

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

*Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису*

Кочура Денис Віталійович

УДК 330.46:622

**ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО СТИМУЛЮВАННЯ
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЛОГІСТИКИ РУДОПОСТАЧАННЯ З МЕТОЮ
ЗНИЖЕННЯ СОБІВАРТОСТІ ПРОДУКЦІЇ ГІРНИЧОРУДНИХ
ПІДПРИЄМСТВ**

Спеціальність 051 Економіка
Галузь знань 05 Соціальні та поведінкові науки
Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень, використання ідей,
результатів і текстів інших авторів, мають посилання на відповідне джерело.

_____ Д. В. Кочура

Науковий керівник

Чуріканова Олена Юріївна
доктор економічних наук, доцент

Дніпро - 2025 рік

АНОТАЦІЯ

Кочура Д. В. Удосконалення економічного стимулювання енергозбереження та логістики рудопостачання з метою зниження собівартості продукції гірничорудних підприємств.

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю - 051 Економіка. - Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». Дніпро, 2025.

В дисертації вирішена актуальна задача зниження витрат на електроенергію в структурі виробничої собівартості продукції гірничорудних підприємств на основі економічного стимулювання працівників за виконання заходів по управлінню динамікою електроспоживання. В роботі одержані наукові результати, що мають наукову новизну.

1. Вперше запропоновано додатково вести моніторинг та облік вартості динамічної складової електроенергії на підприємстві в частотних діапазонах її коливань, характерних для виробничих циклів підрозділів підприємства, що на відміну від моніторингу та обліку загальних витрат на електроенергію у часі, дозволяє оцінювати та управляти ритмічністю виробництва, витратами на динамічну складову електроенергії в окремих виробничих підрозділах підприємства, знизити вартість електричної складової в структурі виробничої собівартості продукції підприємства та удосконалити і персоніфікувати систему економічного стимулювання персоналу з урахуванням конкретного вкладу кожного виробничого підрозділу підприємства в реалізацію програми енергозбереження на підприємстві.

2. Встановлено, що вартість динамічної складової електричної енергії, що споживається гірничорудним підприємством за певний період часу прямо пропорційна коефіцієнту варіації динамічного ряду електричної активної потужності, що споживається за цей період та коефіцієнту аритмічності виробництва.

3. Доведено, що коефіцієнт ритмічності виробництва продукції на енергоємних підприємствах за певний відрізок часу прямо пропорційний фактичному споживанню електроенергії за цей відрізок часу та обернено пропорційний питомим витратам електроенергії та плановому випуску продукції за цей відрізок часу.

4. Удосконалена однопродуктова модель управління запасами з метою застосування її для оптимізації постачання руди гірничотранспортним комплексом на дробильну фабрику за критерієм мінімальної вартості електроенергії, що відрізняється заміною коефіцієнта вартості зберігання однієї тони сировини, протягом одиниці часу на коефіцієнт вартості електроенергії, що витрачається на дроблення однієї тони руди протягом одиниці часу, що дає можливість оптимізувати логістичні параметри постачання руди за критерієм мінімуму витрат на електроенергію в умовах багатозонного тарифу на електроенергію. Встановлено, що оптимальна вантажопідйомність транспортних засобів нелінійно залежить від зонального тарифу на електроенергію та часу його дії.

5. Запропонована методика формування та розподілу фонду економічного стимулювання енергозбереження за рахунок покращення динаміки енергоспоживання між виробничими підрозділами підприємства на основі спектрального аналізу активної потужності, що споживається підприємством, при чому розмір фонду для кожного підрозділу пропорційний різниці дисперсії коливань активної потужності в фактичному та базовому режимах роботи, що споживається в характерному для кожного підрозділу діапазоні робочих частот.

6. Удосконалено механізм матеріального заохочення працівників гірничорудних підприємств на основі залежності рівня матеріального стимулювання працівників окремих підрозділів підприємства не тільки від виконання планових показників виробництва та загальних витрат електроенергії, а й від рівня споживання динамічної складової електричної енергії.

7. Встановлено, що ритмічність виробничого процесу розраховується за графіками електричних навантажень підприємства. Одержані формули розрахунку коефіцієнтів ритмічності за величинами активної потужності що споживається

підприємством.

8. Встановлено, що витрати на динамічну складову електричної енергії, що споживається технологічною лінією збагачення, пропорційні періоду та часу завантаження рудою бункерів, що дозволяє за рахунок організаційного керування та матеріального стимулювання працівників забезпечити раціональні режими завантаження бункерів та зменшити енергетичну складову собівартості виробництва залізорудного концентрату.

9. Вперше одержані аналітичні залежності сталої та динамічної складової, питомих витрат електроенергії на гірничорудному підприємстві від логістичних параметрів постачання сировини: періоду та обсягів постачання, продуктивності та енергоефективності технологічного обладнання, що дозволило поділити індивідуальні та групові норми витрат електроенергії на три складові: норми загальних витрат, норми умовно постійних витрат, норми витрат на динаміку електроспоживання, та рекомендувати удосконалити на цій основі методику нормування витрат на електроенергію на гірничорудному підприємстві.

Практичні результати:

1. Розроблена методика економічної оцінки ефективності заходів виконання програм по енергозбереженню кожного підрозділу гірничо-збагачувального комбінату, а саме гірничо- транспортного комплексу, дробильної та збагачувальної фабрик, що дозволяє оцінити та зменшити витрати на електроенергію за рахунок покращення динаміки електроспоживання;

2. Удосконалена методика та система матеріального заохочення працівників окремих підрозділів гірничорудного підприємства за енергозбереження, що враховує конкретний вклад працівників кожного виробничого підрозділу підприємства в енергоефективність та енергозбереження з урахуванням рівня динаміки енергоспоживання;

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

4. Розроблена методика оцінки ритмічності виробничого процесу за динамікою електроспоживання дозволяє одержати синергетичний економічний ефект за рахунок покращення ритмічності роботи підприємства та за рахунок зниження витрат на динамічну, складову електричної енергії;

5. Розроблена методика визначення оптимального плану постачання руди гірничотранспортним комплексом на дробильну фабрику, а саме оптимальної партії та періоду постачання в умовах багатозонного тарифу на електроенергію, що дозволяє мінімізувати витрати на електроенергію та оперативно управляти параметрами логістики постачання руди з кар'єрів гірничорудного підприємства, підвищувати ритмічність виробництва та знизити собівартість продукції.

Результати дисертації рекомендовані до впровадження на гірничорудних підприємствах науково-дослідним гірничорудним інститутом (НДГРІ) Криворізького національного університету, впроваджені та впроваджуються на підприємствах ПрАТ Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод, ПрАТ Нікопольський завод технологічного оснащення, в учбовий процес НТУ «Дніпровська політехніка».

Ключові слова: енергозбереження, економічне стимулювання, собівартість, управління витратами, виробнича логістика, ритмічність виробництва, гірничорудні підприємства.

Abstract

Kochura D. V. Improvement of Economic Incentives for Energy Saving and Ore Supply Logistics to Reduce Production Costs of Mining Enterprises.

A qualification research paper submitted as a manuscript.

A dissertation for obtaining the Doctor of Philosophy degree in the specialty of Economics. - Dnipro University of Technology. Dnipro, 2025.

This dissertation addresses the urgent issue of reducing electricity costs within the production cost structure of mining enterprises through economic incentives for employees to implement measures managing electricity consumption dynamics. The work achieves scientific results characterized by originality and novelty:

1. For the first time, a method is proposed to introduce additional monitoring and accounting of the dynamic component of electricity costs within the frequency ranges of its fluctuations typical for production cycles of enterprise divisions. Unlike general electricity cost monitoring and accounting over time, this approach allows for evaluating and managing production rhythm, assessing expenses related to the dynamic component of electricity in specific production divisions, reducing the electrical cost within the structure of production costs, and improving and personalizing the economic incentive system for personnel based on the specific contribution of each production division to the enterprise's energy-saving program.

2. It has been established that the cost of the dynamic component of electrical energy consumed by a mining enterprise over a given period is directly proportional to the variation coefficient of the dynamic series of active electrical power consumed during this period and the coefficient of production irregularity.

3. It has been proven that the coefficient of production rhythm for energy-intensive enterprises over a certain period is directly proportional to actual electricity consumption during this period and inversely proportional to the specific electricity consumption and planned production output for the same period.

4. An improved single-product inventory management model has been developed for optimizing ore supply by the mining and transport complex to the crushing plant,

minimizing electricity costs. This model replaces the storage cost coefficient for one ton of raw material per unit of time with the electricity cost coefficient for crushing one ton of ore per unit of time. This allows for the optimization of ore supply logistics under the criterion of minimizing electricity costs in the context of multi-zone electricity tariffs. It has been determined that the optimal carrying capacity of transport vehicles is non-linearly dependent on zonal electricity tariffs and their time of application.

5. A method has been proposed for forming and distributing the energy-saving incentive fund among enterprise production divisions based on spectral analysis of active power consumption. The fund size for each division is proportional to the difference in the variance of active power fluctuations between actual and baseline operating modes within the characteristic frequency range for each division.

6. The mechanism of material incentives for mining enterprise workers has been improved. The level of material stimulation for employees of individual enterprise divisions depends not only on the achievement of planned production indicators and overall electricity costs but also on the level of dynamic electricity consumption.

7. It has been established that the production process rhythm can be calculated using enterprise electrical load charts. Formulas have been developed for calculating rhythm coefficients based on the active power consumed by the enterprise.

8. It has been determined that the costs associated with the dynamic component of electricity consumption in the beneficiation production line are proportional to the period and duration of ore loading into bunkers. Organizational management and material incentives for employees can ensure rational bunker loading modes, reducing the energy component of the production cost of iron ore concentrate.

9. For the first time, analytical dependencies of the constant and dynamic components of specific electricity consumption at mining enterprises on logistical parameters of raw material supply have been obtained. These parameters include supply periods and volumes, equipment productivity, and energy efficiency. This has enabled the division of individual and group electricity consumption standards into three components: total consumption norms, conditionally constant consumption norms, and dynamic electricity consumption norms. Based on this, recommendations have been made

to improve the methodology for standardizing electricity consumption at mining enterprises.

Practical results:

1. A methodology for economically evaluating the efficiency of energy-saving program measures for each unit of a mining and beneficiation plant has been developed, including the mining and transport complex, crushing, and beneficiation plants. This enables the assessment and reduction of electricity costs by improving electricity consumption dynamics.

2. The methodology and system of material incentives for employees in specific units of mining enterprises have been enhanced. This system considers the specific contributions of employees in each production unit to energy efficiency and savings, considering the dynamics of energy consumption.

3. A methodology for forming an incentive fund for personnel based on their effective implementation of measures to improve energy consumption dynamics has been developed. This approach allows for assessing the contributions of individual enterprise units to overall electricity savings.

4. A methodology for evaluating the rhythm of the production process through electricity consumption dynamics has been developed. This enables the realization of a synergistic economic effect by improving the operational rhythm of the enterprise and reducing costs related to the dynamic component of electricity consumption.

5. A methodology for determining the optimal ore supply plan by the mining and transport complex to the crushing plant has been proposed. This includes the determination of optimal batch sizes and supply periods under multi-zone electricity tariffs. The methodology minimizes electricity costs, ensures flexible management of logistical parameters for ore supply from mining pits, enhances production rhythm, and reduces production costs.

Keywords: energy saving, economic incentives, cost price, cost management, production logistics, production rhythm, mining enterprises.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці в яких опубліковані основні результати дисертації.

Статті у наукових фахових виданнях України в т. ч. внесених до міжнародних наукометричних баз

1. Кочура Д. В. Економічна оцінка динаміки енергоспоживання виробничими підрозділами підприємства / Д. В. Кочура // Економічний вісник Дніпровської політехніки. -2023. - №1 (81). С. 145-149.

<https://doi.org/10.33271/ebdut/81.145>

2. Кочура Д. В. Економічна оцінка впливу погодних умов на динаміку електроспоживання гірничо-збагачувального комбінату / Д. В. Кочура // Економічний вісник Дніпровської політехніки. -2023. - №2 (82). С. 170-175.

