

Є.К. БАБЕЦЬ, канд. техн. наук, проф., В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.,
Д.В. ХОРОЛЬСЬКИЙ, К.Г. ТІТОРЕНКО, пошукачі
НДГРІ ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ ДРОБАРНИХ ФАБРИК

Розроблено методи ситуаційного управління енергоспоживанням дробарного комплексу, сировина на який поступає з декількох кар'єрів, або дільниць. На базі експертних систем, розроблено технології ситуаційного аналізу електроспоживання процесів дроблення в періоди обмеження енергосистеми. Побудована архітектура інтелектуальної системи підтримки рішень та наведено результати імітаційного моделювання електроспоживання дробарної фабрики в періоди обмежень потужності енергосистеми. Доведено, що ситуаційна модель енергоспоживання дробарної фабрики з постачанням руди з чотирьох джерел дозволяє спроектувати сучасну інтелектуальну систему експертного оцінювання багатостадійного процесу дроблення в періоди «день», «ніч», «пік», «напівпік» на базі правил – продукцій, дерева рішень для системи прогнозування параметрів енергоспоживання і, яка забезпечує оптимальне оперативне управління технологічним процесом з гарантованим зменшенням питомих витрат електрики на одну тону дробленого продукту.

Визначено ознаки проблемних ситуацій, та побудовано моделі БД, БЗ, правила - продукції та множина управлінських рішень, щодо оцінки стану енергосистеми, обладнання дробарної фабрики, питомих витрат електроенергії та параметрів ефективного виробничого циклу технологічних процесів в періоди обмежень потужності енергосистеми.

Наведено приклади проектування експертних моделей для постановки задач прийняття рішень, і задач людиномашинного спілкування. Така технологія дозволяє моделювати в межах системи ІСУЕ - АСУТП весь спектр технологічних ситуацій, які виникають в процесі управління енергоспоживанням ДФ і процесами дроблення та здрібнення в різні періоди доби енергонавантаження системи.

Ключові слова: система, електропостачання, дробарна фабрика, правила - продукції, дерево рішень, експертна система.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними результатами. Основними завданнями гірничо-металургійного комплексу України на період 2016-2020 років є розробка оптимальних систем електроспоживання процесів виробництва продукції, пов'язаних з впровадженням інтелектуальних систем управління та прийняття управлінських рішень щодо мінімізації питомих витрат електрики на виробництво 1 т концентрату, обкотишів [1]. Внаслідок недостатнього рівня автоматизації і комп'ютеризації технологічних процесів дроблення, подрібнення та збагачення енергозабезпеченість вітчизняних гірничодобувних підприємствах істотно відстає від світового рівня. До 50 % основних витрат у собівартості гірничозбагачувального комбінату і 70-85 % витрат на електроенергію становлять технологічні процеси дроблення, здрібнення та збагачення. Тому енергозабезпечення визначено одним із пріоритетних напрямків державної політики України до 2030 р., а комплексне вирішення проблеми енергозбереження є одним із найбільш вірогідних для гірничо-металургійного комплексу (ГМК) шляхів успішного подолання економічної та енергетичної криз [2].

Аналіз досліджень та публікацій. Підвищення ефективності управління оптимізацією режимів роботи електроспоживання підприємств ГМК, в основу яких покладено математичні методи, моделі, алгоритми і сучасні системи менеджменту енергозабезпечення технологічних процесів дроблення та збагачення руди, які дозволяють звести до мінімуму штрафи за порушення встановлених лімітів на електричну потужність (активну й реактивну) і втрати продукції внаслідок не ефективного використання електроенергії є актуальною науковою проблемою.

