



ЕКОНОМІКА ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ

УДК 330.46:622
JEL Classification: C13, C18, L72, O13

DOI: 10.37332/2309-1533.2023.3.7

Кочура Д.В.,
аспірант*,

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ РИТМІЧНОСТІ РОБОТИ КАР'ЄРІВ ГІРНИЧОРУДНОГО ПІДПРИЄМСТВА ЗА ДИНАМІКОЮ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Kochura D.V.,
postgraduate student,
National Technical University "Dnipro Polytechnic"

A METHODOLOGY OF OPERATIVE DIAGNOSTICS OF THE RHYTHMIC WORK OF MINING ENTERPRISES ACCORDING TO THE DYNAMICS OF ELECTRICITY CONSUMPTION

Постановка проблеми. Організація ритмічної роботи гірничорудного підприємства – це один із можливих шляхів підвищення економічної ефективності виробництва. Для визначення можливостей покращення ритмічності виробництва і розробки заходів по удосконаленню режимів роботи підприємства необхідно виконати різносторонній аналіз ритмічності взаємозв'язаних ланок гірничорудного виробництва, таких як гірничо-транспортний комплекс та дробарна фабрика. Це дозволить на основі оперативної інформації про хід виробництва встановити рівень його ритмічності, виявити обставини порушення ритмічності та оперативно їх усунути.

Під ритмічністю виробничого процесу розуміють точне виробництво передбачених планом обсягів товарної продукції за кожний встановлений відрізок часу (годину, добу, місяць, рік).

Існуючі методи визначення ритмічності передбачають трудомістке та відносно затратне встановлення обсягів продукції за суттєві інтервали часу і не дозволяють оперативно оцінювати ритмічність внутрішньозмінної роботи підрозділів гірничорудного підприємства, особливо при наявності декількох кар'єрів з видобутку корисних копалин. Тому проблема полягає у розробці методики оперативної діагностики ритмічності роботи гірничо-транспортного комплексу з декількома кар'єрами у структурі гірничорудного підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методам оцінки ритмічності гірничорудних підприємств присвячено багато публікацій [1; 2; 5-8], але всі вони базуються на оцінюванні випуску продукції за досить довгий період часу (добу, місяць, рік) у натуральних одиницях вимірювання для гірничорудного підприємства в цілому та обробці цих результатів методами математичної статистики. Всі відомі методи не дозволяють оцінювати оперативно по годинах внутрішньозмінну ритмічність виробництва для кожного кар'єру і не враховують статистичну динаміку виробництва. Проблеми енергозбереження розглядалися у публікаціях [3; 4]. У монографії І. А. Белкіної, Р. М. Лепи та Є. В. Кочури [1] досліджено вплив параметрів рудопостачання на економічні показники роботи гірничо-збагачувального підприємства, але питання оцінювання впливу ритмічності роботи гірничо-транспортного комплексу не досліджувались. У монографії А. А. Горенко та Є. В. Кочури [2] методом імітаційного моделювання вивчались впливи коливальності щільності руди та періоду рудопостачання на енергоспоживання дробарної фабрики при наявності одного кар'єру в структурі гірничорудного підприємства. Вплив ритмічності роботи гірничо-транспортного комплексу з декількома кар'єрами не досліджувався. Невирішеною раніше частиною загальної проблеми є розробка методики роздільної оперативної діагностики ритмічності роботи декількох кар'єрів гірничо-транспортного комплексу

* Науковий керівник: Чуріканова О.Ю. – д-р екон. наук, доцент

гірничорудного підприємства, що працюють одночасно.

Постановка завдання. Метою статті є розробка методики роздільної оперативної діагностики роботи кожного із декількох працюючих кар'єрів гірничо-транспортного комплексу гірничорудного підприємства за динамікою електроспоживання дробарної фабрики.

Методика дослідження включає аналіз відомих методів та формул оцінювання ритмічності гірничорудного підприємства за обсягами продукції, що виробляється за кінцевий період часу, перехід у відомих формулах від обсягів продукції через питомі витрати електроенергії до споживання електричної енергії та електричної потужності за одиницю часу. Це дає змогу оперативно оцінювати ритмічність виробництва не за обсягом виробленої продукції, а за кількістю спожитої електричної енергії чи активної потужності за конкретний період часу. Враховуючи, що кожний підрозділ гірничорудного підприємства (кар'єр) має свою резонансну частоту роботи, виконано спектральний аналіз активної потужності дробарної фабрики, на яку постачається продукція кожного кар'єру, та виділено робочі частоти коливань активної потужності, що визначаються кожним кар'єром.