<https://doi.org/10.33271/ebdut/82.170>

3. Кочура Д. В. Удосконалення системи матеріального заохочення працівників гірничорудних підприємств з урахуванням рівня динаміки енергоспоживання / Д. В. Кочура // Економічний вісник Дніпровської політехніки. -2023. - №4 (84). С. 167-172.

<https://doi.org/10.33271/ebdut/84.167>

4. Кочура Д. В. Економіка ритмічності електроспоживання на гірничорудних підприємствах / Д. В. Кочура // Журнал "Наукові Перспективи" Серія: Економіка". -2023. - №12 (42). С. 364-374.

[https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-12\(42\)-364-374](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-12(42)-364-374)

5. Кочура Д. В. Методика оперативної діагностики ритмічності роботи кар'єрів гірничорудного підприємства за динамікою електроспоживання / Д. В. Кочура // Науково-виробничий журнал "Інноваційна економіка ". -2023. - №3 (95). С. 57-62.

<https://doi.org/10.37332/2309-1533.2023.3.7>

6. Кочура Д. В. Оптимізація витрат електроенергії на дробильних фабриках в умовах багатозонального тарифу на електроенергію/ Д. В. Кочура // Електронний журнал "Економіка та суспільство". -2023. - №56.

<https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-86>

7. Кочура Д. В. Економічна оцінка синергетичного ефекту управління динамікою електроспоживання гірничорудного підприємства/ Д. В. Кочура // Електронний журнал "Економіка та суспільство". -2024. - №59.

<https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-105>

8. Кочура Д. В. Економіко-математичне моделювання динаміки енергоспоживання збагачувальної фабрики/ Д. В. Кочура, Демиденко М. А. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. -2024. - №74(1).

<https://doi.org/10.32782/2523-4803/74-1-3>

9. Кочура Д. В. Оцінка виконання плану та ритмічності випуску продукції дробильної фабрики за показниками динаміки електроспоживання / Д. В. Кочура // Науковий журнал «Український журнал прикладної економіки та техніки» -2024 - №1(9). С. 189-194.

<https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-31>

10. Кочура Д. В. Економіка динаміки енергоспоживання дробильних фабрик / Д. В. Кочура // Електронний журнал «Ефективна економіка». -2024. - №3.

<http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.3.96>

11. Кочура Д. В. Удосконалення нормування витрат на електроенергію на гірничорудних підприємствах, з урахуванням динаміки електроспоживання / Д. В. Кочура // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка». - 2024. - №1(61). С. 164-174

[https://doi.org/10.24144/2409-6857.2024.1\(63\).164-174](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2024.1(63).164-174)

12. Кочура Д. В. Чуріканова О. Ю. Зниження витрат на електроенергію в собівартості продукції на основі удосконалення економічного стимулювання енергозбереження на гірничорудних підприємствах: монографія. Дніпро. «Ліра», 2024. 177 с.

Апробація результатів дисертації

Матеріали конференцій

1. Кочура Д. В. (с. 1723-1728) Економічне стимулювання динаміки енергоспоживання гірничорудних підприємств.

X Міжнародна науково-практична конференція

«MODERN PROBLEMS OF SCIENCE, EDUCATION AND SOCIETY»

4-6.12.2023 року

Київ, Україна

<https://sci-conf.com.ua/x-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-problems-of-science-education-and-society-4-6-12-2023-kiyiv-ukrayina-arhiv/>

2. Кочура Д. В. (с. 62-66) "Оптимізація логістики постачання сировини на енергоємні підприємства за економічним критерієм."

Збірник наукових матеріалів СХХХVIII Міжнародної інтернет -конференції «НОВІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ НАУКИ ТА ТЕХНІКИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОЇ КРИЗИ» 9 лютого 2024 р., м. Вінниця

https://el-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/03/Vinnytsia_09022024.pdf

3. Кочура Д. В. "Оцінка ритмічності виробництва продукції за графіком електричних навантажень підприємства."

ІННОВАЦІЙНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ТЕОРІЯ, МЕТОДОЛОГІЯ, ПРАКТИКА

МАТЕРІАЛИ VIII Міжнародної науково-практичної конференції

28-29 лютого 2024 р. м. Київ

<https://novaosvita.com/wp-content/uploads/2024/03/InnTheoryMethPract-Kyiv-Feb2024.pdf>

List of Publications on the Dissertation Topic

1. Kochura D. V. Economic assessment of dynamics of energy consumption by production units of the enterprise/ D. V. Kochura / / Economic Bulletin of Dnipro University of Technology.-2023. - №1 (81). pp. 145-149.
<https://doi.org/10.33271/ebdut/81.145>
2. Kochura D. V. Economic assessment of the influence of weather conditions on the dynamics of energy consumption of a mining and processing plant/ D. V. Kochura / / Economic Bulletin of Dnipro University of Technology.-2023. - №2 (82). Pp. 170-175.
<https://doi.org/10.33271/ebdut/82.170>
3. Kochura D. V. Improved systems of material incentives for employees of mining enterprises, taking into account the level of dynamic energy consumption/ D. V. Kochura / / Economic Bulletin of Dnipro University of Technology. -2023. - №4 (84). Pp. 167-172.
<https://doi.org/10.33271/ebdut/84.167>
4. Kochura D. V. Economics Of The Rhythmic Of Electricity Consumption At Mining Enterprises/ D. V. Kochura / / Journal "Scientific Perspectives" Series: "Economics". -2023. - №12 (42). Pp. 364-374.
[https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-12\(42\)-364-374](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-12(42)-364-374)
5. Kochura D. V. A Methodology Of Operative Diagnostics Of The Rhythmic Work Of Mining Enterprises According To The Dynamics Of Electricity Consumption/ D. V. Kochura / / Scientific and Production Journal "Innovative Economy". -2023. - №3 (95). Pp. 57-62.
<https://doi.org/10.37332/2309-1533.2023.3.7>
6. Kochura D. V. Optimization Of Electricity Costs At Crushing Factories In Conditions Of Multi-Zone Tariff For Electricity/ D. V. Kochura / / Electronic scientific journal "Economy and Society". -2023. - №56.
<https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-86>
7. Kochura D. V. Economic Assessment Of The Synergic Effect Of Managing The Dynamics Of Electric Consumption Of A Mining Enterprise/ D. V. Kochura / / Electronic scientific journal "Economy and Society". -2024. - №59.

<https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-105>

8. Kochura D. V. Economic And Mathematical Modeling Of Cost Dynamics Of Energy Consumption Of The Enrichment Factory/ D. V. Kochura, M. Demydenko A. // Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. -2024.- №74(1).

<https://doi.org/10.32782/2523-4803/74-1-3>

9. Kochura D. V. Assessing the implementation of the plan and the rhythm of production of the crusher based on the dynamics of power consumption/ D. V. Kochura / Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology -2024 - No. 1(9). Pp. 189-194.

<https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-31>

10. Kochura D. V. Economics Of The Energy Consumption Dynamics Of Crushing Plants/ D. V. Kochura // Electronic Journal "Efektyvna ekonomika". -2024. - №3.

<http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.3.96>

11. Kochura D. V. Improving The Ratoring Of Electricity Costs At Mining Enterprises, Taken Into Account Of The Dynamics Of Electricity Demand/ D. V. Kochura // Uzhhorod National University Herald. Series "Economy". - 2024. - №1(61). Pp. 164-174

[https://doi.org/10.24144/2409-6857.2024.1\(63\).164-174](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2024.1(63).164-174)

12. Kochura D. V., Churikanova O. Y. //Reducing electricity costs in the cost price of products based on improving economic incentives for energy saving at mining enterprises/ D. V. Kochura, O. Y. Churikanova // Dnipro, Publishing House "Lira". - 2024. Pp. 177.

Presentation of Dissertation Results

1. Kochura D. V. (Pp. 1723-1728) "Economic Incentivization of Energy Consumption Dynamics in Mining Enterprises. "

X International Scientific and Practical Conference

«MODERN PROBLEMS OF SCIENCE, EDUCATION AND SOCIETY»

4-6.12. 2023

Kyiv, Ukraine

2. Kochura D. V. (Pp. 62-66) "Optimization of Raw Material Supply Logistics for Energy-Intensive Enterprises Based on Economic Criteria. "

Collection of Scientific Materials, CXXXVIII International Internet Conference "NEW DIRECTIONS IN THE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN A GLOBAL CRISIS," 9 February 2024, Vinnytsia

3. Kochura D. V. "Assessment of Production Rhythm by the Electric Load Schedule of an Enterprise."

"INNOVATIVE SCIENTIFIC RESEARCH: THEORY, METHODOLOGY, PRACTICE",

VIII International Scientific and Practical Conference

28–29 February 2024, Kyiv

ЗМІСТ

ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ЗА ЛІТЕРАТУРНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ.....	26
1.1 Аналіз витрат на електроенергію в собівартості продукції гірничорудних підприємств.....	26
1.2 Економіко-технологічні програми енергозбереження.....	28
1.3 Аналіз методів економічного стимулювання на підприємствах.....	33
1.4 Аналіз методів формування собівартості продукції та нормування електроенергії на гірничорудних підприємствах.....	37
1.5 Аналіз моделювання і управління динамікою процесів рудопідготовки, ритмічністю виробництва та логістикою рудопостачання	43
1.6 Обґрунтування методу та напрямків дослідження.....	52
РОЗДІЛ 2 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА І УПРАВЛІННЯ ДИНАМІКОЮ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ТА ЛОГІСТИКОЮ РУДОПОСТАЧАННЯ З МЕТОЮ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	56
2.1 Шляхи зниження витрат на електроенергію за рахунок динаміки електроспоживання процесами рудопідготовки.....	56
2.2 Економіка і управління логістикою рудопостачання та динамікою електроспоживання дробильної фабрики.....	60
2.3 Оптимізація логістики рудопостачання за критерієм витрат на електроенергію дробильною фабрикою в умовах багатозонального тарифу на електроенергію.....	68
2.4 Економічна оцінка впливу режимів завантаження бункерів на вартість електроенергії, що споживається збагачувальною фабрикою.....	80

2.5	Економічна оцінка впливу погодинних умов на динаміку електроспоживання та витрати електроенергії гірничозбагачувального комбінату.....	87
	Висновки.....	94
	РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ РИТМІЧНІСТЮ ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ЗА ДИНАМІКОЮ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	96
3.1	Наукове обґрунтування зв'язку ритмічності виробництва та динаміки електроспоживання на гірничорудних підприємствах....	96
3.2	Оцінка виконання плану та ритмічності випуску продукції дробильної фабрики за показниками динаміки електроспоживання.....	102
3.3	Оперативна діагностика логістичних параметрів та ритмічності роботи кар'єрів гірничорудного підприємства за динамікою електроспоживання.....	113
3.4	Економічна оцінка впливу синергетичного ефекту управління ритмічністю виробництва та динамікою електроспоживання на зниження собівартості продукції гірничорудного підприємства.....	120
	Висновки.....	124
	РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКОНОМІЧНОГО СТИМУЛЮВАННЯ ПЕРСОНАЛУ ТА НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	126
4.1	Формування фонду економічного стимулювання динаміки електроспоживання виробничими підрозділами підприємства.....	126
4.2	Удосконалення систем економічного стимулювання працівників гірничорудних підприємств з урахуванням рівня динаміки електроспоживання.....	130
4.3	Удосконалення нормування витрат на електроенергію на гірничорудних підприємствах з урахуванням динаміки електроспоживання.....	140

Висновок.....	154
ВИСНОВКИ ПО ДИСЕРТАЦІЇ.....	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	160
ДОДАТКИ.....	167
Додаток 1. Таблиці експериментальних даних, результатів моделювання та розрахунків.....	167
Додаток 2. Довідки про впровадження (використання) результатів дисертації:.....	171
1.Довідка науково-дослідного гірничорудного інституту (НДГРІ) Криворізького національного університету.....	171
2.Довідка ПАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод»	172
3.Довідка ПрАТ «Нікопольський завод технологічного оснащення».....	173
4.Довідка НТУ «Дніпровська політехніка».....	175
Додаток 3. Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	176

ВСТУП

1. Актуальність дослідження.