Суттєвий вклад в удосконалення та впровадження методів управління електроспоживанням підприємств внесли роботи вітчизняних вчених П.П. Апенко, А.С. Волотковського, Г.Г. Півняка, В.М. Вінославського, Б.Н. Авілова-Карнаухова, А.В. Праховника, В.П. Розена, А.К. Шидловського, М.П. Ковалко. Детальний ретроспективний аналіз наукових праць з енергоефективності підприємств наведено в роботах [3-9] і свідчить про те, що проблема зменшення нерівномірності споживання електричної енергії, розроблення та удосконалення систем управління електроспоживанням підприємств в умовах невизначеності вихідної інформації є актуальною задачею їх енергоменеджменту та складає напрям досліджень даної статті авторів.

Постановка завдання. Метою статті є рішення актуальної наукової задачі автоматизованого управління траєкторією електроспоживання дробарної фабрики (ДФ) підприємства ГМК у

періоди обмежень енергосистеми з урахуванням технологічних ситуацій постачання сирової руди для її подрібнення.

Викладення матеріалу та результати. Сучасна автоматизована система управління електроспоживанням технологічних процесів дроблення руди на (ДФ) гірничо-металургійного комплексу України представляє собою багаторівневу людино-машину систему керування, в якій інтелектуальна система управління електроспоживанням (ІСУЕ) й АСУТПДФ утворюють узгоджену систему оперативного управління технологічним процесом з гарантованим зменшенням кількісних параметрів витрат електроенергії в періоди пікових навантажень енергосистеми [9].

Новизна алгоритмів полягає у тому, що оптимізація режимів роботи обладнання ДФ в час пікових навантажень виконується за рахунок максимального використання резервів стадії дроблення по продуктивності, перерозподілу об'ємів перероблення і бункерних запасів матеріалу по інтервалах періоду оптимізації, коли зменшення продуктивності в часи «напівпіку» і «піку» енергосистеми компенсується підвищенням продуктивності в період «ніч» та «напівпік».

У результаті роботи ІСУЕ диспетчер одержує: інформацію про виробничі ситуації в електропостачанні ДФ в періоди обмежень енергосистеми; про очікувані зміни в схемі енергопостачання і відхилення параметрів режимів за допустимі межі; ІСУЕ рекомендує також управлінські рішення і результати їх реалізації, а також надає вказівки диспетчеру щодо покращення ступеня оптимальності режимів енергоспоживання.

Об'єктно-орієнтований підхід, використаний в ІСУЕ при розробці експертної системи (ЕС) прогнозування проблемних ситуацій, дає змогу диспетчеру виконувати оптимальне керування налагодженням чотирьох стадійного циклу дроблення - подрібнення і забезпечення в реальному масштабі часу виконання портфеля замовлень збагачувальної фабрики по системі точно - в термін подрібненої руди з класом +10 мм не більше заданого відсотка. Крім цього ІСУЕ дозволяє:

оптимізувати енергоспоживання дробарної та збагачувальної фабрик за тризонними тарифами в різні періоди навантаження енергосистеми;

довести питомі затрати електроенергії на виробництво 1 т концентрату до $e_{\text{опт}}$;

оптимізувати роботу дробарної фабрики в періоди максимального навантаження енергосистеми, у напівпіковий період і нічного мінімального навантаження енергосистеми з врахуванням проблемної ситуації. При цьому ІСУЕ оцінює: продуктивність рудного постачання; збурення - гранулометричний склад вхідної руди, її міцності ρ , стан футеровок конусних дробарок тощо;

В базу правил (БП) ІСУЕ введено критерій - «ефективний виробничий цикл» (manufacturing cycle effectiveness, MCE) [10], який розраховується за формулою

$$MCE = \frac{\text{час виробництва потрібного продукту до класу } +10\text{мм}}{\text{тривалість загального виробничого циклу}}. \quad (1)$$

Для оцінки параметрів енергоспоживання ДФ і параметрів руди що надходять на дробарний комплекс ПАТ «ЦГЗК» з трьох кар'єрів (Петрівського, Глеюватського, Артемівського) і шахти ім. Орджонікідзе розроблено п'ять атрибутів, яким відповідно до нечіткої логіки будемо надавати такі значення електроспоживання, як високий, норма, вище норми, нижче норми.