Це дає можливість оцінити ритмічність роботи кожного кар'єру за динамікою електроспоживання дробарної фабрики і розробити організаційні заходи щодо покращення ритмічності гірничорудного виробництва та зниження собівартості продукції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Значну частину рудних та нерудних корисних копалин видобувають у кар'єрах відкритим способом. Наприклад, видобуток залізної руди здійснюється у кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького залізорудного басейну. Причому кожний комбінат має декілька кар'єрів.

Виробничі підрозділи гірничо-збагачувального комбінату технологічно зв'язані між собою. Режим роботи попереднього підрозділу технологічного ланцюга впливає на режим роботи наступного підрозділу. На багатьох гірничо-збагачувальних комбінатах руда на дробарну фабрику постачається з декількох кар'єрів. Ритм роботи дробарної фабрики залежить від ритму роботи кар'єрів та гірничо-транспортного комплексу в цілому. Руда з кар'єрів подається на дробарну фабрику в корпус крупношматкового дроблення і далі згідно з технологічною схемою. На гірничих підприємствах будівельних матеріалів, наприклад, гранітного щебеню, граніт добувається в кар'єрах. Після вибуху дезінтегрований граніт екскаваторами завантажується у самоскиди та направляється на дробарну фабрику, яка подрібнює граніт до рівня гранітного щебеню, який є товарною продукцією і поставляється замовникам.

Розглянемо схему гірничорудного підприємства, наведену на рис. 1.

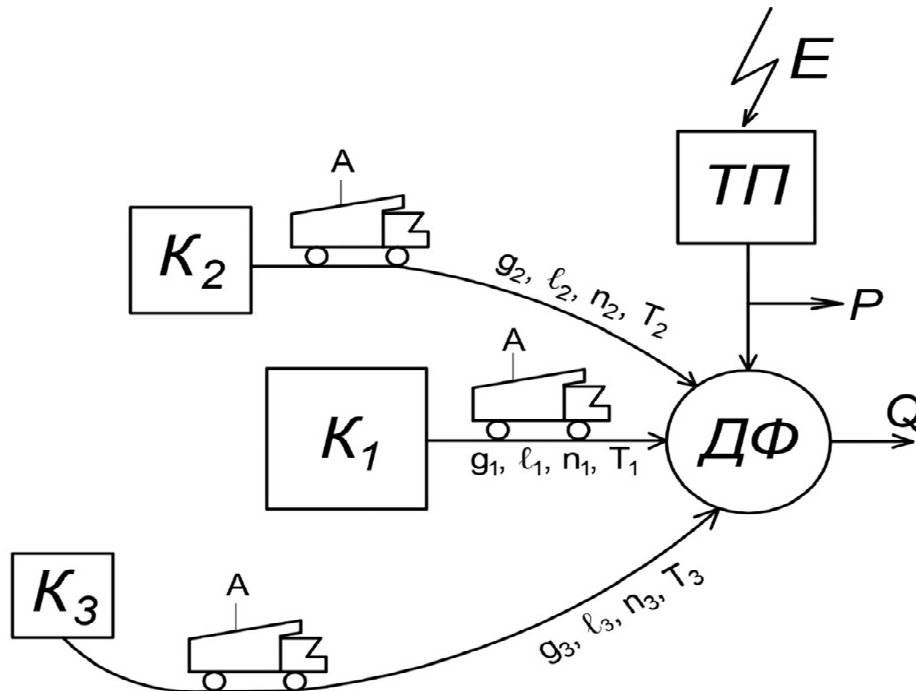


Рис. 1. Схема гірничорудного підприємства

Позначення: K_1, K_2, K_3 – кар'єри; ДФ – дробарна фабрика; ТП – електрична трансформаторна підстанція; А – автосамоскиди; E, P – відповідно, електрична енергія та електрична потужність, що споживається дробарною фабрикою; g_1, g_2, g_3 – вантажопідйомність автосамоскидів, що працюють, відповідно, у першому, другому та третьому кар'єрах; l_1, l_2, l_3 – відстань або довжина маршруту від дробарної фабрики, відповідно, до першого, другого та третього кар'єрів; n_1, n_2, n_3 – кількість автосамоскидів, відповідно, на першому, другому та третьому маршрутах; T_1, T_2, T_3 – періоди поставки руди на дробарну фабрику, відповідно, від першого, другого та третього кар'єрів.

