

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ДИНАМІКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ ПІДПРИЄМСТВА

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

Методологія дослідження. Дослідження динаміки енергоспоживання базується на методах спектрального аналізу. Економічна оцінка результатів впровадження заходів з енергозбереження здійснена за рахунок методу економічного аналізу. Метод економіко-математичного моделювання було застосовано при створенні моделі витрат на динамічну складову електроенергії, що споживається підприємством.

Результати. У статті розроблена економіко-математична модель витрат на динамічну складову електроенергії, яка споживається підприємством та його основними технологічними підрозділами, що дозволяє отримувати та розподіляти фонд матеріального стимулювання динаміки енергоспоживання між основними підрозділами підприємства. Продемонстровано, що для існуючих на сьогодні досліджень з даної проблематики характерна певна необ'єктивність при вирішенні питання економічного стимулювання робітників у силу прийняття рішень адміністрацією на основі загальних показників економії електроенергії по підприємству в цілому і відсутності врахування внеску кожного підрозділу в енергозбереження. Запропоновано формування фонду економічного стимулювання енергозбереження за рахунок покращення динаміки споживання та його розподілу між основними цехами підприємства за рахунок частотного аналізу динаміки енергоспоживання виробничими підрозділами підприємства.

Новизна. Вперше розроблено економіко-математичний метод діагностики ефективності виконання заходів з енергозбереження окремими підрозділами підприємства на основі спектрального аналізу динаміки енергоспоживання.

Практична значущість. Розроблена методика формування фонду матеріального стимулювання персоналу підприємства за ефективне виконання заходів з покращення динаміки енергоспоживання дозволяє оцінювати внесок підрозділів підприємства у загальну економію електроенергії.

Ключові слова: енергозбереження, матеріальне стимулювання, енергоспоживання, економіка підприємства.

Постановка проблеми. Проблематика енергозбереження на підприємствах України є дуже актуальною. Традиційні методи енергозбереження [1] такі як енергетичний аудит, облік та контроль витрат електроенергії, адміністративні методи, заміна технологічного обладнання на більш енергоефективне та інші спрямовані на економію загальних витрат електричної енергії за звітний період і не враховують динаміку енергоспоживання. Динамічна складова електроенергії визначається динамікою енергоспоживання і залежить від логістики постачання сировини на

підприємство, режимів роботи технологічного обладнання, організацію виробничого процесу і дорівнює 20–30% від загального споживання електроенергії [4].

Статична складова споживаної електроенергії визначається номінальними характеристиками встановлюваного обладнання, середніми значеннями характеристик сировини та напівфабрикатів. Перша проблема полягає у формуванні фонду економічного стимулювання оперативного персоналу підприємства за виконання засобів по енергозбереженню на основі управління динамікою

енергоспоживання. Друга проблема полягає у справедливому розподілі фонду економічного стимулювання між цехами підприємства, які працюють у різних умовах та вносять різний вклад у вирішення проблеми покращення динаміки енергоспоживання на підприємстві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам енергозбереження присвячено багато досліджень. Так, в роботі [1] запропоновані організаційні та технічні заходи енергозбереження в системах електропостачання об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства. В роботі [2] розглянуті загальні питання економічного стимулювання енергозбереження у контексті розвитку економіки України. В роботі [3] розроблені методологічні заходи прийняття управлінських рішень у сфері енергоефективності. В роботах [4,5] запропоновано за виконання заходів по енергозбереженню підвищувати зарплатню персоналу на 5%, 10% та 15% в залежності від кваліфікації. При чому рішення про підвищення зарплати приймається адміністративно-кваліфікаційною комісією на термін три місяці. В роботі [6] передбачено преміювання робітників за економію електроенергії в цілому по підприємству за звітній період. Рішення про розмір премій виносяться адміністрацією підприємства.