Україна має великі запаси руд чорних та кольорових металів, які є основою її експортного потенціалу та розвитку сировинної бази чорної та кольорової металургії. Гірничорудні підприємства мають у своєму складі кар'єри, рудні шахти, дробарні та збагачувальні фабрики. Основним джерелом енергії, що забезпечує роботу гірничорудних підприємств є електрична енергія.

Специфіка гірничорудних підприємств визначає велику частку витрат на електроенергію (до 50%) в структурі виробничої собівартості залізорудного концентрату. Тому ці підприємства визначаються як енергоємні. У зв'язку із російсько-українською війною виробництво чугуна і сталі в Україні пов'язано з великими труднощами. Тому для вітчизняних гірничорудних компаній єдиною можливістю працювати став експорт. До війни 60 % експорту залізорудної сировини йшло морем в Китай, країни Близького Сходу, Туреччину. Зараз в умовах блокади морських портів єдиною можливістю експорту стала Європа. У зв'язку із відмовою європейських металургів від роботи з російськими постачальниками Україна наростила свою частку залізорудної сировини в країнах ЄС до 30%. Собівартість виробництва залізорудної сировини значно зросла вже до війни. На початок 2022 року ціни на виробництво залізорудного концентрату зросли на 34%. Цей ріст обґрунтовувався стрибком цін на електроенергію. У 2023 році ця ситуація ще загострилась у зв'язку із обстрілами енергетичної інфраструктури України та з подальшим підвищенням цін на електроенергію. Така ситуація поставила гірничорудні підприємства на межу виживання. У зв'язку з цим проблема зниження витрат на електроенергію в структурі виробничої собівартості залізорудної сировини є дуже актуальною.

Проблема загострюється тим, що технологічне обладнання гірничорудних підприємств є застарілим. Перехід на більш енергоефективні технології та обладнання потребують великих інвестицій, що в умовах війни неможливо. Тому резерви зниження енергетичної складовою виробничої собівартості залізорудної

сировини треба шукати нетрадиційними методами там, де не треба значних капітальних вкладень. Енергоспоживання гірничорудних підприємств має нерівномірний характер. Коливання електричної потужності, що споживається гірничотранспортним і комплексами, дробильними та збагачувальними фабриками становить 20-30 відсотків від загальної встановленої потужності електрообладнання що дорівнює сотні тисяч та мільйони кВт. Ці коливання визначаються дискретним характером добутку та подачі руди, коливаннями кількості та якості руди, режимами роботи гірничотранспортного комплексу. Тобто загальна активна потужність та електрична енергія, що споживається підприємством у часі має дві складові - статичну та динамічну. Статична складова визначається типом та потужністю встановленого електрообладнання, номінальними технологічними режимами роботи, середніми значеннями якісних характеристик руди. Динамічна складова визначається ритмічністю виробництва, динамікою руху мільйонів тон руди, дисперсією коливань якості руди, реальними режимами роботи та технічним станом гірничотранспортного, дробильного та збагачувального обладнання, сумлінністю та дисципліною виконання своїх обов'язків працівниками підприємства.

Проблемам енергозбереження та енергоефективності, підвищення економічної ефективності гірничорудних підприємств присвячені роботи вчених: Амоші А. І., Афанасьєва В. Г., Бардась А. В., Варави Л. Н., Вагонової А. Г., Заїки В. Т., Іщенко М. І., Кальянової Н. В., Качана Ю. Г., Ліра В. Е., Максимова С. В., Півняка Г. Г., Праховніка А. В., Піліпенко Г. М., Прокопенко В. І., Розумного Ю. Г., Суходолі О. М., Темченко А. Г., Темченко О. А., Швець В. Я. та інших вчених. Але проблема економіки та управління динамікою електроспоживання з метою зниження витрат на електроенергію в структурі виробничої собівартості продукції гірничорудних підприємств залишилась невирішеною.

Економічне стимулювання працівників підприємств енергозбереження як правило визначається за критерієм загального енергоспоживання підприємства за конкретний період часу і не враховує динаміку енергоспоживання. Ці критерії визначаються в основному результатами роботи працівників підприємства по

виконанню планових завдань. Управління динамікою енергоспоживання економічними методами є резервом зменшення енергетичної складової виробничої собівартості продукції гірничорудних підприємств. Тому проблема удосконалення механізму матеріального заохочення працівників гірничорудних підприємств з урахуванням рівня динаміки енергоспоживання з метою енергозбереження є актуальною.

2. Зв'язок наукового дослідження з планом виконання держбюджетних науково-дослідних робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Робота зв'язана з Державними програмами України з енергозбереження та енергоефективності, Законом України «Про енергозбереження». Дослідження виконувались в рамках виконання держбюджетної науково-дослідної роботи «Зниження витрат на електроенергію в структурі собівартості продукції гірничорудних підприємств за рахунок управління динамікою електроспоживання економічними методами». Державний реєстраційний номер 0123U104579. Відповідальний виконавець аспірант Кочура Денис Віталійович.

3. Мета та задачі дослідження.

Метою дослідження є удосконалення економічного механізму енергозбереження шляхом зниження витрат на електроенергію в структурі виробничої собівартості продукції гірничорудних підприємств на основі економічного стимулювання працівників за виконання заходів по управлінню динамікою електроспоживання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі дослідження:

1. Виконати економічну оцінку управління динамікою електроспоживання та логістикою рудопостачання з метою енергозбереження на гірничорудних підприємствах.

2. Розробити методи та зробити економічну оцінку управління ритмічністю виробництва на гірничорудних підприємствах за динамікою витрат електроенергії.

3. Удосконалити методи економічного стимулювання персоналу

гірничорудних підприємств та нормування витрат електроенергії з урахуванням динаміки електроспоживання.

4. Опис об'єкта та предмета дослідження.

Об'єктом дослідження є економічні механізми управління енергозбереженням на виробництві.

Предметом дослідження є економічні методи оцінки та управління динамікою електроспоживання та виробничої логістики гірничорудних підприємств з метою зниження витрат на електроенергію в структурі виробничої собівартості продукції.

5 Методи дослідження.

Достовірність одержаних висновків та результатів дисертації підтверджуються використанням апробованих методів дослідження. Методи організації та управління гірничорудними підприємствами використані для побудови моделей роботи гірничотранспортного комплексу, дробильної та збагачувальної фабрики. Для моделювання динаміки електроспоживання використані методи статистичної динаміки випадкових процесів. Методи енергоменеджменту використані для дослідження управління динамікою електроспоживання. Методи дослідження операцій та управління запасами використані для оптимізації витрат на електроенергію на дробильних фабриках. Методи комп'ютерного моделювання використані для моделювання динаміки електроспоживання збагачувальної фабрики. Методи обробки результатів експериментальних досліджень та економічного аналізу використані для економічної оцінки впливу погодних умов на динаміку електроспоживання гірничо-збагачувального комбінату. Для обґрунтування методу оцінки виконання плану випуску продукції за показниками ритмічності електроспоживання використані апробовані методи вимірювання та економічного аналізу ритмічності виробництва продукції. Зв'язок між показниками аритмічності випуску продукції та аритмічності електроспоживання встановлено на основі теорії дроблення корисних копалин та аналізу електричних навантажень з теорії електропостачання промислових підприємств. Методи економічного аналізу використані для оцінки

впливу заходів по управлінню динамікою електроспоживання на виробничу ритмічність та економічні показники діяльності гірничорудного підприємства.

6. Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше запропоновано додатково вести моніторинг та облік вартості динамічної складової електроенергії на підприємстві в частотних діапазонах її коливань, характерних для виробничих циклів підрозділів підприємства, що на відміну від моніторингу та обліку загальних витрат електроенергії у часі дозволяє оцінювати та управляти ритмічністю виробництва, витратами на динамічну складову електроенергії в окремих виробничих підрозділах підприємства, знизити вартість енергетичної складової в структурі виробничої собівартості продукції підприємства та удосконалити і персоніфікувати систему економічного стимулювання персоналу з урахуванням конкретного вкладу кожного виробничого підрозділу підприємства в реалізацію програми енергозбереження на підприємстві.

2. Встановлено, що вартість динамічної складової електричної енергії, що споживається гірничорудним підприємством за певний період часу прямо пропорційна коефіцієнту варіації динамічного ряду електричної активної потужності, що споживається за цей період та коефіцієнту аритмічності виробництва.

3. Удосконалена однопродуктова модель управління запасами з метою застосування її для оптимізації постачання руди гірничотранспортним комплексом на дробильну фабрику за критерієм мінімальних витрат на електроенергію, що відрізняється заміною коефіцієнта вартості зберігання однієї тони руди протягом одиниці часу на коефіцієнт вартості електроенергії, що витрачається на дроблення однієї тони руди протягом одиниці часу, що дає можливість оптимізувати логістичні параметри рудопостачання, такі як: обсяг поставки, число поставок за зміну, за критерієм мінімумом витрат електроенергії в умовах багатозонного тарифу на електроенергію. Встановлено, що оптимальна вантажопідйомність транспортних засобів залежить від тарифу на електроенергію та часу його дії.

4. Доведено, що коефіцієнт ритмічності виробництва продукції на енергоємних підприємствах за певний відрізок часу прямо пропорційний

фактичному споживанню електроенергії за цей відрізок часу та обернено пропорційний питомим витратам електроенергії та плановому випуску продукції за цей період часу.

5. Запропонована методика формування та розподілу фонду економічного стимулювання енергозбереження за рахунок покращення динаміки енергозбереження між виробничими підрозділами підприємства на основі спектрального аналізу активної потужності, що споживається підприємством, при чому розмір фонду для кожного підрозділу пропорційний різниці дисперсій коливань активної потужності в фактичному та номінальному режимах роботи, що споживаються в характерному для кожного підрозділу діапазоні робочих частот, які визначаються виробничими циклами підрозділів.

6. Удосконалено механізм матеріального заохочення працівників гірничорудних підприємств на основі залежності рівня матеріального стимулювання не тільки від виконання планових показників виробництва та загальних витрат електроенергії, а й від рівня споживання динамічної складової електроенергії.

7. Вперше одержані аналітичні залежності сталої та динамічної складової витрат на електроенергію на гірничорудному підприємстві від логістичних параметрів постачання сировини: періоду та обсягів постачання, продуктивності та енергоефективності обладнання, що дозволило поділити індивідуальні та групові норми витрат електроенергії на три складові: норми загальних витрат, норми умовно-постійних, норми витрат на динаміку електроспоживання та рекомендувати удосконалити на цій основі методику нормування витрат на електроенергію на гірничорудному підприємстві.

8. Встановлено функціональний взаємозв'язок між ритмічністю виробничих процесів гірничорудних підприємств та ритмічністю їх електроспоживання, що дало можливість оперативно оцінювати ритмічність виробничих процесів за динамікою електроспоживання. Встановлено, що ритмічність виробничого процесу розраховується за графіками електричних навантажень підприємства. Одержані нові формули розрахунку коефіцієнтів ритмічності за величинами

активної потужності, що споживається підприємством.

9. Встановлено, що витрати на динамічну складову електричної енергії, що споживається збагачувальною фабрикою, пропорційні періоду та часу завантаження бункерів, що дозволяє за рахунок організаційного керування та матеріального стимулювання оперативного персоналу збагачувальної фабрики забезпечити раціональний режим завантаження бункерів та скоротити енергетичну складову собівартості виробництва залізорудного концентрату.

7. Практичні результати.

1. Розроблена методика економічної оцінки ефективності виконання заходів по енергозбереженню кожного підрозділу гірничо-збагачувального комбінату, а саме гірничотранспортного комплексу, дробильної та збагачувальної фабрики, що дозволяє оцінити та зменшити витрати на електроенергію за рахунок покращення динаміки електроспоживання.

2. Удосконалена методика та система матеріального заохочення працівників окремих підрозділів гірничорудного підприємства за енергозбереження, що враховує конкретний вклад працівників кожного виробничого підрозділу підприємства в енергоефективність та енергозбереження з урахуванням рівня динаміки електроспоживання, що дозволяє підвищити мотивацію працівників в реалізації заходів енергозбереження.

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

4. Розроблена методика оперативної оцінки ритмічності виробничого процесу у часі за динамікою електроспоживання дозволяє отримати синергетичний економічний ефект за рахунок покращення ритмічності роботи підприємства та за рахунок зниження витрат на динамічну складову електроенергії.

