

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОГОДНИХ УМОВ НА ДИНАМІКУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ

*Д. В. Кочура, аспірант, НТУ «Дніпровська політехніка»,
kochura.de.v@nmu.one, orcid.org/0000-0002-1639-6578*

Методологія досліджень. Експериментальні дослідження спектральної щільності електричної активної потужності, що споживається гірничо-збагачувальним комбінатом у зимовий та літній періоди, виконані методами статистичної динаміки. Аналіз та економічну оцінку динаміки енергоспоживання та витрат електроенергії, що визначаються роботою підрозділів гірничо-збагачувального комбінату, виконано методами економіки підприємства та енергоменеджменту.

Результати. У статті обґрунтовано методичний підхід до оцінювання економічної ефективності заходів з покращення динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комбінату, що функціонує за різних погодних умовах. Створено економіко-математичну модель зв'язку між динамікою енергоспоживання та витратами гірничо-збагачувального комбінату на електроенергію, величина яких визначається роботою гірничотранспортного комплексу, дробарної та збагачувальної фабрики.

Новизна. Встановлена залежність вартості динамічної складової електричної енергії, що визначається роботою окремих підрозділів гірничо-збагачувального комбінату від ритмічності його роботи в різних погодних умовах.

Практична значущість. Розроблена методика економічної оцінки ефективності роботи кожного підрозділу гірничо-збагачувального комбінату, а саме гірничотранспортного комплексу, дробарної та збагачувальної фабрик з метою зменшення витрат на електроенергію за рахунок покращення динаміки енергоспоживання.

Ключові слова: енергозбереження, гірничо-рудні підприємства, енергоспоживання, економічна оцінка.

Постановка проблеми. Гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК) по добутку та збагаченню руд чорних та кольорових металів в значній мірі формують сировинну базу та експортний потенціал економіки України. Ці підприємства є дуже енергоємні. Наприклад, встановлена потужність технологічного обладнання одного Криворізького ГЗК становлює біля 1 млн. квт. Витрати на електроенергію в структурі собівартості залізрудного концентрату становлять біля 50 відсотків. Динамічна складова електричної енергії складає 20% - 30% від загального енергоспоживання ГЗК. Ефективність традиційних методів енергозбереження таких як встановлення нового енергоефективного обладнання, облік та контроль електроенергії, ад-

міністративні заходи визначаються за загальною кількістю електричної енергії, що була спожита за конкретний звітний період. Такий підхід не враховує динаміку енергоспоживання що визначається роботою підрозділів гірничо-збагачувального комбіната, таких як гірничо-транспортний комплекс, дробарна та збагачувальна фабрики. Це не дає можливості оцінити ефективність заходів по енергозбереженню окремих підрозділів ГЗК, що направлені на покращення ритмічності виробництва, організацію гірничих робіт, доставку руди в різних погодних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У більшості робіт по енергозбереженню на підприємствах пропонується проводити оцінку економічної ефективності заходів по енергозбереженню на основі аналізу

загального енергоспоживання на підприємстві. Тобто економічна ефективність заходів по енергозбереженню на підприємстві оцінюється по формулі:

$$C = E(K_1 + K_2 + K_3), \quad (1)$$

де K_1 – тарифний коефіцієнт вартості 1Мвт*год електроенергії;

K_2 – тарифний коефіцієнт за доставку 1Мвт*год електроенергії;

K_3 – тарифний коефіцієнт за розподіл 1Мвт*год електроенергії;

E – кількість зекономленої електроенергії підприємством за звітний період.

Недоліком цього методу є те, що в загальному економічному ефекті не видно як за рахунок покращення динаміки енергоспоживання отримано економічний ефект та який вклад в цей ефект було зроблено підрозділами підприємства. Для гірничо-збагачувальних комбінатів підрозділами є гірничо-транспортний комплекс, дробарна та збагачувальна фабрики.

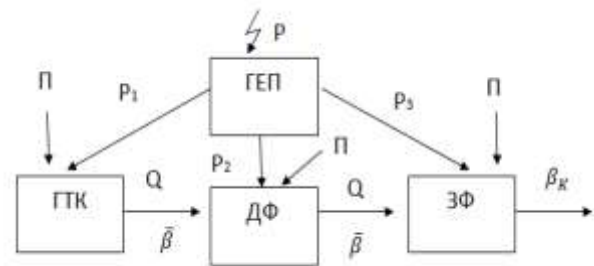
На гірничо-збагачувальних підприємствах корпорації Метінвест за виконання заходів по енергозбереженню рекомендовано підвищувати заробітну платню персоналу на 5,10,15 відсотків в залежності від кваліфікації. Рішення про підвищення зарплати приймається адміністрацією підприємства. Цей метод також не дозволяє оцінити вклад кожного підрозділу та оперативного персоналу в заходи по покращенню динаміки енергоспоживання. В роботі [7] показано що зниження витрат електроенергії можливо за рахунок суміщення у часі графіків рудопостачання на дробарну фабрику та багатозонального тарифу на електроенергію. В результаті дослідження методом імітаційного моделювання було визначено вплив на споживання електроенергії тільки одного параметру – періоду подачі руди на дробарну фабрику, цей результат не має загального характеру для ГЗК.