Як атрибути візьмемо найбільш значимі щодо прогнозування чинників електроспоживання:

Добовий період роботи дробарної фабрики (добовий графік потужності).

Продуктивність процесу дроблення.

Міцність сирової руди.

Надійність обладнання.

Персонал електропостачання ДФ. Нехай структура називається «електроспоживання», необхідно створити ЕС. З використанням значення факторів на означений день, наприклад 18 березня 2016 р., сира руда в цей день надходила з трьох кар'єрів у такі періоди роботи ДФ:

3 0 год до 8 год ранку - з Петрівського кар'єру;

3 9 год ранку до 14 год доби Глеюватського кар'єру;

3 14 год до 20 год ночі з Артемівського кар'єру;

Після 21 години ночі до 7 годин ранку сира руда надходила з шахти ім. «Орджонікідзе».

Організаційно в роботі ДФ ПАТ «ЦГЗК» введено два ремонтних періоди з 7 до 8 годин ранку і з 20 до 21 години вечора, коли електроспоживання мінімальне, а $P_{з.м} \in P_{зад.реж.рем}$ його обладнання відповідає $P_{зад.реж.рем}$ потужності заданого режиму ремонтом і профілактикою електротехнічного і механічного обладнання, переналагодженням розміру розвантажувальних щілин КД і частоти хитань її рухливого конусу V тощо.

Запишемо функцію створення об'єктів енергоспоживання:

Створити - об'єкт (ім'я - структури - електроспоживання, ім'я - об'єкту = Петровський кар'єр, = рівень питомих витрат електроенергії більше $e_{опт}$, = руда більшої міцності, = крупність більше норми, = потужність максимальна = налагодження дробарного комплексу на $Q_{др}$ "норма", МСЕ \rightarrow до 1);

Отже, коли на переробку в період з 0 год до 8 годин надходила сира руда із Петровського кар'єру, то дробарно-збагачувальний комплекс працював із вихідними параметрами $e_{пит.витр} \rightarrow$ |більші $e_{опт}$ ч/т концентрату, а текстурні характеристики руди віднесені до дуже міцних, гранулометричний склад вхідної руди $\gamma_{вх} \in \gamma_{вх}$ більше норми, але $\gamma_{вх}$ задовольняє портфелю замовлення збагачувальної фабрики; Електроспоживання відповідає 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23 до 7 годин), а електроспоживання ДФ близько норми, а МСЕ наближається до 1.

Створити - об'єкт (ім'я структури електроспоживання, ім'я об'єкту = Глеюватський кар'єр = рівень питомих витрат електроенергії більше $e_{опт}$, = руда найбільшої міцності = крупність значно більше норми = потужність більше заданих значень = налагодження дробарного комплексу: зменшити $Q_{ор}$ норма на $\Delta Q_{ор} \in 10$ т/год. = інакше електроспоживання «аварія», а МСЕ стає більше 1;

Отже, коли на переробку в період з 9 години ранку до 14 години дня руда надходить з Глеюватського кар'єру, то дробарно-збагачувальний комплекс буде працювати із вихідними параметрами $e_{пит.витр} \rightarrow$ |більше/дорівнює $e_{пот1}$ ч/т концентрату |, а текстурні характеристики руди віднесені до найміцніших, гранулометричний склад не відповідає вимогам портфелю замовлень збагачувальної фабрики.

Режим електроспоживання в період пікових навантажень до 11 годин дня близько до норми, з оплатою 1,5 тарифу в години максимального навантаження енергосистеми.

Створити об'єкт (ім'я структури електроспоживання, ім'я об'єкту - Артемівський кар'єр = рівень питомих витрат електроенергії менше $e_{пот2}$ = руда найменшої міцності = крупність відповідає технологічній карті дроблення = потужність відповідає оптимальним режимам дроблення = налагодження дробарного комплексу): збільшити норма на 10 т/год. = електроспоживання «норма», а МСЕ значно менше 1.