5. Розроблена методика визначення оптимального плану постачання руди гірничотранспортним комплексом на дробильну фабрику, а саме оптимальної партії та періоду постачання в умовах багатозонного тарифу на електроенергію,

дозволяє мінімізувати сумарні витрати на електроенергію та оперативно управляти параметрами логістики постачання руди з кар'єрів гірничорудного підприємства, підвищувати ритмічність виробництва та знизити собівартість продукції.

6. Розроблений оперативний метод визначення ритмічності та виконання плану виробництва продукції дробильними фабриками шляхом аналізу внутрішньо-змінних погодинних діаграм електричного навантаження дозволяють оперативно оцінити процес виконання плану і ритмічність виробництва в процесі виробництва до моменту відвантаження готової продукції.

7. Розроблені рекомендації по удосконаленню методики нормування витрат на електроенергію з урахуванням динаміки електроспоживання дозволяють розробляти економічні та організаційні заходи по енергозбереженню та знизити витрати електроенергії в структурі виробничої собівартості продукції гірничорудних підприємств.

8. В результаті впровадження наукових та практичних результатів роботи економія електроенергії від впровадження раціонального режиму завантаження бункерів рудозбагачувальної фабрики у порівнянні із базовим існуючим режимом складає по даним комп'ютерного моделювання при однозонному тарифі на електроенергію 596,48 грн/МВт·год за рік 26 626 800 грн.

9. Апробація результатів.

- Економічні та технічні пропозиції по зниженню вартості електроенергії в структурі собівартості продукції, розроблені на основі результатів одержаних в дисертаційній роботі рекомендуються до впровадження на гірничорудних підприємствах України.

- Матеріали дисертаційної роботи використані при викладанні дисципліни «Економіка підприємств» для студентів спеціальності 051 «Економіка» в НТУ «Дніпровська політехніка».

- Результати досліджень доповідали на трьох міжнародних конференціях.

- По результатам дисертації опубліковано 12 наукових статей у фахових виданнях та одна монографія. Загальний обсяг публікацій 10 друкованих аркушів.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

1.1 Аналіз витрат на електроенергію в собівартості продукції гірничорудних підприємств України

Проблемам енергозбереження та енергоефективності присвяченні роботи вчених: Амоші А. І., Афанасьєва В. Г., Заїки В. Т., Кальянової Н. В., Качана Ю. Г., Ліра В. Є., Максимова С. В., Півняка Г. Г., Праховніка А. В., Темченка А. Г., Темченка О. А., Розумного Ю. Г. Суходолі О. М. та інших.

Проблемами підвищення економічної ефективності гірничорудних підприємств займалися Варава Л. Н., Іщенко М. І., Прокопенко В. І., Вагонова А. Г., Бардась А. В., Пилипенко Г. М., Швець В. Я. та інші вчені.

Сучасний стан економіко-технологічних проблем електроспоживання та енергозбереження на гірничорудних підприємствах детально розглянуто в роботі [27].

Гірничорудна промисловість України характеризується високою енергоємністю, що значною мірою визначається застарілими виробничими фондами, зношеністю обладнання, недосконалістю технологій та іншими чинниками. У теперішній час рівень електроспоживання на одиницю продукції на гірничо-збагачувальних комбінатах України у декілька разів вищий ніж у розвинутих країнах. Незважаючи на значне зростання тарифів на електроенергію використання її недостатньо ефективно. Виробництво залізорудного концентрату на гірничозбагачувальних підприємствах є основою сировинної бази чорної металургії України. При цьому відомо, що витрати на електроенергію становлять близько 55-60 % у складі собівартості товарної продукції гірничорудних підприємств. Процеси видобутку, дроблення та збагачення руд зі змінними властивостями являють собою коливальні динамічні процеси, що зумовлюють підвищення витрат електроенергії на коливання великих мас рудної сировини, збільшуючи при цьому енергетичну складову собівартості виробництва продукції гірничорудних підприємств. У цих умовах проблема зниження динамічної

енергетичної складової собівартості виробництва продукції гірничорудних підприємств на основі управління динамікою енергоспоживання економічними методами є актуальною.

Проблеми енергоефективності та енергозбереження на гірничих гірничорудних підприємствах було присвячено багато робіт. Останні роки кількість наукових робіт у цих галузях дещо знизилась, але актуальність проблеми енергоефективності та енергозбереження тільки загострилась.

На гірничо-збагачувальних підприємствах енергетичні витрати в структурі собівартості продукції складають значну питому вагу [30], наприклад, на ВАТ «Півн ГЗК» - відповідно у 2002 і 2003 рр. 32, 33%, а на РУ ГЗК «КГМК» енергоресурси у структурі собівартості складають 35-45%, споживання електроенергії у вартісному виразі складає, у порівнянні з іншими гірничо-збагачувальними комбінатами Кривбасу, у середньому 85-90%.

Зниження рівня електроспоживання зараз є однією з необхідних умов розвитку виробництва й у першу чергу - гірничодобувних підприємств як найбільш енергоємних, оскільки забезпечує зниження собівартості продукції і сприяє істотному скороченню інвестиційних витрат, пов'язаних з виробництвом додаткової кількості енергоресурсів у масштабах народного господарства. Одночасно поліпшення використання електричної енергії приводить до зростання продуктивності праці й обсягу випуску продукції, поліпшення структури електробалансу за рахунок скорочення непродуктивних витрат і збитків.

У роботі [18] запропоновано стабілізувати якісні характеристики руди в рудопотоках, що дозволить збільшити валовий прибуток гірничо-збагачувальних комбінатів та знизити загальні витрати електроенергії..

У роботі [16] запропоновані організаційні та технічні засоби по економії електроенергії на вугільних шахтах, на процесах провітрювання та водовідливу. Дослідження енергомісткості витрат гірничо-рудних підприємств виконано в роботі [30], запропоновано впровадження нових енергозберігаючих технологій, впровадження нового дробильного обладнання з використанням вібраційних впливів.

У роботі [9] процес подачі руди на дробильну фабрику надається у вигляді імпульсного процесу. Амплітудою прямокутних імпульсів була визначена масова доля заліза в руді. Динамічними параметрами процесу є період і тривалість подачі руди. Досліджувався вплив цих параметрів імпульсного процесу на економічні показники діяльності гірничо-збагачувального комбінату і якість концентрату, дохід, собівартість і прибуток. Дослідження динаміки енергоспоживання з метою енергозбереження в цій роботі не проводились. В роботі [12] методом імітаційного моделювання моделювались витрати електроенергії в процесі дроблення сировини. Подача руди на дробильну фабрику моделювалась у вигляді періодичної послідовності прямокутних імпульсів. Амплітудою прямокутних імпульсів являлась щільність руди, яка функціонально зв'язана із твердістю руди. Одержані експериментальні залежності собівартості продукції дробильних фабрик від параметрів рудопостачання, періоду поставок та часу дроблення. Одержані результати потребують уточнення, так як витрати електроенергії залежать від питомих витрат електроенергії на одиницю маси руди. А процес зміни маси руди, що завантажується у шокову дробарку та активна потужність, що споживається, наприклад шоковою дробаркою, моделюються трикутниками або експоненціальними імпульсами. Крім того, бажано одержати аналітичні формули, що описують динаміку електроспоживання у загальному вигляді, з урахуванням логістичних параметрів постачання руди гірничотранспортним комплексом.

1.2 Економіко-технологічні програми енергозбереження та енергоспоживання на гірничорудних підприємствах.

У роботі [28] розглянуто економіко-технологічні передумови формування програми енергозбереження на гірничорудних підприємствах.

Першим етапом реалізації програми по енергозбереженню є проведення організаційних заходів, що дають можливість без великих капіталовкладень знизити рівень енергоспоживання. На другому етапі проводяться оптимізаційні заходи, що дозволяють зменшити споживання енергоресурсів без зміни технологічної схеми гірничого виробництва. На третьому етапі приступають до модернізації технологічного циклу з метою зниження витрат на енергоспоживання,

або здійснюють у разі можливості заміну застарілого технологічного обладнання на нове - менш енергоємне.

Розглянуті передумови формування програм енергозбереження на гірничорудних підприємствах. Запропоновано, на стадії дроблення руди модернізація або заміна дробарок на менш енергоємні. Дробильні фабрики рудної та нерудної сировини, значною мірою визначають собівартість продукції гірничо-збагачувальних комбінатів та підприємств промисловості будівельних матеріалів. В структурі собівартості продукції дробильних фабрик, витрати на електроенергію складають 50-60%. Сировина постачається на дробильні фабрики автомобільним або залізничним транспортом. Процес постачання сировини, розвантаження транспортних ємностей та завантаження дробарок має дискретний характер. Тому процес електроспоживання дробарками має динамічний характер. Відомі методи енергозбереження такі як впровадження більш ефективних дробарок, облік та контроль витрат на електроенергію за допомогою автоматизованих систем контролю, потребують значних капіталовкладень і направлені на економію загальних витрат на електроенергію і не враховують динаміку електроспоживання. Але відомо, що динамічна складова електроенергії є основною для процесів дроблення. У зв'язку із дефіцитом електроенергії в Україні, що виникла під час війни, проблема економії електроенергії в промисловості є дуже актуальною.

Залишається невирішеною проблема економічної оцінці витрат електроенергії на динаміку енергоспоживання дробарним устаткуванням та їх зв'язку із логістичними параметрами постачання рудних та нерудних матеріалів на дробильну фабрику.

Також невирішена проблема розробки економічних засобів матеріального стимулювання працівників дробильної фабрики та транспортного цеху за результатами виконання заходів по економії електроенергії за рахунок покращення динаміки енергоспоживання.

Теперішні роботи в галузі енергозбереження присвячені розробці комплексних програм енергозбереження на гірничо-рудних підприємствах, що вміщують організаційні заходи та модернізацію застарілого технологічного

обладнання на нове - менш енергоємне [51]. У роботі [10] зроблено аналіз незадовільного сучасного стану електроспоживання та енергозбереження на гірничо-збагачувальних комбінатах. Як показник електроспоживання пропонуються питомі витрати електроенергії на одиницю продукції. У роботі [12] розглянуто формування собівартості продукції дробильних фабрик в умовах багатозонного тарифу на електроенергію. У роботі [8] виконано моделювання впливу обсягів партій поставок руди на собівартість концентрату. Недоліком цієї роботи є те що рудопостачання на збагачувальну фабрику безпосередньо здійснюється системою загрузки бункерів, а не залізничними думпкарами. Але вплив алгоритму загрузки бункерів на енергоспоживання збагачувальної фабрики не розглядався.

Формування варіантів програми енергозбереження ґрунтується на аналізі організації гірничозбагачувального виробництва, який дозволяє встановити, що найбільш значимим з позицій економічної ефективності є енергозбереження на стадії гірничого й збагачувального переділів, основними технологічними процесами яких є дроблення й особливо подрібнення.

Модернізація або заміна млинів (зменшення ковзання тіл, що мелють, по поверхні футеровки за рахунок дотримання оптимального профілю, підвищення щільності кульового завантаження й оптимізації його гранулометричного складу, автоматизація вузла подрібнювання, збільшення робочого об'єму кульового млина та ін.).

Для стабільної виробничо-господарській діяльності гірничорудних необхідно терміново впроваджувати сучасні системи нормування енергоспоживання, які пов'язані з енергетичним обліком, контролем і аналізом енерговикористання та утворюють разом з ними комплексну систему робіт, що планомірно проводяться і періодично повторюються, та забезпечують ефективне використання енергоресурсів. Невідкладне вирішення вказаної проблеми передбачено законодавством України, зокрема, Законом України «Про енергозбереження», що також обумовлюється нагальною необхідністю забезпечення конкурентоспроможності вітчизняного гірничо-збагачувального

виробництва у цілому.

Встановлено, що при формуванні програми енергозбереження на гірничорудних підприємствах використовуються в основному технологічні заходи, пов'язані з модернізацією спеціального устаткування на різних стадіях дроблення й подрібнювання та значними капітальними вкладеннями.