Джерело: власна розробка автора

Розглянемо, від чого залежить період подачі руди на дробарну фабрику автосамоскидами, використовуючи закономірності [1], одержані для залізничного транспорту.

Час циклу від кар’єру дробарної фабрики становить:

$$T_{ц} = 60 \sum_{i=1}^n \frac{\ell_i}{K_{шв} \cdot V_{pi}} + 60 \sum_{i=1}^n \frac{\ell_i}{K_{шв} \cdot V_{xi}} + Q_{ц}, \quad (1)$$

де ℓ_i – довжина i -ї ділянки траси з постійними умовами руху, км;

$K_{шв}$ – коефіцієнт швидкості, що враховує періоди розгону та гальмування, зміну швидкості при переході з однієї ділянки або елемента траси на інший;

V_{pi}, V_{xi} – технічні швидкості автосамоскидів при робочому ході з рудою і холостому ході без руди на i -й ділянці траси;

$Q_{ц}$ – сумарна нормативна пауза за цикл на завантаження та розвантаження автосамоскидів та їх маневри на кінцевих пунктах.

Визначимо кількість ходок автосамоскидів для виконання плану подачі руди з кар’єру на дробарну фабрику:

$$m = \frac{A \cdot T_{ц} \cdot K_{н}}{60 \cdot g \cdot t_{п}}, \quad (2)$$

де A – плановий обсяг постачання руди з кар’єру, т/зміну;

$K_{н}$ – коефіцієнт нерівномірності відкатки;

g – вантажопідйомність самоскиду;

$t_{п}$ – плановий оперативний час роботи кар’єру.

Зробимо припущення, що поставки руди з кар’єру до дробарної фабрики розподілені рівномірно у часі, тоді середній період подачі руди з кар’єру на дробарну фабрику становитиме:

$$T = \frac{t_{змінн}}{m}, \quad (3)$$

де $t_{змінн}$ – тривалість зміни.

Період подачі можна розрахувати за формулами (1)–(3) для кожного кар’єру T_1, T_2, T_3 .

Цим періодам будуть відповідати резонансні частоти $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ спектральної щільності електричної активної потужності, що споживається дробарною фабрикою, враховуючи, що:

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}, \text{ де } i = 1, 2, 3, \quad (4)$$

Руда з кар’єрів подається на дробарну фабрику. Періоди постачання руди на фабрику залежать від плану постачання, вантажопідйомності автосамоскидів, довжини маршруту від кар’єру до дробарної фабрики, технології розробки кар’єрів, організації гірничих робіт, режиму роботи внутрішньокар’єрного транспорту, кваліфікації та сумлінності робітників гірничо-транспортних комплексів. Таким чином, кожний кар’єр має власну частоту коливань постачання обсягів руди автосамоскидами. Режим роботи дробарки та її електроспоживання визначається сумою трьох випадкових процесів постачання обсягів руди з трьох кар’єрів. Електрична потужність дробарної фабрики пов’язана з обсягами руди, що подрібнюється, співвідношенням:

$$P = Q \cdot q, \quad (5)$$

де Q – продуктивність дробарної фабрики, $\left[\frac{\text{т}}{\text{год}} \right]$;

q – питомі витрати електричної енергії на дроблення однієї тони руди, $\left[\frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{т}} \right]$.

Випадковий процес зміни загальної електричної потужності, що споживається дробарною фабрикою, з точки зору енергетичного балансу можна подати як суму двох складових: умовно-сталої складової та динамічної складової, що характеризує динаміку електроспоживання. Спектральна щільність динамічної складової загальної активної потужності матиме вигляд, зображений на рис. 2.