Недоліком цих підходів є недостатня об'єктивність при вирішенні питання економічного стимулювання робітників, так як рішення приймається адміністрацією на основі загальних показників економії електроенергії по підприємству та не враховують вклад кожного підрозділу в енергозбереження.

Формулювання мети статті. Метою роботи є розробка методики формування фонду економічного стимулювання персоналу підприємства за впровадження заходів по енергозбереженню та розподілу цього фонду між основними технологічними цехами підприємства на основі аналізу динаміки енергоспоживання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо схему електропостачання підприємства, що має у своєму складі три основні цехи, що наведені на рисунку 1.

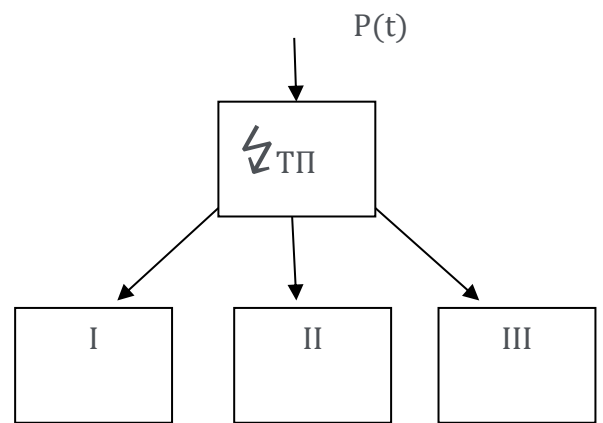


Рис. 1. Схема електропостачання підприємства де ТП – трансформаторна підстанція; I,II,III – основні цехи підприємства; $P(t)$ – активна потужність, що споживається з електричної мережі.

Процес споживання електроенергії можливо надати у вигляді графіку випадкового процесу зміни у часі активної потужності $P(t)$.

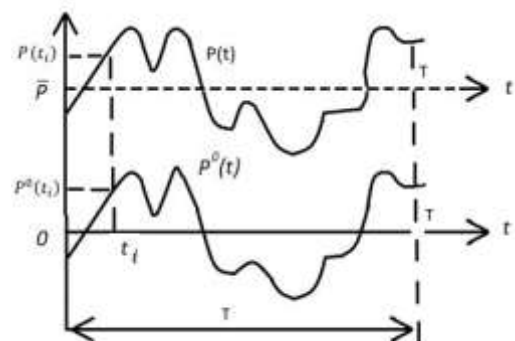


Рис. 2. Графік випадкового процесу зміни у часі активної потужності $P(t)$

Примітка: \bar{P} – математичне очікування активної потужності; $P(t_i)$ – значення активної потужності у момент часу t_i ; $P^0(t_i)$ – центрований випадковий процес зміни динамічної складової активної потужності з математичним очікуванням, що дорівнює нулю; $P^0(t_i)$ – центроване значення активної потужності в i -й момент часу; T – період спостереження, або звітній період

$$P^0(t_i) = P(t_i) - \bar{P} \quad (1)$$

Динаміка електроспоживання визначається центрованим випадковим процесом. Згідно із законом збереження енергії зробимо перетворення:

$$P(t) = \bar{P} + P^0(t) \quad (2)$$

або в енергетичному вигляді:

$$E = \bar{E} + Eg \quad (3)$$

де E – електрична енергія, що споживається процесом; \bar{E} – середнє значення енергії; Eg – динамічна складова енергії.

З теорії випадкових стаціонарних процесів [7] відомо співвідношення:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^\infty S_0(\omega) d\omega = D_{P^0} \quad (5)$$

де $S_0\omega$ – спектральна щільність потужності центрованого випадкового процесу $P^0(t)$; D_{P^0} – дисперсія випадкового процесу $P^0(t)$.

З теорії випадкових процесів [7] відомо, що спектральна щільність потужності або густина потужності визначає розподіл потужності сигналу в залежності від частоти, тобто є потужність, яка розподілена в одиничному інтервалі частоти та має розмірність енергії, тобто в системі СИ Вт/с-1=ВТ*С. Тобто, динамічна складова енергії, що споживається, розподілена по частотам згідно із спектральною щільністю центрованого випадкового процесу зміни активної потужності.