Взаємозалежність основних напрямів енергозбереження на стадіях гірничого та збагачувального переділів, а також взаємозв'язок техніко-економічних показників роботи вітчизняних підприємств в цілому з показниками основних технологічних процесів визначають доцільність формування й економічного обґрунтування варіантів програми енергозбереження, що передбачають можливість одержання системних (синергетичних) ефектів. Сучасні інноваційні технології і заходи, які можуть бути використані з метою економії, насамперед, електроенергії; обумовлюють безліч альтернативних варіантів програми енергозбереження на гірничорудних підприємствах. Кількість варіантів програми, по суті, визначається кількістю можливих комбінацій окремих енергозберігаючих заходів на основних технологічних процесах. Заходи щодо зниження витрат енергоресурсів на гірничорудних підприємствах, по суті носять характер окремих інвестиційних проектів. При прийнятті відповідних рішень щодо реалізації програми енергозбереження необхідно використовувати різні критерії ефективності, що відбивають певні аспекти виробничо-господарської діяльності підприємства.

Для обґрунтування програми енергозбереження на гірничорудних підприємствах можуть бути використані, перш за все, технологічні, економічні й комбіновані критерії. Цей поділ досить умовний, оскільки окремі показники можуть бути віднесені одночасно до різних груп. Зрозуміло, що найбільш ємними є економічні критерії.

Формування варіантів програми енергозбереження пропонується здійснювати методом послідовного перебору з використанням експертних оцінок. При цьому вибір оптимального варіанта програми енергозбереження здійснюється за максимальним значенням пропонованого критерію ефективності. Після

формування програми енергозбереження гірничорудного підприємства необхідно виділити в ній пріоритетні заходи й у загальному вигляді визначити послідовність реалізації проектів. У якості технологічних критеріїв ефективності програми енергозбереження пропонується оцінити абсолютне й питоме споживання енергоресурсів на підприємстві.

В роботі [30] проведено аналіз структури витрат на виробництво продукції гірничорудних підприємств та запропоновано впровадження енергозберігаючих засобів та технологій у виробничий процес гірничорудних підприємств.

Як відомо, [30] основна частка техніко-економічного обґрунтованих енергозберігаючих заходів припадає на електроенергію і становить 60-65 %. Це обумовлено тим, що електроенергія є найбільш застосованим видом енергії і разом з тим достатньо коштовним. В зв'язку з цим, більшість заходів, направлених на економію електроенергії пов'язано перш за все з компенсацію реактивної потужності, фільтрацією вищих гармонічних складових, використанням енергоефективних джерел освітлення; з оптимізацію режимів навантаження трансформаторів і електродвигунів; використанням частотно-регульованого електроприводу на насосних установках із стабілізацію тиску в гідросистемі та рівня рідини в ємностях; зміною енергоємних компресорних установок на установки з меншим питомим енергоспоживанням. Але в відомих роботах не розглядаються питання управління динамікою електроспоживання як резерву зменшення витрат на електроенергію в собівартості продукції.

Процес споживання енергетичних ресурсів на гірничорудних підприємствах формується під впливом великого числа гірничо-геологічних, виробничо-технологічних, організаційно-управлінських факторів і представляє собою випадковий процес. Це тягне за собою необхідність застосування при проведенні енергетичних досліджень методів аналізу, які дозволили б ідентифікувати енергоспоживання як випадковий процес. Процес енергоспоживання на гірничорудних підприємствах передбачає: аналіз загального по підприємству режиму енергоспоживання, витрат на нього, а також його структуру; аналіз енергозабезпечення підприємства з врахуванням єдиного енергетичного

еквіваленту; вартісний аналіз кожного енергетичного ресурсу, що оцінений в енергетичному еквіваленті; аналіз енергетичних потоків кожного з енергетичних ресурсів, які використовуються на підприємстві з встановленням їх структурних характеристик за організаційними, технологічними та іншими ознаками; встановлення оцінок, характеристик, закономірностей, споживання енергетичних ресурсів, критичний аналіз енергетичних потоків з визначенням напрямів зниження рівня енергоспоживання; синтез проєктних рішень з підвищення енергоефективності; експертиза проєктних рішень, в тому числі проведення їх техніко-економічної оцінки з складанням проєкту програми підвищення енергоефективності підприємства; презентація результатів енергетичних ресурсів, що забезпечує мотивацію відповідальних осіб та персоналу підприємств щодо реалізації політики підвищення енергоефективності та зниження собівартості продукції.

Таким чином, впровадження енергозберігаючих технологій у виробничий процес гірничорудних підприємств дозволить суттєво зменшити собівартість продукції та підвищити її конкурентні переваги на внутрішніх та зовнішніх ринках, а також забезпечить певний економічний, екологічний та соціальний ефекти для гірничорудних підприємств України.

1.3 Аналіз методів економічного стимулювання персоналу на підприємствах

Загальний аналіз стану та методів економічного стимулювання персоналу у гірничорудній промисловості наведено у роботах [12], [34].

Незважаючи на те, що про систему стимулювання праці говориться дуже багато і, здавалося б, уже все відомо про те, як зробити систему найбільш ефективною, менеджери з персоналу та керівники постійно шукають нові форми мотивації співробітників, нові методи виховання відданості працівників підприємству й утримання висококваліфікованого персоналу в організації.

Навіть досвідчені керівники часто скаржаться на те, що «у людей немає стимулу працювати краще». Однак винні в цьому самі керівники, які встановили такий порядок в організації, а вже ніяк не співробітники. Якщо у підлеглих немає

стимулу працювати краще, причина криється в наступному: неправильний відбір, невизначеність цілей, неефективні системи оцінки виконуваної роботи і винагороди, або ж нездатність керівника сформулювати правильне сприйняття систем оцінки виконуваної роботи і винагороди в організації [12]. Причини виникнення аритмічності в подачі сировини дуже пов'язані з персоналом. Можливо припустити, що через питання з персоналом опосередковано пов'язані й інші причини, на які має вплив антропогенний фактор виробництва.

Для подальшого аналізу систем стимулювання і мотивації праці слід дати їм визначення.

Стимулювання – це, перш за все, зовнішнє спонукання, елемент трудової ситуації що впливає на поведінку людини в сфері праці, це матеріальна оболонка мотивації персоналу і нематеріальна, які дають можливість працівникові реалізувати себе не тільки як професіонала, але і як особистість.

У широкому сенсі слова стимулювання - це сукупність вимог і відповідна їм система заохочень і покарань. Стимулювання передбачає наявність в органів управління набору благ, здатних задовольнити значущі сьогодні і зараз потреби працівника і використовувати їх в якості винагороди за успішну реалізацію трудових функцій. Розрізняють моральне, організаційне та інші види стимулювання.

Мотивація праці - це прагнення працівника задовольнити потреби (отримати певні блага) за допомогою трудової діяльності. До структури мотиву праці входять: потреба, яку хоче задовольнити працівник; благо, здатне задовольнити цю потребу; трудові дії, необхідні для отримання блага; ціна - витрати матеріального і морального характеру, пов'язані із здійсненням трудових дій.

Мотив праці - це збуджуюча причина трудової діяльності індивіду, що викликана його інтересами та потребами, задоволення яких можливо шляхом отримання благ, що є життєвою необхідністю, з найменшими моральними та матеріальними витратами.

Стимулювання праці - це перш за все зовнішнє спонукання, елемент трудової ситуації, що впливає на поведінку людини в сфері праці, матеріальна оболонка

мотивації персоналу. Разом з тим воно несе в собі і нематеріальне навантаження, що дозволяє працівникові реалізувати себе як особистість і працівника одночасно. Воно виконує економічну, соціальну, моральну функції.

Економічна функція виражається насамперед у тому, що стимулювання праці сприяє підвищенню ефективності виробництва, яке виражається в підвищенні продуктивності праці і якості продукції.

Моральна функція визначається тим, що стимули до праці формують активну життєву позицію, високоморальний громадський клімат в суспільстві. При цьому важливо забезпечити правильну й обґрунтовану систему стимулів з урахуванням традиції й історичного досвіду.

Соціальна функція забезпечується формуванням соціальної структури суспільства через різний рівень доходів. Крім того, формування потреб, а в підсумку і розвиток особистості також зумовлюються організацією і стимулюванням праці в суспільстві.

Економічним механізмам енергозбереження присвячено багато досліджень. Так, в роботі [45] запропоновані організаційні та технічні заходи енергозбереження в системах електропостачання об'єктів промисловості. В роботі [13] розглянуті загальні питання економічного стимулювання енергозбереження у контексті розвитку економіки України. В роботі [47] розроблені методологічні заходи прийняття управлінських рішень у сфері енергоефективності. В роботах [9, 12] запропоновано за виконання заходів по енергозбереженню підвищувати зарплатню персоналу в залежності від кваліфікації. При чому рішення про підвищення зарплати приймається адміністративно-кваліфікаційною комісією. В роботі [19] передбачено преміювання робітників за економію електроенергії в цілому по підприємству за звітній період. Рішення про розмір премій виноситься 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.

Необхідно удосконалити методику формування фонду економічного стимулювання персоналу підприємства за впровадження заходів по енергозбереженню та адресного розподілу цього фонду між основними технологічними цехами підприємства на основі аналізу динаміки енергоспоживання.

Розглянемо основні моменти існуючої системи мотивації та стимулювання праці на підприємстві ПАТ «Інгулецький гірничозбагачувальний комбінат» [9]. Підприємство входить до складу гірничодобувного дивізіону групи Метінвест. До цієї групи також входять ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» та ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат». В сумі підприємства складають 50% підприємств Кривого Рогу. Особливостями кадрових питань на цих підприємствах є введення в обіг єдиної інформаційної бази працівників підприємств. Таким чином досягається контроль за пересуванням кадрів між цими підприємствами, тобто виконується функція стимулювання праці на рівні антистимулу: робітник знає, що якщо його буде звільнено, або він звільниться за власним бажанням, то його перспективи працювати на інших підприємствах даної групи практично дорівнюють нулю. Щодо матеріального стимулювання праці ситуація дещо інша: характерною особливістю є розподіл працівників не тільки за тарифними ставками, а й за кваліфікаційними групами всередині тарифної сітки. Тобто на посаду існує базова ставка. Кожні пів року проводяться кваліфікаційні іспити, згідно яких працівник переводиться до однієї з трьох груп: А, В або С. Група А не отримує доплат до базової ставки. Група В отримує доплату в розмірі 10% від базової ставки. Група С отримує доплату у розмірі 20% від базової ставки. Незважаючи на таку систему і досі на підприємствах даної групи існують проблеми з низькою зацікавленістю у результатах праці. Системи преміювань працівників робочої ланки на даних підприємствах не існує. Це є явним недоліком цієї системи.

Таким чином впровадження управлінських рішень, що вимагають підвищеної віддачі від працівників підприємства, вимагає збільшення матеріальної, а також нематеріальної зацікавленості робітників у результатах праці.

В роботі [9] запропоновано штрафувати працівників за порушення у роботі транспортного цеху гірничорудного підприємства.

В роботі [12] проведено аналіз факторів впливу на ефективність роботи персоналу. Обґрунтування необхідності змін в системі мотивації праці побудовано на основі висновку, що матеріальна зацікавленість - основний фактор, що впливає на мотивацію праці. Приведені приклади організаційних змін та змін в системі оплати праці підтверджуються наявними результатами подібних перетворень.

На основі аналізу літературних джерел можливо зробити висновок, що ніде не пропонується стимулювати адресно працівників різних підрозділів за їх конкретний внесок в економію електроенергії підприємством, а також за динаміку електроспоживання, що пов'язана із ритмічністю виробництва.

Враховуючи тяжкий стан енергетики України з дефіцитом електроенергії, конче необхідно удосконалити систему економічного стимулювання працівників за енергозбереження.

1.4 Аналіз методів формування собівартості продукції гірничорудних підприємств

Аналіз економіки гірничорудних підприємств наведений в [22] показує, що підприємства можуть впливати на свій прибуток тільки за рахунок зниження собівартості продукції або підвищення виторгу від реалізації шляхом підвищення ціни.

Собівартість продукції є одним з узагальнюючих показників, який характеризує найрізноманітніші сторони діяльності підприємства та його цехів, тому питання зниження собівартості продукції є актуальним у різних галузях економіки та виробництва і привертає до себе увагу багатьох фахівців. Особливу увагу було приділено ресурсоємним виробництвам, пов'язаним з видобутком та подальшим використанням корисних копалин, як то видобуток та збагачення руд.