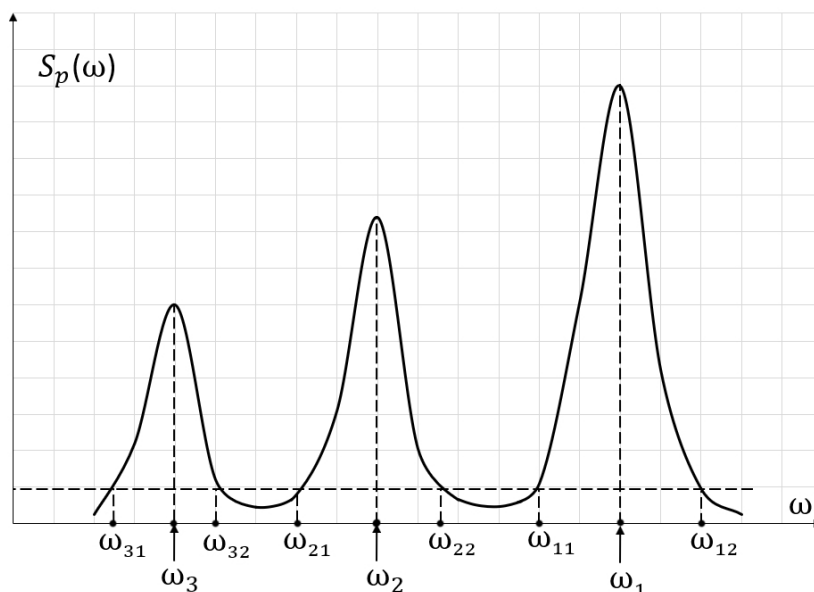


Рис. 2. Спектральна щільність динамічної складової загальної активної потужності $S_p(\omega)$

Позначення: ω_1 – резонансна кутова частота, на якій працює перший кар’єр; ω_{11}, ω_{12} – діапазон суттєвих частот роботи першого кар’єру; ω_2 – резонансна кутова частота, на якій працює другий кар’єр; ω_{21}, ω_{22} – діапазон суттєвих частот роботи другого кар’єру; ω_3 – резонансна кутова частота, на якій працює третій кар’єр; ω_{31}, ω_{32} – діапазон суттєвих частот роботи третього кар’єру.

Джерело: власна розробка автора

Домінуючий період постачання руди з кар’єрів визначається за формулою:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}, \quad (6)$$

де $i = 1, 2, 3$ – номер кар’єру.

Дисперсії коливань електричної активної потужності дробарної фабрики, що визначаються ритмічністю роботи кожного кар’єру:

для першого кар’єру:

$$D_{P1} = \frac{1}{2\pi_i} \int_{\omega_{11}}^{\omega_{12}} S_p(\omega) d\omega, \quad (7)$$

для другого кар’єру:

$$D_{P2} = \frac{1}{2\pi_i} \int_{\omega_{21}}^{\omega_{22}} S_p(\omega) d\omega, \quad (8)$$

для третього кар’єру:

$$D_{P3} = \frac{1}{2\pi_i} \int_{\omega_{31}}^{\omega_{32}} S_p(\omega) d\omega, \quad (9)$$

Згідно з визначенням ритмічності, необхідно проаналізувати динамічний ряд виробництва руди кожним кар’єром за одиницю часу. Зв’язок між масою руди M , виробленою за період часу T_c , питомими витратами електроенергії, електричною активною потужністю, що споживається дробарною фабрикою P , та періодом часу спостереження T згідно із формулою (5) становитиме:

$$P = \frac{M}{T_c} \cdot q, \quad (10)$$

Отже, загальна маса руди, що постачається кар’єрами, дорівнює:

$$M = \frac{PT_c}{q}, \quad (11)$$

де $M = M_1 + M_2 + M_3$, а M_1, M_2, M_3 – відповідно, маса руди, що постачається першим, другим та третім кар’єрами. Величина P_i та M_i є випадковими величинами.

