткових розрахунків.

8. Запропонований алгоритм розрахунку оцінки ефективності управління електроенергоспоживанням залізорудних підприємств дає змогу побудувати інтегральний показник. Він дозволяє проводити визначення необхідного рівня енергоспоживання, стадії життєвого циклу розвитку підприємства і здійснювати прогнозування зміни його до і після проведення реінжинірингу. При цьому, при вирішенні практичних завдань його перевагою є відсутність конкретного числа рівня стійкості системи, що не є значимим, а являє інтерес лише загальна динаміка. При цьому нормальний рівень стійкості для кожного підприємства свій і пристосований до умов його функціонування.

9. Застосування основних положень теорії векторного поля забезпечує можливість розрахувати дивергенцію для оцінки ефективності електроенергоспоживання на підприємстві, а також визначити динамічні характеристики ефективності цього процесу за рахунок усіх впливаючих факторів. На основі цієї теорії запропоновано аналітичний опис дивергенції для оцінки ефективності управління електроенергоспоживанням. Такий підхід дозволив отримати опис траєкторії руху кожного впливаючого чинника і, таким чином, оцінити динамічні характеристики управління енергоспоживанням залізорудного підприємства.

10. Для реального зниження питомих показників витрати електричної енергії на тону видобутої ЗРС вітчизняними гірничорудними підприємствами необхідно:

- диференційовано оцінити можливості корегування рівнів споживання електричної енергії у функціях ряду змінних факторів, що впливають на всі доданки комплексу: електропостачання – електроспоживання як об'єкта регулювання кожної окремо взятої шахти;
- розробити обґрунтований комплекс пропозицій щодо реалізації запропонованих рекомендацій у практику роботи залізорудного підприємства;
- обґрунтувати, запропонувати і впровадити в практику роботи гірничорудного підприємства систему контролю, обліку та управління процесом споживання електричної енергії в комплексі АСУ технологічним процесом по окремо взятій шахті і комбінату в цілому.

11. Запропонований у роботі підхід до комплексного вирішення завдання підвищення електроенергоефективності видобутку ЗРС шляхом застосування системи контролю, оцінки та управління цим процесом з урахуванням раніше обґрунтованих прогнозних технологічних доданків дозволить досягти бажаного ефекту в аналізованій проблемі – скороченні рівня споживання електричної енергії в оптимістичному варіанті на 35-40%, в песимістичному – на 5-20%.

12. Результати досліджень у вигляді тестової моделі системи обліку, контролю, аналізування і управління рівнем електроенергоспоживання поетапно впроваджуються у практику роботи ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», а також використовуються ДП «Кривбаспроект» для тиражування її в проекти реконструкції інших залізорудних підприємств України, а також використовуються в навчальному процесі рядом кафедр електротехнічного факультету Криворізького національного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Синчук И.О. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья. Монография [Текст] / И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко; под ред. докт. техн. наук, профессора О.Н. Синчука. – Кременчук : Изд. ЧП Щербатых А.В., 2015. – 296 с. – ISBN 978-617-639-072-5

2. Синчук О.Н. Оценка состояния и определения тактики повышения эффективности работы участковых подстанций железорудных шахт [Текст] / О.Н. Синчук, Р.А. Лесной, Р.А. Пархоменко, А.Н. Яловая // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград : КНТУ, 2012. – № 25, частина II. – С. 248 – 254. – ISSN 2409 – 9392.

3. Синчук О.Н. «Холодный» резерв недогруженных силовых трансформаторов – путь повышения эффективности электроснабжения железорудных комбинатов [Текст] / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Р.А. Лесной, А.Н. Яловая // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград : КНТУ, 2012. – № 25, частина II. – С.74-79. – ISSN 2409 – 9392.

4. Сінчук І.О. До питання розбудови структури служби енергоменеджменту гірничорудного комбінату [Текст] / І.О. Сінчук, К.П. Богодист, А.М. Ялова // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград : КНТУ, 2012 – № 25, частина II. – С.126-132. – ISSN 2409 – 9392.

5. Сінчук О.М. Метод оцінювання ефективності споживання електричної енергії залізорудними підприємствами [Текст] / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, Т.М.