Питанням зниження собівартості продукції присвячено багато публікацій. Можна зустріти різні аналітичні та статистичні формули розрахунку собівартості продукції гірничорудних підприємств, що використовувались дослідниками для демонстрації ролі того чи іншого показника в економічних результатах виробничої

діяльності гірничозбагачувального підприємства. В таких дослідженнях під терміном «собівартість продукції» мається на увазі її виробнича собівартість - витрати на виробництво продукції в межах підприємства. Це дозволяє виключити при аналізі витрати, що не пов'язані з виробничим потенціалом гірничозбагачувального виробництва: витрати на збут і адміністративні витрати. При аналізі впливу різних показників на собівартість концентрату використовуються як статистичні так і теоретичні формули. Так для оцінки впливу вмісту кожного компоненту якісного складу залізних руд на собівартість концентрату використовується множинна регресія. Проте залежності, отримані методом кореляційно-регресійного аналізу, мають статистичний характер. Вони описують лише загальний вигляд залежності, не розкриваючи при цьому її внутрішньої природи. Щодо теоретичних залежностей, вони дуже розповсюджені в дослідженнях, що в тій чи іншій мірі торкаються питань економіки гірничорудних підприємств. Статистичні методи досліджень використовуються під час аналізу факторів, що суттєво впливають на економічні показники діяльності підприємства, або при перевірці аналогічних аналітичних залежностей. В роботі [25] за результатами регресійного аналізу встановлено, що серед таких факторів, як обсяг отриманого концентрату, загальний вміст заліза в руді, вміст заліза в концентраті, витрати руди на 1 т. концентрату і собівартість руди найбільший вплив на собівартість концентрату мають останні два фактори.

При дослідженні впливу витрат запасів руди на собівартість концентрату використовувалась формула собівартості:

$$C_k = \theta(Fe_3) \left[C_d + \frac{C_g K_g}{(1 - \delta_e)} + C_{d.\phi} + C_m + C_{z.\phi} + a_{T1}(1 - \delta_e) \right],$$

де $\theta(Fe_3)$ - витрати руди (функція від вмісту загального заліза в перероблюваній руді;

C_d - вартість безпосередньо видобутку 1 т руди, грн.;

C_g - собівартість розробки розкриву, грн/м³;

K_g - поточний коефіцієнт розкриву, м³/т;

δ_e - втрати експлуатаційних запасів руди;

$C_{д.ф}$ - собівартість дроблення руди на фабриці, грн/т;

C_m - собівартість транспортування дробленої руди на збагачувальну фабрику, грн./т.;

$C_{з.ф}$ - вартість переробки 1 т. руди на концентрат, грн./т.;

a_{TI} - поточна ставка (амортизаційні відрахування на витрати пов'язані з видобутком корисної копалини).

Витрати руди являють собою величину, обернену до виходу концентрату γ . Залежність собівартості концентрату від вмісту загального заліза в руді також підтверджується парною лінійною регресією, побудованою за статистичними даними перебігу процесу збагачення на Інгулецькому ГЗК, в [25] аналізувалась закономірність впливу якості руди сировини і обсягів її переробки на собівартість виробництва концентрату. Також було встановлено, що собівартість концентрату при зниженні продуктивності комплексу з випуску концентрату на деяку величину підвищується більше, ніж знижується при підвищенні продуктивності комплексу на таку ж величину. **З чого було зроблено висновок, що коливання продуктивності комплексу призводять до підвищення собівартості концентрату.**

У науковій літературі собівартість збагачення часто представляється у вигляді суми собівартостей переробки по окремих ланках технологічного ланцюга [9]:

$$C_3 = \frac{\sum_{j=1}^N c_j}{\gamma},$$

де N - кількість апаратів в технологічному ланцюгу, шт.;

c_j - собівартість переробки 1 т. руди на j -му апараті, грн/т, $j = 1, 2, \dots, N$.

Формула собівартості збагачення у вигляді структурної залежності витрат по окремих технологічних операціях має вигляд:

$$C_{з.ф} = C_d + C_{дріб} + C_{сеп} + C_{кл} + \dots + C_{ін},$$

де C_d - собівартість дроблення;

$C_{дріб}$ - собівартість дрібнення;

C_{sep} - собівартість сепарації;

$C_{кл}$ - собівартість класифікації;

$C_{ін}$ - собівартість інших операцій.

За таким підходом в розглянутих роботах та методиках не досліджено формування енергетичної складової собівартості продукції. Вартість електроенергії розраховується за нормативними коефіцієнтами витрат електроенергії на 1 т. руди.

На даний момент існує одна основоположна методика, що використовується для визначення собівартості продукції на більшості виробничих підприємств України. Вона полягає в тому, що собівартість продукції розраховується на кінець звітного періоду за фактом отримання виробничого результату без можливості оперативного впливу на фактори, що впливають на формування собівартості. Стосовно дробильної фабрики виділяють фактори, що впливають на формування собівартості продукції;

- обсяг виробництва;
- якість сировини (фізико-механічні характеристики);
- питомі матеріальні витрати (вода, енергія та ін.);
- продуктивність праці;
- цехові та загальнофабричні витрати.

У даному випадку зміна обсягів виробництва - один з найважливіших факторів, що впливає на формування собівартості продукції. Ці зміни обумовлюються присутністю у складі собівартості продукції двох груп витрат - постійних та змінних (пропорційних).

До умовно-постійних витрат відносять загальнофабричні витрати і більшу частку цехових витрат, в тому числі основну заробітну платню робітників-погодинників, інженерно-технічних робітників, службовців і молодшого обслуговуючого персоналу, витрати на амортизацію будівель і обладнання, освітлення, утримання охорони та низку інших витрат, сума яких не змінюється від змін обсягу виробництва.

Змінні витрати при зміні об'ємів виробництва змінюються більш-менш

пропорційна до об'єму виробництва, а на одиницю продукції складають постійну величину.

До змінних витрат відносять заробітну платню працівників відрядників, вартість електроенергії, що витрачається на виробничі процеси та інші витрати.

До негативних рис даної методики аналізу формування собівартості та її розрахунку можна віднести відсутність динамічної складової, тобто розрахунок ведеться за звітний період без врахування динамічних процесів виробництва, а також відсутність аналізу причин, що формують характеристики вищезначених факторів впливу, тобто не розглядаються причини за якими змінюється обсяг виробництва, або змінюються питомі витрати на електроенергію в процесі виробництва.

Тому, з врахуванням цього, можна зробити висновок, що за допомогою даної методики неможливо ефективно проводити заходи з оперативного управління виробничим процесом на підприємстві, а планування діяльності підприємства можливо, але з досить великою похибкою.

Формування собівартості продукції дробильних фабрик в умовах багатозонного тарифу на електроенергію при коливаннях щільності руди, було досліджено в роботі [9].

Але вплив динаміки електроспоживання, параметрів логістики рудопостачання на ритмічність виробництва та на собівартість продукції не розглядався.

Нормування витрат електричної енергії це встановлення планової міри виробничого споживання. По кожному підприємству з урахуванням конкретних умов виробництва розробляються технологічні та загальновиробничі норми витрат електричної енергії.

Основою для розробки питомих норм витрат електроенергії на одиницю продукції являються закони України, Постанови Кабінету міністрів, постанови державної інспекції по нагляду в електроенергетиці.

Використання технічно та економічно обґрунтованих норм витрат електроенергії дозволяє найбільш ефективно використовувати електроенергію та

забезпечити її економію.

В Україні створено національне агентство по енергозбереженню, яке щорічно затверджує ГЗК питомі норми витрат електричної енергії на одиницю продукції. У разі перевищення цієї норми на ГЗК накладається штраф на суму вартості перевитраченої електроенергії.

У гірничорудній промисловості діє комплекс нормативних документів з визначення норм енергоспоживання [3, 4]. Мета нормування витрат електричної енергії зазначена в підвищенні енергоефективності виробництва та енергозбереженні.

В роботі [45] підкреслюється, що одним із головних напрямків стратегії розвитку підприємств є нормування енергоспоживання, тому що воно сприяє ефективному енерговикористанню. Зроблено висновок, що існуючі методики нормування витрат електроенергії потрібно удосконалювати.

Основним методом розробки норм витрат електричної енергії по підприємству в цілому та технологічним процесам є розрахунково-статистичний метод, що базується на аналізі статистичних даних по фактичні витрати електричної енергії, обсягу продукції та факторів, які впливають на витрати електроенергії.

Недоліками цих методів є неврахування динаміки енергоспоживання. Вони орієнтовані на умовно-стале споживання електроенергії у часі. Але технологічні процеси гірничотранспортного комплексу, дроблення та збагачення руди зв'язані з видобутком, транспортуванням, перегрузкою та переробкою мільйонів тон руди зі змінними фізико-механічними властивостями. Тому по своїй природі ці процеси та відповідні процеси електроспоживання є випадковими коливальними процесами. Частина електричної енергії, що витрачається на статистичну динаміку технологічних процесів складає 30-40 відсотків, а іноді і більше від загальної кількості електроенергії, що споживається технологічним обладнанням.

З метою підвищення енергоефективності виробництва на ГЗК необхідно враховувати динаміку енергоспоживання при нормуванні витрат електричної енергії.

1.5 Аналіз моделювання і управління динамікою процесів рудопідготовки, ритмічністю виробництва та логістикою рудопостачання

На гірничо-збагачувальних комбінатах контролюються загальні витрати електроенергії, які визначаються характеристиками обладнання та кількістю переробленої руди.

Показники лічильників електроенергії дають інтегровані показники активної потужності за зміну, добу, тиждень, місяць, рік і не показують динаміку енергоспоживання, яка залежить від режимів роботи гірничотранспортного комплексу.

Але випадковий процес споживання активної потужності $P(t)$ на кожному етапі рудопідготовки має дві складові:

- математичне очікування $M[P(t)]$ та $P^0(t)$ - центровану випадкову складову активної потужності з математичним очікуванням, що дорівнює нулю.

$$P(t) = M[P(t)] + P^0(t), \quad (1.1)$$

Математичне очікування $M[P(t)]$ характеризує середнє значення активної потужності, що споживається за конкретний період часу - зміну, добу, тиждень, місяць і визначається характеристиками технологічного обладнання та типом руди, що переробляється. Центрована випадкова складова активної потужності $P^0(t)$ характеризує коливання, що залежать від режимів роботи гірничотранспортного комплексу та коливань мас та якості руди, що переробляється. Динаміку енергоспоживання визначає рух сотень тисяч тон руди, на що витрачається 20-30% електроенергії, що споживається.

Режими роботи технологічних комплексів рудопідготовки мають дискретний характер. Це пов'язано з дискретним характером добутку руди екскаваторами в забоях, транспортування руди залізничними думпками та автосамоскидами, дроблення руди дробарками, режимами завантаження бункерів збагачувальної фабрики.

В теорії випадкових процесів спектральна щільність, або спектр процесу,

являє собою розподіл дисперсії гармонійних складових процесу у відповідному частотному діапазоні. При аналізі випадкових процесів будь-якої природи цей спектр зветься «енергетичним» [14]. Але це не є електрична енергія. Це є дисперсія будь-якої фізичної величини. Технологічні процеси видобутку, транспортування, рудопідготовки по своїй природі є дискретними, або імпульсними. В роботі [9] на основі аналізу спектрів радіотехнічних сигналів були наведені енергетичні спектри коливань масової долі заліза в руді та продуктах рудопідготовки та збагачення руди. Вони наближено характеризують і коливання електроспоживання, тому що властивості руди впливають на витрати електричної енергії. Але ці спектри не є спектрами електричної потужності та електричної енергії, що споживається технологічним обладнанням.

В роботі [27] були одержані спектральні характеристики продуктивності по руді процесів рудопідготовки, тому що електрична потужність та енергія, що споживається залежить від продуктивності технологічного обладнання. Були одержані формули «енергетичних спектрів» процесів рудопідготовки.

Було розглянуто роботу екскаватора в забої кар'єру при завантаженні руди з продуктивністю Q_1 .

Графік роботи екскаваторного забою наведено на рис. 1.1.