Дисперсія коливань виробництва маси руди кожним кар'єром, враховуючи властивості дисперсії випадкової величини, буде:

$$D_{M_i} = \frac{T_c^2}{q^2} D_{P_i} \quad (12)$$

Перевірка розмірностей формули (12):

$$[D_{M_i}] = [m^2]; \left[\frac{T_c^2}{q^2} D_{P_i} \right] = \frac{\text{ГОД}^2}{\frac{\text{КВТ}^2 \cdot \text{ГОД}^2}{\text{м}^2}} \cdot \text{КВТ}^2 = [m^2] \quad (13)$$

Тобто, дисперсію коливань виробництва руди кожним кар'єром за конкретний інтервал часу можна оцінити за дисперсією коливань електричної активної потужності, що споживається корпусом крупного дроблення дробарної фабрики.

Для оцінки ритмічності роботи кожного кар'єру використаємо формули:

$$K_R = 1 - \frac{\delta}{x}, \quad (14)$$

$$\delta = \sqrt{D},$$

де K_R – коефіцієнт ритмічності;
 δ – середньоквадратичне відхилення;
 x – середнє арифметичне варіаційного ряду;
 D – дисперсія варіаційного ряду.

У нашому випадку, згідно із формулою (12), внутрішньозмінна ритмічність роботи першого кар'єру:

$$K_{R1} = 1 - \frac{\sqrt{D_{M1}}}{M_{П1}} = 1 - \frac{T_c \delta_{P1}}{q \sqrt{P1}}, \quad (15)$$

де $M_{П1}$ – планове значення обсягу постачання руди з першого кар'єру за зміну, T_c ;
 δ_{P1} – середньоквадратичне відхилення активної потужності P_1 .

Внутрішньозмінна ритмічність роботи другого кар'єру:

$$K_{R2} = 1 - \frac{\sqrt{D_{M2}}}{M_{П2}} = 1 - \frac{T_c \delta_{P2}}{q \sqrt{P2}}, \quad (16)$$

де $M_{П2}$ – план постачання руди за зміну з другого кар'єру, T_c ;
 δ_{P2} – середньоквадратичне відхилення активної потужності P_2 .

Внутрішньозмінна ритмічність роботи третього кар'єру:

$$K_{R3} = 1 - \frac{\sqrt{D_{M3}}}{M_{П3}} = 1 - \frac{T_c \delta_{P3}}{q \sqrt{P3}}, \quad (17)$$

де $M_{П3}$ – план постачання руди за зміну з третього кар'єру, T_c ;
 δ_{P3} – середньоквадратичне відхилення активної потужності P_3 .

Аналогічно можна розрахувати середньодобову, середньотижневу, середньомісячну ритмічність роботи кар'єрів. Ритмічність роботи всього гірничо-транспортного комплексу можна визначити, аналізуючи спектральну щільність $S_p(\omega)$ в цілому (рис. 2):

$$K_{P_{ГТК}} = 1 - \frac{\sqrt{D_M}}{M_{П}}, \quad (18)$$

де $M_{П}$ – плановий обсяг руди, що постачається на дробарну фабрику за певний відрізок часу T ;
 D_M – дисперсія коливань загальних обсягів руди, що постачаються на дробарну фабрику з трьох кар'єрів.

Згідно з виразом (7):

$$D_M = \frac{T^2}{q^2} D_p, \quad (19)$$

де D_p – дисперсія електричної активної потужності, що споживається корпусом крупношматкового дроблення дробарної фабрики.

Згідно з властивостями спектральної щільності та рис. 2:

$$D_p = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_{31}}^{\omega_{12}} S_p(\omega) d\omega, \quad (20)$$

Управляти ритмічністю виробничої діяльності гірничо-транспортного комплексу та гірничорудного підприємства можна шляхом впровадження організаційних та економічних заходів.

Висновки з проведеного дослідження. Діагностику ритмічності роботи кожного з кар'єрів, що працюють в одному гірничо-транспортному комплексі гірничорудного підприємства можна виконати за дисперсією коливань електричної активної потужності, що споживається дробарною фабрикою в діапазоні робочих частот, характерних для кожного кар'єру.

Встановлено залежність резонансних частот спектральної щільності коливань електроенергетичних параметрів дробарної фабрики від періодів та обсягів постачання руди з кожного кар'єру гірничорудного підприємства.