Динамічна складова активної потужності, що споживається підприємством дорівнює площині, що обмежена спектральною щільністю $S_0(\omega)$:

$$P_0 = \int_{\omega_0}^{\omega_1} S_0(\omega) d\omega, \quad (6)$$

де ω_0 та ω_1 – нижня та верхня межа частот коливань активної потужності.

Динамічна складова електричної енергії, що споживається підприємством за період спостереження або звітний період T :

$$Eg = T \int_{\omega_0}^{\omega_1} S_0(\omega) d\omega \quad (7)$$

Графічна інтерпретація спектральної щільності наведена на рис. 3

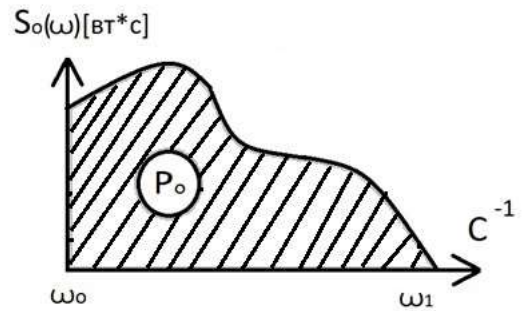


Рис. 3 Графічна інтерпретація спектральної щільності

Примітка: $S_0\omega$ – спектральна щільність динамічної складової активної потужності, що споживається підприємством.

Розглянемо формування спектральної щільності активної потужності, що споживається підприємством, що складається з трьох виробничих цехів.

Кожен з цехів має свій технологічний процес, устаткування, електрообладнання, графіки та режими роботи з відповідними технологічними ритмами та частотами. Тому спектральна щільність динамічної складової активної потужності, що споживається підприємством буде мати загальний вигляд, наведений на мал.4

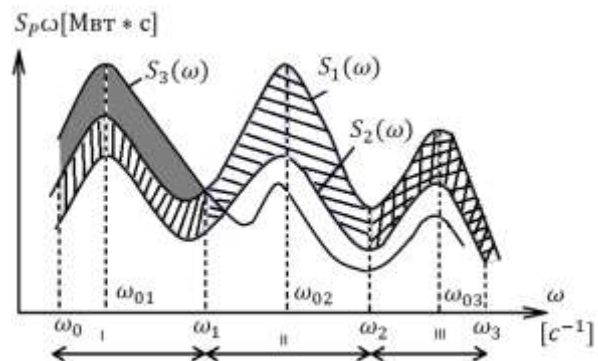


Рис. 4. Спектральні щільності активної потужності до і після впровадження заходів по енергозбереженню

Примітка: $S_1(\omega)$ – спектральна щільність до впровадження заходів; $S_2(\omega)$, $S_3(\omega)$ – спектральні щільності після впровадження заходів; $\omega_1 - \omega_0$ – діапазон частот роботи цеха I; $\omega_2 - \omega_1$ – діапазон частот роботи цеха II; $\omega_3 - \omega_2$ – діапазон частот роботи цеха III.

Заходи по енергозбереженню вміщують в себе покращення ритмічності роботи підприємства та його цехів, покращення ло-

гістики у тому числі й цехові заходи по управлінню технологічними процесами, організаційні заходи та інші.

Ці заходи впливають на динаміку енергоспоживання підприємства та його цехів і змінюють спектральну щільність динамічної складової активної потужності. Економічний ефект по підприємству від впровадження цих заходів:

$$C_{\Pi} = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_0}^{\omega_3} S_1(\omega) d\omega - \int_{\omega_0}^{\omega_3} S_2(\omega) d\omega \right) \quad (8)$$

де K_1 – вартість 1 Мвт*часа електричної енергії; K_2 – коефіцієнт, що враховує розмірність, T – звітний період, квартал, місяць.