В роботах [3], [5] показано вплив ритмічності виробництва на показники роботи гірничо-збагачувального комбінату таких як кількість та якість концентрату. Але вплив ритмічності роботи в різних погодних умовах на динаміку енергоспоживання ніде не розглядався. Але відомо [5], що ритмічність

залежить від організації та планування роботи гірничо-транспортного комплексу.

Формулювання мети статті. Метою роботи є наукове обґрунтування методики оцінки економічної ефективності заходів по покращенню динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комбінату в різних погодних умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо схему енергоспоживання гірничо-збагачувального комбінату, наведену на малюнку 1.



Мал.1 Схема енергоспоживання ГЗК.

Позначення на мал.1:

ГТК – гірничо-транспортний комплекс;

ДФ – дробарна фабрика;

ЗФ – збагачувальна фабрика;

ГЕП – головна електрична підстанція;

P, P_1, P_2, P_3 – електричні потужності, що споживаються відповідно ГЗК, ГТК, ДФ, ЗФ;

Q – продуктивність ГТК та ДФ по руді;

$\bar{\beta}$ – вектор показника якості руди.

β_k – масова доля заліза в концентраті.

Кожен підрозділ ГЗК має свій технологічний режим та ритмічність роботи, яка залежить від погодних умов.

Продуктивність по руді та показники якості руди, такі як крупність, твердість, збагачуємість змінюються згідно із природними та погодними умовами, графіками проведення гірничих робіт, логістикою роботи транспортного цеху, режимів загрузки бункерів ДФ та ЗФ.

У зв'язку з цим змінюються режими енергоспоживання ГТК, ДФ, ЗФ та ГЗК у цілому.

Активні потужності $P_1(t), P_2(t), P_3(t)$ являють собою нестационарні випадкові процеси як функції часу t .

Нестационарним випадковим процесом є і активна потужність $P(t)$, що споживається ГЗК:

$$P(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t), \quad (2)$$

Для можливості використання теорії стаціонарних випадкових процесів необхідно центрувати випадковий процес.

$$P^0(t) = P(t) - \bar{P}(t), \quad (3)$$

де $P^0(t)$ - центрований випадковий процес зміни активної потужності, що характеризує динаміку енергоспоживання; $\bar{P}(t)$ - математичне очікування випадкового процесу $P(t)$.

Розглянемо заходи по енергозбереженню, які впливають на динаміку енергоспоживання і зменшують динамічну складову активної потужності та динамічну складову електричної енергії E^0 , що споживається:

$$E^0 = \int_0^T P^0(t) dt, \quad (4)$$

де T – час спостереження або період звітності.

Ритмічність роботи гірничо-збагачувального комбінату залежить від цілої низки факторів, що впливають на роботу гірничо-транспортного комплексу, дробарної та збагачувальної фабрик. Розглянемо ці заходи окремо по підрозділах ГЗК.

Заходи по зменшенню динамічної складової електричної енергії, що споживається за рахунок роботи гірничо-транспортного комплексу:

- чітке планування та витримування змінно-добових, тижневих, місячних графіків добичі та постачання руди;

- оптимізація постачання руди на дробарну фабрику автомобільним та залізничним транспортом;

- організація ритмічної роботи гірничого та транспортного обладнання в кар'єрі.

Заходи по енергозбереженню на дробарній фабриці:

- підтримування постійної кількості залізничних думпкарів та самоскидів з рудою, що завантажуються в дробарку крупношматкового дроблення під час зміни;

- організація ритмічної подачі залізничних думпкарів та самоскидів з рудою у

часі з заданим інтервалом під розвантаження в дробарку;

- використання режимів дроблення «під завалом».