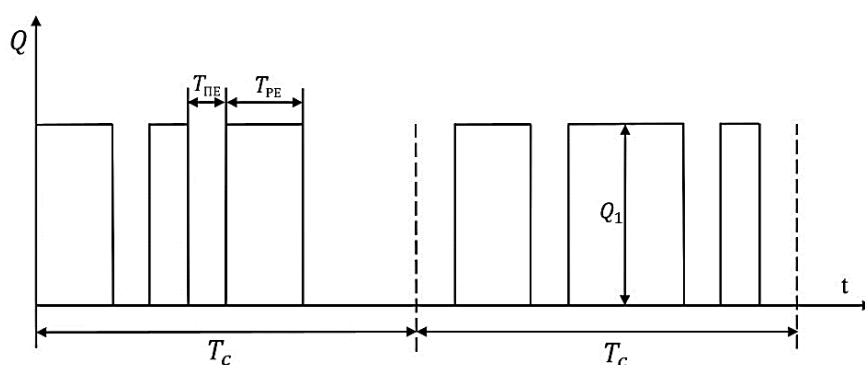


Рис. 1.1. Графік роботи екскаваторного забою:

T_c - час зміни; T_{PE} - час роботи екскаватора; $T_{ΠE}$ - час простою екскаватора; Q_1 - продуктивність екскаватора по руді, t - час

Енергетичний спектр екскаваторного забою наведено на рис. 1.2.

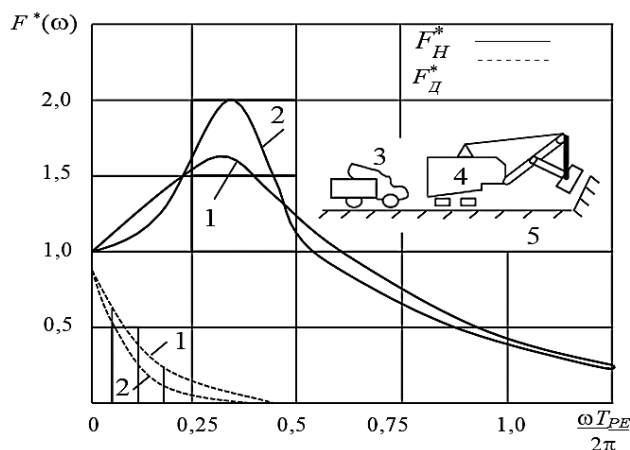


Рис. 1.2. Енергетичний спектр екскаваторного забою:

F_H^* - нормований безперервний енергетичний спектр; F_D^* - нормований дискретний енергетичний спектр

Нормовані значення енергетичного спектра одержані шляхом розділення його значень на $F(0)$:

$$F(0) = \frac{4Q_1^2}{T_c} \cdot D_{pe}, \quad (1.2)$$

де D_{pe} - дисперсія часу роботи екскаватора; крива 1 - відповідає пуансонівському розподілу пауз; крива 2 - відповідає рівномірному розподілу пауз; 3 - автосамоскиди; 4 - екскаватор; 5 - забій кар'єру.

На рис. 1.3 наведено графік роботи дробарки крупношматкового дроблення, що працює в комплексі з автосамоскидами або залізничними думпкарами.

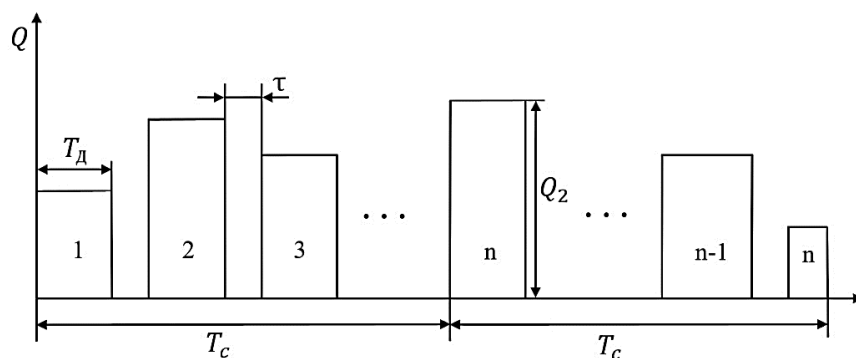


Рис. 1.3. Графік роботи дробильного комплексу:

T_d - час дроблення руди; τ - період розвантаження автосамоскидів або залізничних думпкарів; n - кількість розвантажених в дробарку автосамоскидів або думпкарів

за зміну T_c ; Q_2 - продуктивність дробарки

На рис. 1.4 наведено енергетичний спектр дробильного комплексу з випадковим розподілом кількості n транспортних засобів, що завантажуються в дробарку.

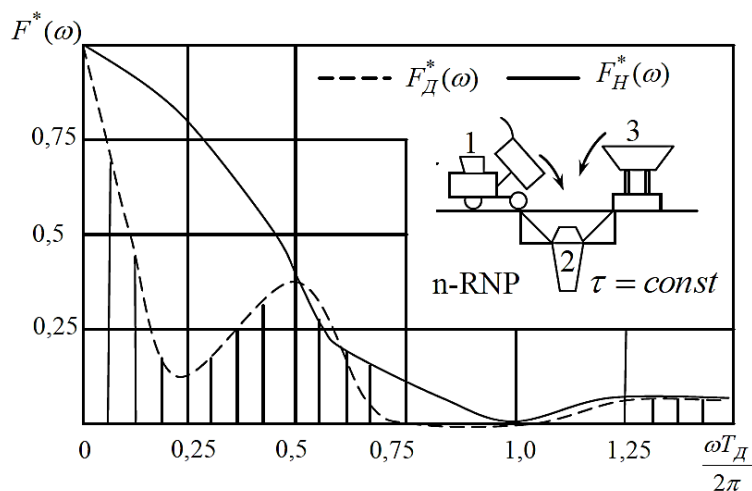


Рис. 1.4. Енергетичний спектр дробильного комплексу:

1 - автосамоскид; 2 - дробарка; 3 - думпкар; $M(Q_2)$ - математичне очікування продуктивності дробарки.

Нормоване одиничне значення безперервної частини енергетичного спектра на рис. 1.4 дорівнює:

$$F_H(0) = \frac{2M(n)T_D^2\sigma_n^2}{T_c}, \quad (1.3)$$

де $M(n)$, σ_n^2 - відповідно математичне очікування та дисперсія кількості транспортних засобів.

Нормоване одиничне значення дискретної частини енергетичного спектра на рис. 1.4 дорівнює:

$$F_D(\omega) = \frac{4\pi[M(Q_2)]^2 T_D^2}{T_c^2}, \quad (1.4)$$

Розглянемо енергетичний спектр рудопотоку при постійній кількості ємностей, що розвантажуються протягом зміни та змінних інтервалах завантаження. Графік роботи дробарки у такому режимі наведено на рис. 1.5.

Енергетичний спектр дробильного комплексу наведено на рис. 1.6.

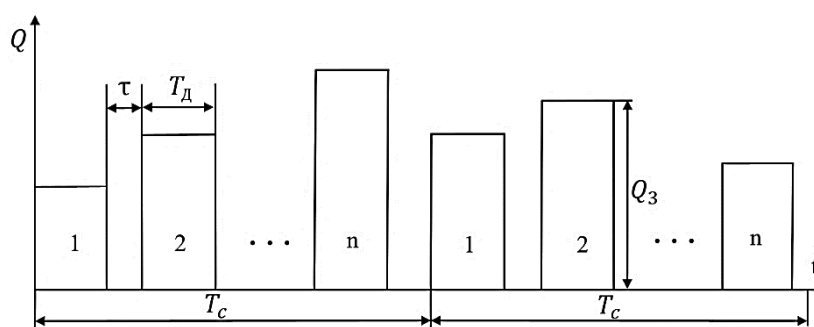


Рис. 1.5. Графік роботи дробильного комплексу

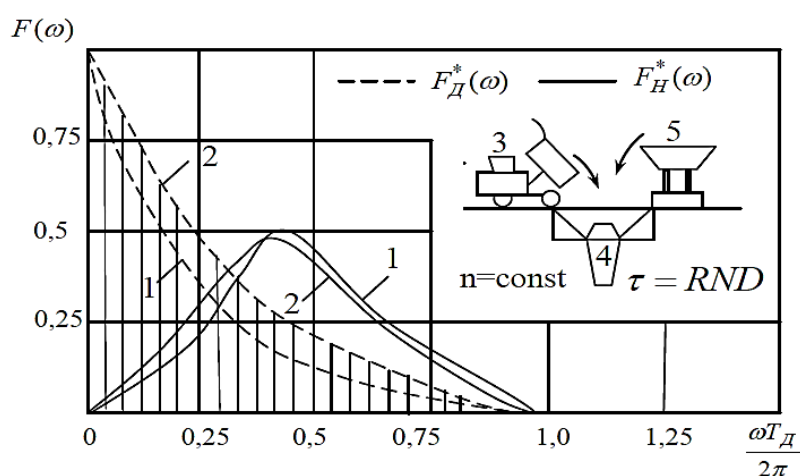


Рис. 1.6. Енергетичний спектр дробильного комплексу:

Q_3 - продуктивність дробарки в ємностях, що завантажуються в дробарку; крива 1 на рис. 1.6 відповідає пуансоновському закону розподілення інтервалів, а крива 2 - нормальному закону; $M(Q_3)$ - математичне очікування продуктивності дробарки

Нормоване одиничне значення безперервної частини енергетичного спектру на рис. 1.6 дорівнює:

$$F_H(0) = \frac{2[M(Q_3)]^2 T_d^2}{T_c} . \quad (1.5)$$

Нормоване одиничне значення дискретної частини енергетичного спектру на рис. 1.6:

$$F_D(0) = \frac{4\pi[M(Q_3)]^2 T_d^2}{T_c^2} . \quad (1.6)$$

Розглянемо процес завантаження бункера збагачувальної фабрики. Графік завантаження бункера наведено на рис. 1.7.

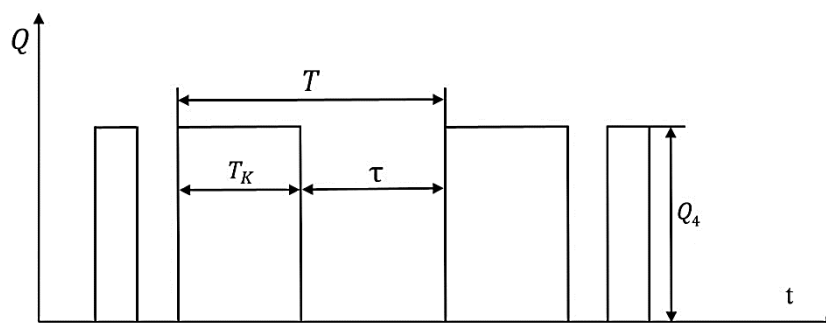


Рис. 1.7. Графік конвеєрного завантаження бункера:

T_K - час завантаження; τ - пауза; T - період завантаження; Q_4 - продуктивність конвеєра

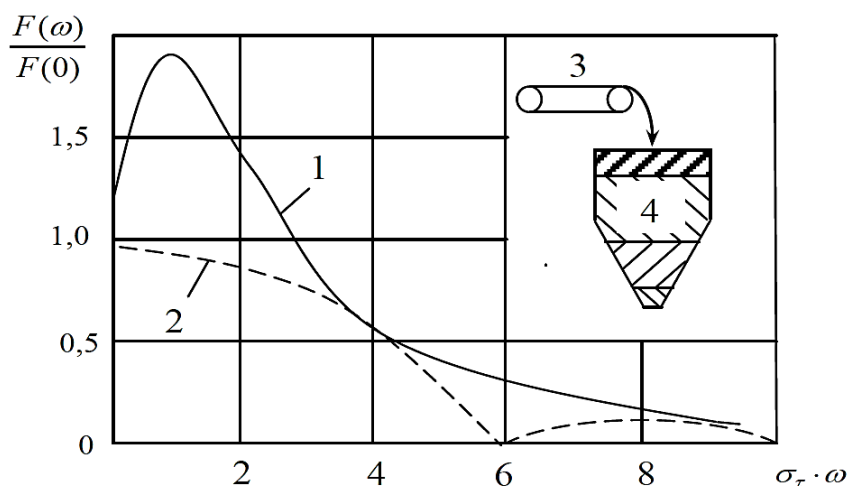


Рис. 1.8. Енергетичний спектр конвеєрного завантаження:

крива 1 відповідає енергетичному спектру завантаження бункера; крива 2 - відповідає спектру одиничного імпульса; 3 - конвеєр; 4 - бункер; σ_τ - середньоквадратичне відхилення інтервалу завантаження

Енергетичний спектр при частоті $\omega = 0$ дорівнює:

$$F(0) = \frac{Q_4^2 D_{TK}}{T}, \quad (1.7)$$

де D_{TK} - дисперсія довжини імпульсу продуктивності.