Отже, коли на переробку в період з 14 до 20 годин руда в дробарний комплекс надходить з Артемівського кар'єру, то дробарно-збагачувальний комплекс буде працювати із прогнозним параметром $e_{пит.витр} \rightarrow$ |менше $e_{пот2}$ ч/т концентрату|, а МСЕ знаходиться в межах 0,9-0,95.

При цьому портфель замовлень на подрібнену руду із класом +10 мм буде відповідати технологічним характеристикам збагачувальної фабрики, а затрати на електроенергію - будуть відповідати повному тарифу у «напівпіковий» період навантаження енергосистеми.

Створити об'єкт (ім'я структури електроспоживання, ім'я об'єкту = аглоруда = шахта Орджонікідзе, рівень питомих енерговитрат біля норми = руда середньої міцності = крупність відповідає технологічній карті дроблення = потужність відповідає оптимальним режимам дроблення = команда = «так держати».

Отже, коли на переробку в період з 21 години ночі до 7 годин ранку аглоруда надходить на ДФ, то дробарно-збагачувальний комплекс буде працювати із прогнозним параметром $e_{пит.витр} \rightarrow e_{опт}$ год/т, а сумарні витрати електроенергії відповідають 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми.

Після створення об'єкту перейдемо до побудови Бази знань (БЗ). Презентуємо БЗ у вигляді дерева рішень, а після того перетворимо його у правила «Якщо - то». Дерево рішень наведено на рис. 1 з правилами логічного виводу: А,Б,В,Г,Д,Е.

Запишемо ці правила - продукції у вигляді:

Якщо «Руда Петровського кар'єру», «час 0-8 годин доби», руда вище норми міцності, то електроспоживання вище норми; Рекомендація контроль МСЕ.

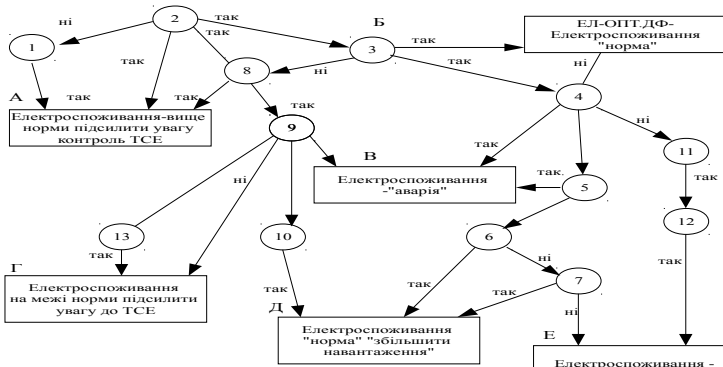


Рис. 1. Дерево рішень для системи прогнозування параметрів енергопостачання: 1 - руда Петрівського кар'єру; 2 - час роботи з 0-8 години; 3 - потужність максимальна; 4 - міцність руди максимальна; 5 - крупність Глеюватського кар'єру більше норм; 6 - продуктивність "норма"; 7 - час роботи з 14 до 20 години; 8 - міцність руди "норма"; 9 - час роботи з 9 до 14 години дня; 10 - руда Артемівського кар'єру; 11 - руда шах.м.Орджонікідзе час роботи 21година ночі до 7 години ранку; 12 - потужність відповідає "норма"; 13 - руда із двох кар'єрів надходить почергово

із Петрівського і Артемівського кар'єрів з 9 до 14 години дня

Якщо «Руда Глеюватського кар'єру», «час 9-14 годин доби», руда «найбільшої міцності», то електроспоживання «Аварія»; Рекомендація: «зупинити процес».

Якщо «Руда Артемівського кар'єру», «час 14-20 годин доби», руда «найбільшої міцності», то електроспоживання «норма»; Рекомендація збільшити навантаження на 10 т/год.

Якщо «Руда шахти «Орджонікідзе», «час 21 до 7 годин ранку», то електроспоживання «норма»; Рекомендація «так держати»

Якщо «руда надходить із двох кар'єрів почергово», «час з 9 до 14 годин дня», то «Електроспоживання на межі норми». Рекомендація - підсилити увагу до чинників «потужність» і МСЕ.