Заходи по енергозбереженню на збагачувальній фабриці:

- витримування спеціальних режимів завантаження рудою бункерів збагачувальної фабрики;

- підтримування ритмічної роботи збагачувального технологічного обладнання;

- автоматизація технологічних процесів;

- підтримування оптимального завантаження рудою млинів;

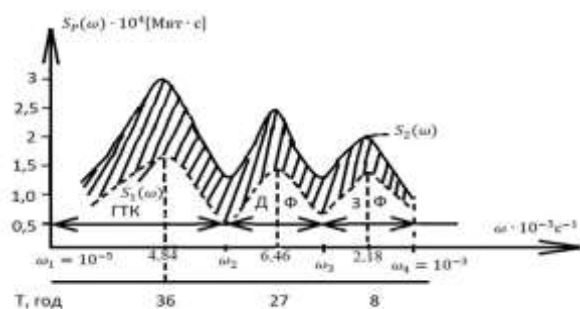
- забезпечення завантаження головного конвейера, що подає руду в бункера збагачувальної фабрики;

- витримування графіків планово-переджувальних ремонтів технологічного обладнання;

- мінімізація простоїв технологічного обладнання.

Відомо, що в зимовий період ритмічність обладнання ГЗК гірше ніж в інші сезони. Взимку складніше виконувати організаційні, технологічні та технічні заходи по забезпеченню нормальної роботи кар'єру, транспортного комплексу, дробарної, збагачувальної фабрик та заходи по енергозбереженню. Виконаємо дослідження впливу погодних умов на динаміку електроспоживання ГЗК.

Виконаємо спектральний аналіз активної потужності, що споживається гірничо-збагачувальним комбінатом методом швидкого перетворювання Фур'є [12] за даними проф. Марюти А. Н. [8], що були оброблені методом експоненціального згладжування. Результати аналізу наведені на мал.2



Мал. 2 Спектральні щільності динамічної складової активної потужності

де T – період коливань активної потужності;

ω – кутова частота коливань активної потужності;

$(\omega_2 - \omega_1)$ – діапазон частот, що визначається роботою гірничо-транспортного комплексу;

$(\omega_3 - \omega_2)$ – діапазон частот, що визначається роботою дробарної фабрики;

$(\omega_4 - \omega_3)$ – діапазон частот, що визначається роботою збагачувальної фабрики.

На мал. 2 крива $S_1(\omega)$ відповідає спектральній щільності активної потужності, що одержана влітку при ритмічній роботі ГЗК. Крива $S_2(\omega)$ відповідає спектральній щільності, активної потужності, що одержана взимку коли внаслідок погодних умов було трудніше організувати ритмічну роботу ГЗК та виконання заходів по енергозбереженню.

Відомо [12], що спектральна щільність електричної активної потужності характеризує електричну енергію у відповідному частотному діапазоні.

Тобто динамічна частина електричної енергії, що споживається ГЗК і визначається роботою гірничо-транспортного комплексу за період часу T :

$$E_{ГТК} = T \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_P(\omega) d\omega. \quad (5)$$

Динамічна частина електричної енергії, що провокується роботою дробарної фабрики:

$$E_{ДФ} = T \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_P(\omega) d\omega. \quad (6)$$

Динамічна частина електричної енергії, що провокується роботою збагачувальної фабрики:

$$E_{ЗФ} = T \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_P(\omega) d\omega. \quad (7)$$

На мал.2 заштрихована область пропорційна різниці динамічної частини активної потужності, що споживається ГЗК взимку та влітку.

$$\Delta P_{ГЗК} = \int_{\omega_1}^{\omega_4} S_2(\omega) d\omega - \int_{\omega_1}^{\omega_4} S_1(\omega) d\omega. \quad (8)$$

Різниця споживання динамічної частини електричної енергії ГЗК взимку та влітку буде:

$$\Delta E_{ГЗК} = T \Delta P_{ГЗК} \quad (9)$$

де $T = 720$ годин (дорівнює періоду спостереження 30 діб)

За даними спектральних щільностей $S_1(\omega)$ та $S_2(\omega)$ зробимо економічну оцінку динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комбінату в зимовий та літній періоди роботи.

Формула розрахунку вартості різниці динамічної частини споживаної електроенергії за зимовий та літній місяці:

$$\Delta C_E = \Delta E * K_E, \quad (10)$$

де K_E – тарифний коефіцієнт за даними ПРАТ ДТЕК у 2022,

$$K_E = 1680 \frac{\text{грн}}{\text{Мвт*год}};$$

ΔE – різниця між споживанням взимку та влітку.