Берідзе, А.М. Ялова // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса : Одеський НПУ, 2013. – С. 49-57. – ISSN 2221 – 3805.

6. Синчук О.Н. Оценка потенциала и тактика повышения энергоэффективности подземных железорудных производств [Текст] / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, М.А. Баулина // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков : ЧП «Технологический центр», 2014. – с. 34-39. – ISSN 2226 – 3780.

7. Сінчук І.О. До реалізацій розбудови служби енергоменеджменту гірничорудного комбінату [Текст] / І.О. Сінчук, К.П. Богодист, А.М. Ялова, М.А. Бауліна // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг : КНУ, 2014. – № 36. – С. 241-246. – ISSN 2306 – 5451.

8. Сінчук О.М. До проблеми ефективності споживання електричної енергії залізородними підприємствами [Текст] / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, Т.М. Берідзе, А.М. Ялова // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг : КНУ, 2014 – № 36. - С.160-167. – ISSN 2306 – 5451.

9. Ялова А.М. Споживання електричної енергії та вплив на цей процес системи чинників формування факторного простору в умовах залізородних підприємств [Текст] // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград : КНТУ, 2014 – № 27, частина II. – С. 339-349. – ISSN 2409 – 9392.

10. Сінчук О.М. Система чинників формування факторного простору і процес споживання електричної енергії залізородними підприємствами [Текст] / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, А.М. Ялова, М.А. Віннік // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2015. – № 1/2015 (29). – С. 110-117. – ISSN 2072 – 2052, ISSN 2074 – 9937.

11. Сінчук О.М. Факторний простір і дослідження процесу споживання електричної енергії залізородними підприємствами [Текст] / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, А.М. Ялова, М.А. Віннік // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков: ЧП «Технологический центр», 2015. - № 2/1 (22) – С. 48-55. – ISSN 2226 – 3780.

12. Синчук И.О. Практика определения уровнем прогрессивного электропотребления горных предприятий с подземными видами добычи железорудного сырья [Текст] / И.О. Синчук, Т.М. Беридзе, А.Н. Яловая, М.А. Винник // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков: ЧП «Технологический центр», 2015. - № 4/1 (24) – С. 7-15. – ISSN 2226 – 3780. – ISSN 2226 – 3780.

13. Сінчук І.О. До оцінки впливу сезонності на рівні споживання електричної енергії підземним залізородним комбінатом [Текст] / І.О. Сінчук, Т.М. Берідзе, А.М. Ялова, М.А. Бауліна // Качество минерального сырья: материалы конференции. – Кривой Рог : КНУ, 2014. – С. 187-192. – ISBN 978 – 617 – 7250 – 05-9.

14. Яловая А.Н. Оценка эффективности вывода электрических недогруженных трансформаторов главных поверхностных подстанций

железородних комбінатів в «холодний» резерв [Текст] / А.Н. Ялова, М.А. Бауліна, // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів: матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ, 2013. – С. 170-171. – ISSN 2079 - 5106.

15. Пархоменко Р.А. К вопросу оценки процесса электропотребления горнорудных предприятий в условиях неопределенности и неполноты информации [Текст] / Р.А. Пархоменко, А.Н. Ялова, М.А. Бауліна // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів: матеріали конференції. – Кременчук : КрНУ, 2013. – С.190-191. – ISSN 2079 - 5106.

16. Синчук О.Н. К вопросу оценки потенциала электроэнергоэффективности подземных железорудных производств [Текст] / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Ялова // Оптимальне керування електроустановками: Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – С. 96. – ISSN 2307 - 5384.

17. Ялова А.М. Типологія ефективного керування процесом енергоспоживання підприємствами гірничого комплексу [Текст] / А.М. Ялова, М.А. Бауліна // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2014: матеріали конференції. – Київ : Національний технічний університет України «КПІ», 2014. – С. 72-73.

18. Синчук І.О. Вплив сезонності на споживання електричної енергії на залізородних підприємствах [Текст] / І.О. Синчук, Т.М. Берідзе, М.А. Бауліна, А.М. Ялова // Проблеми енергоресурсозабезпечення в електротехнічних системах: XVI Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали конференції. – Кременчук : КрНУ, 2014. – С. 281-283. – ISSN 2221 – 5160.