Якщо «руда надходить почасово із кар'єра Глеюватка і шахти Орджонікідзе» в часи денної зміни з 9 до 14 годин, то електроспоживання «норма». Рекомендація контроль МСЕ.

На рис. 2 наведено архітектуру експертної системи.

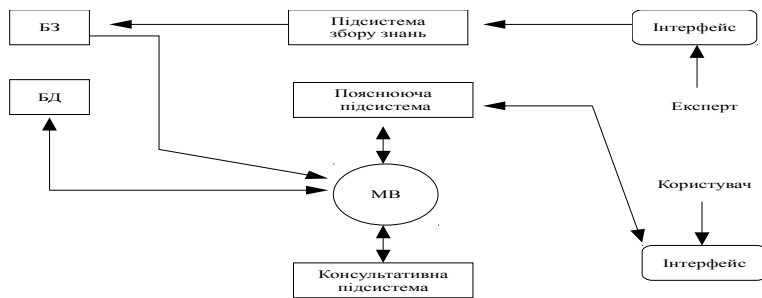


Рис. 2. Архітектура експертної системи

В ЕС є виконавче ядро системи, яке побудоване з метою моніторингу, прийняття рішень і діалогу з диспетчером ДФ, у вигляді вище записаних правил продукції. Для управління і оптимізації процесів енергоспоживання ДФ пропонуємо наступну архітектуру експертної системи:

БЗ - база знань, яка використовується для збереження знань про предметну область;

механізм виведення (МВ), який використовується для співставлення з станом електроспоживання (пошуковий підхід);

БД - база даних (робоча пам'ять), яку використовують для збереження основних факторів про роботу енергосистеми, процесів дроблення, алгоритмів оптимізації енергоспоживання;

пояснююча підсистема, яка дозволяє користувачу на питання чому знати, як і чому система надала таке рішення, а на питання як знати, як система прийшла до такого висновку (рішення);

підсистема визначення знань, яка представляє можливості поновлення або модифікації бази знань;

інтерфейси користувача - один для доступу до БЗ через модуль визначення знань, а інший - для користування системою, що бажають одержати доступ до неї у консультативному режимі.

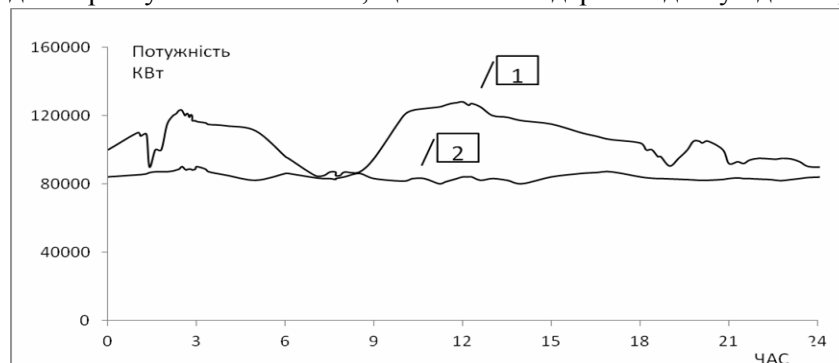


Рис. 3. Добовий графік споживання електричної потужності: 1 - з диспетчером; 2 - система ІСУЕ-ДИСПЕТЧЕР

На рис. 3. наведено графіки добового електропоживання електричної потужності дробарного комплексу ПАТ»ЦГЗК» з диспетчерським управлінням (графік 1) та системою ІСУЕ - диспетчер (графік

2), що свідчить про ефективність використання такого методу управління електроспоживанням дробарних фабрик [6].

У системі ІСУЕ дробарних фабрик використано елементну базу SCADA - систем та сенсори вимірювання потужності, напруги та струму [11,12].