Різниця вартості подачі електроенергії:

$$\Delta C_{П} = \Delta E * K_{П}, \quad (11)$$

де $K_{П}$ – тарифний коефіцієнт подачі електроенергії,

$$K_{П} = 345,64 \frac{\text{грн}}{\text{Мвт*год}}.$$

Різниця вартості розподілу електроенергії:

$$\Delta C_{Р} = \Delta E * K_{Р}, \quad (12)$$

де $K_{Р}$ – тарифний коефіцієнт подачі електроенергії,

$$K_{Р} = 783,32 \frac{\text{грн}}{\text{Мвт*год}}$$

Для гірничо-транспортного комплексу:

$$\Delta E_{ГТК} = T \left(\int_{\omega_1}^{\omega_2} S_2(\omega) d\omega - \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_1(\omega) d\omega \right). \quad (13)$$

Для дробарної фабрики:

$$\Delta E_{ДФ} = T \left(\int_{\omega_2}^{\omega_3} S_2(\omega) d\omega - \int_{\omega_2}^{\omega_3} S_1(\omega) d\omega \right). \quad (14)$$

Для збагачувальної фабрики:

$$\Delta E_{3\Phi} = T \left(\int_{\omega_3}^{\omega_4} S_2(\omega) d\omega - \int_{\omega_3}^{\omega_4} S_1(\omega) d\omega \right). \quad (15)$$

Підставляємо результати розрахунків за формулами (13), (14), (15) в формули (10), (11), (12) та розраховуємо вартості різниці динамічної частини електроенергії, доставки та розподілу цієї електроенергії для кожного підрозділу ГЗК та ГЗК вцілому ΔC_E , ΔC_{Π} , ΔC_P .

Загальна різниця між вартістю динамічної частини електроенергії взимку та влітку з урахуванням вартості доставки та розподілу електроенергії:

$$\Delta C = \Delta C_E + \Delta C_{\Pi} + \Delta C_P. \quad (16)$$

Результати розрахунків зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники ефективності заходів забезпечення ритмічності роботи та динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комбінату

	ΔP , МВТ	ΔE , МВТ*ч	ΔC_E , ₴	ΔC_{Π} , ₴	ΔC_P , ₴	ΔC , ₴
ГТК	8,58	6177,6	10378368	2135225	4839037	17352630
ДФ	6,24	4492,8	7547904	1552891	3519300	12620095
ЗФ	4,29	3088,8	5189184	1067612	2419518	8676314
ГЗК	19,11	13759,2	23115456	4755728	10777855	38649039

За формулами (5) - (16) можливо оцінювати також економічну ефективність заходів по управлінню динамікою енергоспоживання підрозділів гірничо-збагачувального комбінату.

Висновки. Аналіз результатів дослідження дозволяє зробити наступні висновки:

– погодні умови та ритмічність виробництва впливають на динаміку енергоспоживання та вартість електроенергії, що споживається гірничо-збагачувальним комбінатом та його підрозділами;

– спектральна щільність електричної активної потужності, що споживається гірничо-збагачувальним комбінатом дозволяє визначити ефективність заходів по забезпеченню ритмічності роботи та динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комбінату.

Напрямки подальших досліджень спрямовані на наукове обґрунтування заходів по покращенню динаміки енергоспоживання, економії електроенергії підрозділами гірничо-збагачувального комбінату та матеріальному стимулюванню динаміки енергоспоживання шляхом удосконалення розрахунків по заробітній платні.

Література

1. Новожилов М.Г., Ройзен Я.Ш., Эрперт А.М. Качество рудного сырья чёрной металлургии. М.: Недра, 1977. 415 с
2. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров. М.: Недра, 1991. 239 с.
3. Пивень В.А., Романенко А.В., Шепель В.В. [и др.] Исследование влияния колеблемости качественных параметров рудопотоков карьера на эффективность обогащения железных руд. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2007. 2(241). С. 67-71.
4. Младацкий И.К., Тюря Ю.И. Влияние дисперсий и средних значений показателей качества исходной руды на среднее значение показателей и дисперсию качества концентрата. *Збагачення корисних копалин*. 2009. №38(79). С. 29-37.
5. Сергеев И.В., Молодцова Л.Д., Чердниченко Ю.В. Влияние ритмичности работы предприятия на качество добываемой руды. *Горный журнал*. 1973. №10. С. 13-14.
6. Белкіна, І.А. Моделювання впливу обсягів партій поставок руди на собівартість концентрату. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 3. С. 52-55.
7. Lane G.R. Implementation of an economic model at Gold Fields Limited/ G.R. Lane, J.H.K. Hudson, and E. Bondi // *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. - 2006 –vol.106, №12 - pp. 807-812.
8. Марюта О.М. Інформаційний системний аналіз виробничо-економічних об'єктів. Дніпропетровськ: Дніпропетровське видавництво ДДУ, 1995. 230 с.
9. Гаренко А.А., Кочура Є.В. Формування собівартості продукції дробарних фабрик в умовах багато загального тарифу на електроенергію: Монографія.. Д. Національний гірничий університет, 2012. 146 с.
10. Everett, J.E. (2001). «Iron ore production scheduling to improve product quality,» *European Journal of Operational Research*, Elsevier, vol. 129(2), pages 355-361, March.
11. Everett, J. (2010). Simulation Modeling of an Iron Ore Operation to Enable Informed Planning. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*. - 2010 - № 5, p. 101-114
12. Гихман И.И., Скороход А.В. Введение в теорию случайных процессов. Киев, 1976. 569 с.