Частина цього економічного ефекту за рішенням адміністрації підприємства можливо використати для формування фонду економічного стимулювання працівників підприємства за енергозберігаючу динаміку енергоспоживання.

На рис. 4 цей економічний ефект пропорційний заштрихованій частині малюнка. Кожний цех вніс свій внесок у досягнення цього економічного ефекту. Необхідно фонд економічного стимулювання справедливо розподілити між працівниками цехів.

Внесок першого цеху в економічний ефект від заходів по енергозбереженню:

$$C_1 = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_0}^{\omega_1} S_i(\omega) d\omega - \int_{\omega_0}^{\omega_1} S_2(\omega) d\omega \right) \quad (9)$$

Внесок другого цеху:

$$C_2 = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_1}^{\omega_2} S_i(\omega) d\omega - \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_2(\omega) d\omega \right) \quad (10)$$

Внесок третього цеху:

$$C_3 = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_2}^{\omega_3} S_i(\omega) d\omega - \int_{\omega_2}^{\omega_3} S_2(\omega) d\omega \right) \quad (11)$$

$$C_{\Pi} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (12)$$

Визначення частин отриманого економічного ефекту який буде направлений у фонд економічного стимулювання динаміки енергоспоживлення цехів визначається адміністрацією підприємства та цехів.

Розроблена методика дозволяє не тільки виявляти економічну ефективність заходів по покращенню динаміки енергоспоживання а й оцінити збитки у випадку неналежного їх виконання.

Ситуація неефективного виконання заходів наведена на мал.4 спектральною щільністю $S_3(\omega)$. Аналіз цієї спектральної щільності показує, що цех I недостатньо ефективно впровадив засоби по енергозбереженню, що привело до збитків, що розраховуються по формулі:

$$S = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_0}^{\omega_1} S_3(\omega) d\omega - \int_{\omega_2}^{\omega_1} S_1(\omega) d\omega \right) \quad (13)$$

У цьому випадку працівники цехів II та III заслуговують матеріальне заохочення за належне виконання заходів по енергозбереженню, а працівники цеху I за неналежне виконання цих заходів можуть бути оштрафовані за понесення матеріальних збитків підприємством.

Висновки. На основі виконаного дослідження можна зробити висновки:

– спектральний аналіз активної потужності, що споживається підприємством, дозволяє оцінити економію електроенергії та економічну ефективність заходів по енергозбереженню шляхом покращення динаміки енергоспоживання.

– формування фонду економічного стимулювання енергозбереження за рахунок покращення динаміки споживання та його розподіл між основними цехами підприємства можливо виконати шляхом частотного аналізу динаміки енергоспоживання виробничими підрозділами підприємства.

– спектральний аналіз активної потужності, що споживається підприємством дозволяє оцінити не тільки економічну ефективність заходів по енергозбереженню, а й збитки у випадку їх невиконання, що дозволяє накладати штрафні санкції на персонал відповідних підрозділів підприємства.

Література

1. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України / Під ред. В.М. Беленького, В.В. Прокопенко А.В. Праховніка. Луганськ: Вид-во «Місячне сяйво», 2009. 696 с.
2. Сотник І.М. Економічне стимулювання ресурсозбереження у контексті сталого розвитку України. *Економіст*. 2010. № 12. С. 72-75.
3. Суходоля О.М. Методологічні засади прийняття управлінських рішень у сфері енергоефективності. *Науковий вісник Академії муніципального управління*. 2010. Вип 3. С. 17-24.
4. Белкіна І.А., Лепя Р. М., Кочура Є.В. Економіко-математичне моделювання впливу режимів рудоподачі на ефективність використання економічного потенціалу гірничо-збагачувального підприємства: Монографія. Д.: Національний гірничий університет, 2013. 123 с.
5. Гаренко А.А., Кочура Є.В. Формування собівартості продукції дробарних фабрик в умовах бага-

тозонного загального тарифу на електроенергію: Монографія. Д.: Національний гірничий університет, 2012. 146 с.