Розроблено методику роздільного оперативного оцінювання ритмічності роботи декількох кар'єрів за динамікою енергоспоживання дробарної фабрики, що дозволяє оцінити ритмічність роботи кожного кар'єру та гірничо-транспортного комплексу гірничорудного підприємства в цілому та управляти нею.

Література

1. Белкіна І. А., Лепа Р. М., Кочура Є. В. Економіко-математичне моделювання впливу режимів рудоподачі на ефективність використання економічного потенціалу гірничо-збагачувального підприємства : монографія. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2013. 123 с.
2. Гаренко А. А., Кочура Є. В. Формування собівартості продукції дробарних фабрик в умовах багатозонального тарифу на електроенергію : монографія. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2012. 146 с.
3. Гордієнко О. С. Енергозбереження на транспортних підприємствах. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2012. № 5(1). С. 13-14.
4. Дзеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 347 с.
5. Кашубіна Ю. Б. Управління ритмічністю операційної діяльності гірничодобувного підприємства. *Економіка: проблеми теорії та практики*: зб. наук. праць. 2010. Вип. 259. Т. V. С. 1315-1321.
6. Кашубіна Ю. Б., Адаменко М. В. Розробка організаційно-економічної моделі управління ритмічністю операційної діяльності гірничорудних підприємств із застосуванням процесного і системного підходів. *Науковий вісник Національного гірничого університету. Економіко-правові умови діяльності підприємства*: тематичний випуск. 2011. С. 69-71.
7. Максимов С. В., Темченко Г. В. Дослідження енергомосткості витрат гірничорудних підприємств. *Економічний вісник Національного гірничого університету*. 2012. № 2. С. 52-58.
8. Темченко О. А., Тютюнник Ю. М. Визначення ключових факторів розвитку підприємств гірничо-металургійного комплексу України. *Економічний вісник Національного гірничого університету*. 2015. № 1. С. 89-97.

References

1. Bielkina, I.A., Lepa, R.M. and Kochura, Ye.V. (2013), *Ekonomiko-matematychne modeliuвання vplyvu rezhymiv rudopodachi na efektyvnist vykorystannia ekonomichnoho potentsialu hirnycho-zbahachuvalnoho pidpryemstva* [Economic and mathematical modeling of the impact of ore supply modes on the efficiency of using the economic potential of a mining and beneficiation enterprise], monograph, Natsionalnyi hirnychyi universytet, Dnipropetrovsk, Ukraine, 123 p.
2. Harenko, A.A. and Kochura, Ye.V. (2012), *Formuvannia sobivartosti produktsii drobarnykh fabryk v umovakh bahatozonalnoho taryfu na elektroenerhiu* [Formation of the cost price of products of crushing plants in the conditions of a multi-zonal electricity tariff], monograph, Natsionalnyi hirnychyi universytet, Dnipropetrovsk, Ukraine, 146 p.
3. Hordiienko, O.S. (2012), "Energy saving at transport enterprises". *Tekhnolohichniy audyt ta rezervy vyrobnytstva*, no.5(1), pp. 13-14.
4. Dzhedzhula, V.V. (2014), *Enerhozberezhennia promyslovykh pidpryemstv: metodolohiia formuvannia, mekhanizm upravlinnia* [Energy conservation of industrial enterprises: methodology of formation, management mechanism], monograph, Vinnytsia: VNTU, Ukraine, 347 p.
5. Kashubina, Yu.B. (2010), "Managing the rhythm of operating activities of a mining enterprise", *Ekonomika: problemy teorii ta praktyky*: zb. nauk.prats, Iss. 259, Vol. V, pp. 1315-1321.
6. Kashubina, Yu.B. and Adamenko, M.V. (2011), "Development of an organizational and economic model for managing the rhythm of operational activity of mining enterprises using process and system approaches", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. Ekonomiko-pravovi umovy diialnosti pidpryemstva*: tematychnyi vypusk, pp. 69-71.
7. Maksymov, S.V. and Temchenko, H.V. (2012), "Study of energy intensity of mining enterprises' expenses", *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no. 2, pp. 52-58.
8. Temchenko, O.A. and Tiutiunyk, Yu.M. (2015), "Determination of key factors in the development of enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine", *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no. 1, pp. 89-97.