References

1. Novozhilov, M.G., & Roizen, Ya.Sh., & Erpert, A.M. (1977). *Kachestvo rudnoho syria chernoy metalurgii*. Moskva: Nedra.
2. Byzov, V.F. (1991). *Upravlenie kachestvom produktii karierov*. Moskva: Nedra.
3. Piven, V.A., Romanenko, A.V., & Shepel, V.V. (2007). [et al.]. *Issledovanie vliyaniya koleblemosti kachestvennykh parametrov rudopotokov kariera na effektivnost obogashcheniya zheleznykh rud*. *Metallurgicheskaya i gorhorudnaya promyshlennost*, 2(241), 67-71.
4. Mladatsky, I.K., & Tyurya, Yu.I. (2009). *Vliyanie dispersiy i srednikh znacheniy pokazateley kachestva iskhodnoy rudy na srednee znachenie pokazateley i dispersiyu kachestva kontsentrata*. *Zbahachennia korysnykh kopalyn*, 38(79), 29-37.
5. Sergeev, I.V., Molodtsova, L.D., & Cherednichenko, Yu.V. (1973). *Vliyanie ritmichnosti raboty predpriyatiya na kachestvo dobyvaemoy rudy*. *Gornyy zhurnal*, (10), 13-14.
6. Belkina, I.A. (2012). *Modeliuvannya vplyvu obshchiv partit postavok rudy na sobivartist kontsentratu*. *Visnyk Vinnytskoho tekhnichnoho universytetu*. (3), 52-55.
7. Lane G.R. (2006). *Implementation of an economic model at Gold Fields Limited / G.R. Lane, J.H.K. Hudson, and E. Bondi // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2006. –Vol.106, №12 - p.807-812.
8. Maryuta O.M. . (1995). *Informatsiynyi systemnyi analiz vyrobnycho-ekonomichnykh obiektiv*. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk vydavnytstvo DDU.
9. Harenko, A.A., & Kochura, Ye.V. (2012). *Formuvannya sobivartosti produktii drobnykh fabryk v umovakh bahato zahalnoho taryfu na elektroenerhiu*. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi Hirnychiy Universytet.
10. Everett, J. E., 2001. «Iron ore production scheduling to improve product quality», *European Journal of Operational Research*, Elsevier, vol. 129(2), pages 355-361, March.
[https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(00\)00233-2](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(00)00233-2)
11. Everett, J. (2010). *Simulation Modeling of an Iron Ore Operation to Enable Informed Planning*. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*. - 2010 - № 5, p. 101-114
<https://doi.org/10.28945/1126>
12. Gikhman, I.I., & Skorokhod, A.V. (1976). *Vvedenie v teoriyu sluchaynykh protsessov*. Kiev.

ECONOMIC ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS
ON THE DYNAMICS OF ENERGY CONSUMPTION OF A MINING AND PROCESSING
PLANT

D. V. Kochura, Post-graduate student, Dnipro University of Technology

Methods includes experimental studies of the spectral density of electrical active power consumed by the mining and processing plant in winter and summer, its analysis and economic evaluation of the dynamics of energy consumption and electricity costs, which are determined by the operation of the mining and processing plant enterprise.

Results are an economic-mathematical model of the dependence between the dynamics of energy consumption and the costs of electricity consumed by the mining and processing plant and determined by the operation of the mining transport complex, crushing and beneficiation factory.

Novelty consists in establishing the dependence of the value of the dynamic component of electrical energy, which is determined by the work of individual divisions of the mining and processing plant, on the rhythmicity of its work in different weather conditions.

Practical value of the work consists in the development of a method of economic evaluation of the efficiency of each unit of the mining and processing plant, namely the mining transport complex, crushing and beneficiation factories, with the aim of reducing electricity costs by improving the dynamics of energy consumption.

Keywords: energy saving, mining and ore enterprises, energy consumption, economic assessment.

Надійшла до редакції 08.06.23 р.