6. Яковлева Т.Г. Построение эффективной системы оплаты труда. СПб: Питер, 2009. 240 с.

7. Гихман И.И., Скороход А.В. Введение в теорию случайных процессов. Киев, 1976. 569 с.

References

1. Belenko, V.M., Prokopenko, V.V., & Prakhovnik, A.V. (Eds.). (2009). *Praktychnyi posibnyk z enerhozberezhennia dlia ob'ektiv promyslovosti, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy*. Luhansk: Vydavnytstvo «Misiachne siayv».

2. Sotnyk, I.M. (2010). Ekonomichne stymulivannia resursoberezhennia u konteksti staloho rozvytku Ukrainy. *Ekonomist*, (12), 72-75.

3. Sukhodolia, O.M. (2010). Metodolohichni zasady pryuniattia upravlinskykh rishen u sferi enerhoefektyvnosti. *Naukovyi visnyk Akademii munitsypalnoho upravlinnia*, Issue 3, 17-24.

4. Bielkina, I.A., Lepa, R.M., & Kochura, Ye.V. (2013). *Ekonomiko-matematychno modeliuвання vplyvu rezhymiv rudopodachi na efektyvnist vykorystannia ekonomichnoho potentsialu hirnycho-zbaha-chualnoho pidpriemstva*. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi hirnychiy Universytet.

5. Harenko, A.A., & Kochura, Ye.V. (2012). *Formuvannia sobivartosti produktsii drobnykh fabryk v umovakh bahatozonnoho zahalnoho taryfu na elektroenerhiu*. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi hirnychiy Universytet.

6. Yakovleva, T.G. (2009). *Postroenie effektivnoy sistemy oplaty truda*. Sankt Peterburg: Piter.

7. Gikhman, I.I., & Skorokhod, A.V. (1976). *Vvedenie v teoriyu sluchaynykh protsessov*. Kiev.

ECONOMIC ASSESSMENT OF DYNAMICS OF ENERGY CONSUMPTION BY PRODUCTION UNITS OF THE ENTERPRISE

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

Methods. The study of energy consumption dynamics is based on the methods of spectral analysis. The economic evaluation of the results of the implementation of energy saving measures was carried out using the method of economic analysis. The method of economic-mathematical modeling was applied when creating a cost model for the dynamic component of electricity consumed by the enterprise.

Results. It was established that the spectral analysis of the active power consumed by the enterprise allows to estimate the saving of electricity and the economic efficiency of energy-saving measures by improving the dynamics of energy consumption. It is proposed to form a fund for the economic stimulation of energy saving due to the improvement of consumption dynamics and to distribute it among the main workshops of the enterprise by means of a frequency analysis of the dynamics of energy consumption by the production units of the enterprise. An economic-mathematical model of costs for the dynamic component of electricity consumed by the enterprise and its main technological divisions has been developed, which allows to calculate and distribute the fund for material stimulation of the dynamics of energy consumption between the main technological divisions of the enterprise. Spectral analysis of the active power consumed by the enterprise allows to assess not only the economic efficiency of energy saving measures, but also the losses in case of their non-fulfillment, which allows to impose fines on the personnel of the relevant units of the enterprise.

Novelty. For the first time, an economic-mathematical method for diagnosing the effectiveness of energy-saving measures by individual units of the enterprise was developed based on spectral analysis and economic assessment of energy consumption dynamics.

Practical value. The developed method of forming a fund of financial incentives for the company's personnel for the effective implementation of measures to improve the dynamics of energy consumption allows taking into account the contribution of the company's divisions to the overall saving of electricity.

Keywords: energy saving, material stimulation, energy consumption, enterprise economy.

Надійшла до редакції 19.02.23 р.