АНОТАЦІЯ

Ялова А.М. Електроенергоефективність і методи її підвищення при підземному способі видобутку залізородної сировини. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2016.

Дисертація присвячена питанням оцінювання електроенергетичного потенціалу та методам його реалізації в умовах вітчизняних залізородних підприємств з підземними способами видобутку залізородної сировини.. Доведено, що в силу специфіки технології видобутку ЗРС близько 90% споживаної енергії становить електрична енергія. При цьому, як і 40-50 років тому, рівні річних обсягів видобутої ЗРС не мають прямого зв'язку з обсягами споживання електричної енергії, а коефіцієнти кореляції між цими показниками протягом року змінюються в значному діапазоні з середньою різницею майже вдвічі.

Запропонований алгоритм розрахунку оцінки ефективності управління електроенергоспоживанням залізрудних підприємств містить перелік кроків, що визначають послідовність дій, реалізують побудову інтегрального показника. Він дозволяє проводити визначення необхідного рівня енергоспоживання, стадії життєвого циклу розвитку підприємства і здійснювати прогнозування зміни його до і після проведення реінжинірингу. При цьому при вирішенні практичних завдань його перевагою є відсутність конкретного числа рівня стійкості системи, що не є значущим, а являє інтерес лише загальна динаміка. При цьому нормальний рівень стійкості для кожного підприємства свій і пристосований до умов його функціонування.

Ключові слова: електрична енергія, залізрудні шахти, електроенергоефективність, потенціал, графіки споживання електричної енергії.

ABSTRACT

Jalovaja A. M. – Electric energy efficiency and methods of its improving for underground extraction of iron ore. A manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Science (Engineering) on Specialty 05.09.03 – electrotechnical complexes and systems. –Vinnytsia National Technical University. – Vinnytsia, 2016.

Dissertation devoted to evaluating the electricity potential and methods of its realization in the conditions of the domestic iron ore enterprise with underground methods of mining iron ore. It is proven that due to the nature of mining technology of iron ore about 90% of the consumed energy is electric energy. The levels and graphics of consumption of electric energy receivers of iron ore mines have a rapidly oscillatory character. At that as a 40-50 years ago the levels of annual output of iron ore have no direct value with the volume of consumption of electric energy, and the correlation coefficients between these indicators change by year in a large range , with an average difference of almost 2 times.

The proposed algorithm of calculating evaluating of the effectiveness control of electricity energy consumption iron ore enterprise have list of steps which determining the sequence of actions who's realizing the construction of integral index. It allows the determination of the required level of power consumption, life cycle stages of enterprise development, and to forecast its changes before and after the re-engineering. At the same time to solve practical problems of its advantage is the absence of a specific level of stability of the system, which is not significant, but is only interested in the overall dynamics. In this normal level of resistance for each company and adapted to your conditions of its operation.

Keywords: electric power, iron ore mines, the effectiveness of electro, electric energy efficiency potential, graphs of consumption of electrical energy.

АННОТАЦИЯ

Яловая А.Н. Электроэнергоэффективность и методы её повышения при подземном способе добычи железорудного сырья. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Винницкий национальный технический университет. – Винница, 2016.

Диссертация посвящена вопросам оценки электроэнергетического потенциала и методам его реализации в условиях отечественных железорудных предприятий с подземными способами добычи железорудного сырья (ЖРС). Подтверждено, что уровни потребления электрической энергии определяются в основном применяемой технологией добычи и доставки ЖРС на поверхность. Доказано, что в силу специфики технологии добычи ЖРС порядка 90% потребляемой энергии составляет электрическая энергия. При этом уровни и графики потребления электрической энергии приемниками железорудных предприятий носят резко колебательный характер. Основной акцент в анализе и поиске путей повышения электроэнергоэффективности добычи ЖРС должен быть сделан на основную технологическую ячейку – шахту. При этом, как и 40-50 лет тому назад, уровни годовых объёмов добываемого ЖРС не имеют прямой связи с объёмами потребления электрической энергии, а коэффициенты корреляции между этими показателями по годам изменяются в значительном диапазоне со средней разницей почти в 2 раза.