Висновки та напрямки подальших досліджень. Розроблена архітектура інтелектуальної системи прийняття рішень для диспетчерського управління енергоспоживанням дробарної фабрики. Визначені ознаки проблемних ситуацій, побудовані моделі БД, БЗ, правила - продукції та множина управлінських рішень, щодо оцінки стану енергосистеми, обладнання дробарної фабрики, питомих витрат електроенергії та параметрів ефективного виробничого циклу технологічних процесів в періоди обмежень потужності енергосистеми.

Наведено приклади проектування експертних моделей для постановки задач прийняття рішень, і задач людино-машинного спілкування. Така технологія дозволяє моделювати в межах системи ІСУЕ - АСУТП весь спектр технологічних ситуацій, які виникають в процесі управління енергоспоживанням ДФ і процесами дроблення та здрібнення в різні періоди доби енергонавантаження системи.

Список літератури

1. **Хорольський В.П.** Багаторівнева інтелектуальна система оптимізації електроспоживання гірничо-збагачувальних підприємств / **В.П.Хорольський, Д.В. Хорольський, К.Г.Тігоренко** // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2015 - №2. - С.192-198.
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року/ Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 №145 – р.
3. **Авилов - Карнаухов Б.Н.** Економія електроенергії на рудо-обогатительних фабриках / **Б.Н. Авиллов - Карнаухов.** – М.: Недра, 1987. – 159 с.
4. Автоматизация проектирования систем электроснабжения / **В. Н. Винославский, В. И. Тарадай, У. Бутц, Д. Хайнуе.** - К.: Виша шк. Главное изд-во, 1988. - 208 с.
5. Електрифікація гірничого виробництва: Підручник у 2-х томах За редакцією **Л.О. Пучкова, Г.Г. Півняка.** - Дніпропетровськ, 2010.
6. Електрифікація фабрик агломерации и окомкования руд черных металлов: Справочное пособие **В.П. Апенко, С.А. Волотковский, М.И. Скляр, В.М. Торгаев.** - М.: «Недра», 1976. - 151с.
7. Енергозбереження - пріоритетний напрямок державної політики України / **Ковалко М.П, Денесюк С.П.;** Відпов. ред. **Шидловський А.К.** – Київ УЕЗ, 1998 - 506 с.
8. **Праховник А.В.** Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий / **В.П.Розен, В.В. Дегтярев** - М.: Недра, 1985. - 232 с.
9. **Хорольський В.П.** Автоматизована система управління електроспоживанням збагачувальної фабрики підприємства гірничо-металургійного комплексу/ **В.П. Хорольський, Д.В. Хорольський, К.Г. Тігоренко** // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015-№5. - С. 86-92.
10. The balanced scorecard. Translating Strategy into Action/ **Robert S. Kaplan, David P. Norton.** Harvard Business School Press., 2003, 282 pp.
11. PIC16F87* 28/40pin 8-bit CMOS flash Microcontrollers. Data Sheet DC 30292C. - Microchip Technology Inc., 2002 - 184 p.
12. PIC18FXX2. High performance, enhanced flash Microcontrollers with 10-bit A/D. Data Sheet DS 30564A. - Microchip Technology Inc., 2003 – 299 p.

Рукопис подано до редакції 07.04.16

УДК [622.831: 622.272/.273.1]: 622.341.1

В. В. ЦАРИКОВСКИЙ, д-р техн. наук, **Т.Т. СЕДУНОВА**,
Вал. **В. ЦАРИКОВСКИЙ**, канд.техн. наук, НИГРИ ГВУЗ «КНУ»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ И ПОРЯДКОВ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОТБОЙКЕ МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ ШАХТЫ им. ОРДЖОНИКИДЗЕ ПАО «ЦГОК»

Приведены результаты исследований влияния порядков отработки запасов магнетитовых кварцитов и объемов взрывааемых взрывчатых веществ в одном замедлении на интенсивность колебаний земной поверхности, прилегающей к шахтному полю.

Указанные исследования обусловлены спецификой условий отработки магнетитовых кварцитов заключающейся, с одной стороны, в том, что на земной поверхности, прилегающей к шахтному полю, расположены многоэтажные