Базовым графиком потребления электрической энергии железорудных шахт, формирующим все остальные графики, предложено считать суточный, а основными потребителями-регуляторами электрической энергии – центральные компрессорные станции, главные водоотливные установки, скиповые подъёмы и вентиляторы главного проветривания.

Определение перспективных уровней электропотребления горных предприятий в условиях неопределённости и неполноты информации целесообразно выполнять с использованием полученных моделей электропотребления, синтезированных с применением теории факторного анализа (разложение Карунена-Лоэва, метод главных компонент). Применение указанных моделей позволяет выполнять эффективный прогноз уровней и режимов электропотребления с адаптацией при внесении дополнительных условий.

Установлено, что на процесс формирования графиков потребления электрической энергии горнорудных предприятий влияет сезонность. Решена проблема рационального сочетания во времени периода производства, времени потребления электроэнергии, а также влияние случайных факторов. Рассчитанные показатели сезонности позволяют разбить прогнозные значения уровней электроэнергопотребления.

Разработана для практической реализации методика экспертных оценок комплексного анализа факторов, определяющих влияние на эффективность управления потоками электроэнергетических ресурсов для железорудных шахт и включающая в себя пространство таких формирующих факторов как:

экономические, правовые, методологическое обеспечение, информационное обеспечение, организационные мероприятия, позволяет провести ранжирование выделенных составляющих и оценить степень их влияния. Наиболее важными составляющими являются экономические, правовые и методологические, которые в общем объеме составляют до 70 %.

Предложенный алгоритм расчета оценки эффективности управления электроэнергопотреблением железорудных предприятий содержит перечень шагов, определяющих последовательность действий реализующих построение интегрального показателя. Он позволяет проводить определение необходимого уровня энергопотребления, стадии жизненного цикла развития предприятия и осуществлять прогнозирование изменения его до и после проведения реинжиниринга. При этом при решении практических задач его преимуществом является отсутствие конкретного числа уровня устойчивости системы, что не является значимым, а представляет интерес лишь его общая динамика. При этом нормальный уровень устойчивости для каждого предприятия свой и приспособлен к условиям его функционирования. Установлено, что все выбранные факторы имеют разную силу воздействия на оценку прогноза уровня объема электропотребления предприятия. Поэтому при определении интегрального показателя целесообразно каждому фактору задать определенный вес. Данная процедура позволит не просто учесть предложенные факторы, а и учесть силу их влияния на эффективное управление процессом повышения электроэнергоэффективности предприятия. Для оценки эффективности управления электроэнергопотреблением предложено аналитическое описание дивергенции, что позволило получить описание траектории движения каждого влияющего фактора и, оценить динамические характеристики управления энергопотреблением железорудного предприятия.

Адаптация метода главных компонент к формированию множества факторов, которые определяют влияние на эффективность потребления электроэнергии железорудных шахт, позволила конкретизировать элементы множества: объем добычи полезного ископаемого, приток воды в шахту, расход сжатого воздуха, численность производственного персонала.

Авторский подход к комплексному решению задачи повышения электроэнергоэффективности добычи ЖРС путем применения системы контроля, оценки и управления этим процессом с учетом ранее обоснованных прогнозных технологических слагаемых позволит достичь желаемого эффекта в анализируемой проблеме – сокращении уровня потребления электрической энергии в оптимистическом варианте на 35 – 40%, в пессимистическом – на 5 – 20%.

Ключевые слова: электрическая энергия, железорудные шахты, электроэнергоэффективность, потенциал, графики потребления электрической энергии.

Підписано до друку 08. 02. 2016
Формат 60×84¹/32 Папір офсетний
Ум. друк.арк.09 Обл.вид.арк.1.04
Наклад 100 прим. Зам. № 11.02.2016

Віддруковано в Видавничому центрі
ДВНЗ «Криворізький національний університет»
м. Кривий Ріг, вул. XXII Партз'їзду, 11 Тел. 406-17-23
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4328 від 24.05.2012р.