В роботі [26] було виконано оцінку частотних діапазонів та періодів коливань енергоспоживання, що генерують технологічні комплекси процесів

рудопідготовки, використовуючи графіки енергетичних спектрів рис. 1.2 - рис. 1.8.

Для екскаваторного забою згідно з графіком рис. 1.2 діапазон суттєвих частот енергоколивань складає: $\frac{\omega T_{PE}}{2\pi} = (0,25 \div 0,5)$.

Коли прийняти $T_{PE} = 10-20$ хвилин, то частоти енергоколивань, що генеруються екскаваторним забоєм:

$$4,36 \cdot 10^{-4} \text{ Гц} \leq \omega_{ez} \leq 2,61 \cdot 10^{-3} \text{ Гц} , \quad (1.10)$$

Відповідні періоди енергоколивань, що генеруються екскаваторним забоєм:

$$6,36 \text{ хвилини} \leq T_{ez} \leq 38,2 \text{ хвилини} , \quad (1.11)$$

Для комплексу крупношматкового дроблення згідно із графіком рис. 1.4

$$\frac{\omega T_D}{2\pi} = (0,1 \div 0,5) .$$

Для умов, наприклад, Інгулецького ГЗК $T = 1,5$ хвилин, $n = var$.

Частоти енергоколивань, що генеруються дробарним комплексом:

$$6,97 \cdot 10^{-3} \text{ Гц} \leq \omega_{DK} \leq 34,8 \cdot 10^{-3} \text{ Гц} , \quad (1.12)$$

Відповідні періоди коливань енергоспоживання:

$$0,5 \text{ хвилини} \leq T_{DK} \leq 2,38 \text{ хвилини} , \quad (1.13)$$

Для конвейєрного завантаження бункера згідно із графіком рис. 1.8 при $\sigma_Q^2 = 0,1$ та часу включення конвейєра $T_K = \frac{T}{2}$, що знаходиться в межах від 10 до 30 хвилин.

Діапазон суттєвих коливань енергоспоживання системи завантаження бункерів:

$$5,6 \cdot 10^{-5} \text{ Гц} \leq \omega_K \leq 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ Гц} , \quad (1.14)$$

Періоди енергоколивань, що відповідають відповідним частотам:

$$0,5 \text{ хвилини} \leq T_K \leq 5 \text{ хвилини} , \quad (1.15)$$

Спектральні щільності коливань якості руди [9] та продуктивності [26] процесів рудопідготовки, діапазони коливань співпадають по формі але кількісно відрізняються між собою. Вони кількісно відрізняються від спектральних щільностей коливань активної потужності що потребує уточнення.

Організація ритмічної роботи гірничорудного підприємства – це один з можливих шляхів підвищення економічної ефективності виробництва.

Методи розрахунків показників ритмічності підприємств розглянуті в роботах [42, 43]. Відомі методи оцінки ритмічності виробництва дозволяють діагностувати ступінь ритмічності або аритмічності виробництва тільки на основі точного визначення обсягів випуску продукції за достатньо великий відрізок часу - місяць, рік, після того як продукція вже випущена, і не дозволяють оперативно оцінювати ритмічність виробництва в процесі виробництва наприклад погодинну та внутрішньозмінну ритмічність.

Невирішеною проблемою є підвищення оперативності діагностики внутрішньозмінної, погодинної ритмічності випуску продукції дробильних фабрик, що дасть можливість оперативно управляти подачею руди на дробильну фабрику гірничотранспортним комплексом.

Для оцінки ритмічності роботи підприємства використовують коефіцієнт варіації, що визначається як відношення середньоквадратичного відхилення від планового завдання за період (добу, декаду, місяць, квартал) до середньодобового, середньо-декадного, середньомісячного, середньо-квартального планового випуску продукції. Чим більше коефіцієнт варіації, тим неритмічніше працює підприємство.

В більшості робіт [39], [40] розглядається вплив коливань якісних характеристик руди на коливання вмісту заліза в концентраті. В роботі [9] досліджується вплив параметрів рудопостачання на коливання масової частки заліза в концентраті, внаслідок якого змінюються економічні показники роботи гірничо-збагачувального комбінату. Вплив режимів рудопостачання на динаміку енергоспоживання не розглядався. В роботі [12] досліджувався вплив коливань щільності руди на процес дроблення та формування собівартості продукції дробильних фабрик в умовах багатозонного тарифу на електроенергію. Управління ритмічністю операційної діяльності гірничо-збагачувального комбінату присвячені роботи [23], [24]. Вплив ритмічності роботи підприємства на його енергоспоживання не розглядався.

Таким чином проблема встановлення закономірностей взаємозв'язку між ритмічністю виробництва та динамікою енергоспоживання гірничорудним підприємством в відомих літературних джерелах не розглядалась.

Встановлення закономірностей взаємозв'язку між ритмічністю виробництва та динамікою електроспоживання гірничорудним підприємством з метою підвищення оперативності діагностики та управління рівнем ритмічності виробництва за динамікою електроспоживання є актуальною задачею.

На гірничорудних підприємствах руда з кар'єрів постачається залізничним або автомобільним транспортом. Головними логістичними параметрами рудопостачання є вантажопід'ємність та кількість транспортних засобів, періодичність їх руху та запаси руди на дробильній фабриці.

Відомі моделі управління запасами [49] враховують тільки вартість доставки та зберігання сировини і не враховують вартість її переробки у тому числі на енергоємних підприємствах. Моделі наведені в [9] не дозволяють виконати комплексну оптимізацію процесів постачання і переробки сировини.

В відомих публікаціях не розглядається взагалі вирішення проблеми управління запасами в режимі енергозбереження. Ці роботи присвячені задачам управління запасами при незадовільненому запиті, стохастичні задачі управління запасами, але ніде не розглядається собівартість та енергоємність переробки сировини. Тому задача оптимізації логістичних параметрів родопостачання на переробних енергоємних гірничорудних підприємствах в умовах багатозонального тарифу на електроенергію є актуальною.

В роботі [9] виконано моделювання впливу обсягів партій поставок руди на собівартість концентрату. Недоліком цієї роботи є те що рудопостачання на збагачувальну фабрику безпосередньо здійснюється системою загрузки бункерів, а не залізничними думпкарами. Тому вплив алгоритму загрузки бункерів на енергоспоживання збагачувальної фабрики не розглядався.

На сьогодні не існує досліджень впливу динаміки рудопостачання в бункера збагачувальної фабрики на динаміку витрат на електроенергію в процесі виробництва залізрудного концентрату.

В умовах енергоємних переробних гірничорудних підприємств сировина подається на переробку залізничним або автомобільним транспортом, а вартість переробки визначається головним чином вартістю електричної енергії та доставки сировини.

Крім того на підприємствах України широко використовуються двозонний та тризонний тарифи на електроенергію. Тому виникає проблема визначення оптимальної партії та періоду поставки сировини в умовах багатозонного тарифу на електроенергію за критерієм мінімізації сумарної вартості доставки руди та витрат електроенергії на її переробку.

1.6 Обґрунтування методу та напрямків досліджень

Виробничі процеси на гірничорудних підприємствах мають дискретно-поточний характер, що визначає динамічний характер електроспоживання. Динаміка електроспоживання та витрати електроенергії в значній мірі визначаються якістю організаційного та оперативного управління виробництвом, кваліфікацією, сумлінністю дисциплінованістю, працівників підприємства.

Аналіз літературних джерел з питань впровадження заходів по енергозбереженню та енергоефективності на гірничорудних підприємствах показує, що метою цих заходів є економія загальних витрат електроенергії. Підсумки та результати ефективності цих заходів виконуються в кінці звітнього періоду, наприклад місяць, квартал для підприємства в цілому. Контроль та моніторинг електроспоживання виконується у часі за допомогою систем контролю та обліку витрат електроенергії. Гірничорудні підприємства складаються з ряду виробничих підрозділів таких як кар'єри, дробарні та збагачувальні фабрики. Кожний підрозділ має свій технологічний процес, ритмічність роботи та частоту споживання електроенергії. При контролі витрат електроенергії у часі не видно результатів роботи кожного підрозділу. Перехід від контролю електроспоживання у часі до контролю в частотній формі дозволяє оперативно виявляти результати електроспоживання кожного підрозділу підприємства окремо, та оцінювати ефективність впровадження заходів по енергозбереженню.

Основним математичним методом дослідження процесів динаміки

електроспоживання обрано статистичну динаміку, а саме метод спектрального аналізу. Цей метод використовувався в роботі [9] для аналізу коливань масової долі заліза в руді в процесах рудопідготовки, враховуючи дискретно-безперервний характер цих процесів. При цьому використовувався апарат аналізу дискретних сигналів статистичної електротехніки та радіотехніки, де ці спектри було названо «енергетичними» [14]. Одержані спектральні щільності коливань масової долі заліза в руді являють собою розподіл дисперсій коливань якості руди по частотам.

В роботі [27] розглянуті спектральні щільності та дисперсії коливань продуктивності по руді для різних ланок технологічного процесу. Враховуючи, що якість руди та продуктивність по руді технологічних ланок та обладнання впливають на процес електроспоживання, то розглянуті спектральні щільності являють собою непряму оцінку процесів електроспоживання, а одержані формули тільки якісно, а не кількісно характеризують процеси динаміки електроспоживання.

В роботі [9] розглянуто вплив параметрів імпульсних процесів рудопідготовки на коливання масової долі заліза в руді на виході кар'єра та дробильної фабрики на коливання масової долі заліза в концентраті на виході збагачувальної фабрики. При цьому досліджувались випадкові процеси коливань масової долі заліза в руді та концентраті. Як інструмент дослідження використовувався математичний аналіз та термінологія спектрального аналізу імпульсних випадкових процесів. Спектральна щільність являє собою розподіл дисперсії складових гармонік по частотам і в теорії випадкових процесів визначається терміном «енергетичний спектр». В теорії випадкових процесів дисперсія коливань випадкових процесів будь-якої фізичної природи визначається як енергія випадкового процесу, а спектральна щільність цього процесу як енергетичний спектр. Але це не електрична енергія, це дисперсія показника якості або дисперсія масовою долі заліза в руді та концентраті. Електрична енергія витрачається на переробку мас руди. Зв'язок маси руди M , що переробляється та електричній енергії E що споживається в процесі переробки визначається питомими витратами електроенергії на одиницю мас переробленої руди q :

$$q = \frac{T}{M} \text{ розмірність } [q] = \left[\frac{\kappa B m \cdot \text{год}}{m} \right]$$

Електрична енергія $E = q \cdot M$, а маса переробленої руди $M = Q \cdot t$, де Q - продуктивність технологічного обладнання. Для вивчення процесів електроспоживання використовується процес зміни активної потужності у часі t

$$E = P \cdot t, \text{ або } E = \int_0^T P(t) dt$$

де T - період спостереження.

Для кількісної оцінки динаміки електроспоживання необхідно розглядати спектральний аналіз електричних параметрів, а саме електричної активної потужності, що споживається підрозділами гірничорудних підприємств.

Згідно із теорією спектрального аналізу сигналів [14] спектральна щільність потужності - це функція, що описує розподіл потужності сигналу по частотам, тобто потужності, що припадає на одиничний інтервал частоти. Спектральна щільність потужності має розмірність потужності, поділеної на частоту, тобто енергії. В системі СИ це $[\text{Вт}/\text{с}^{-1}] = [\text{Вт} \cdot \text{с}]$.

Ця властивість пояснюється малюнком:

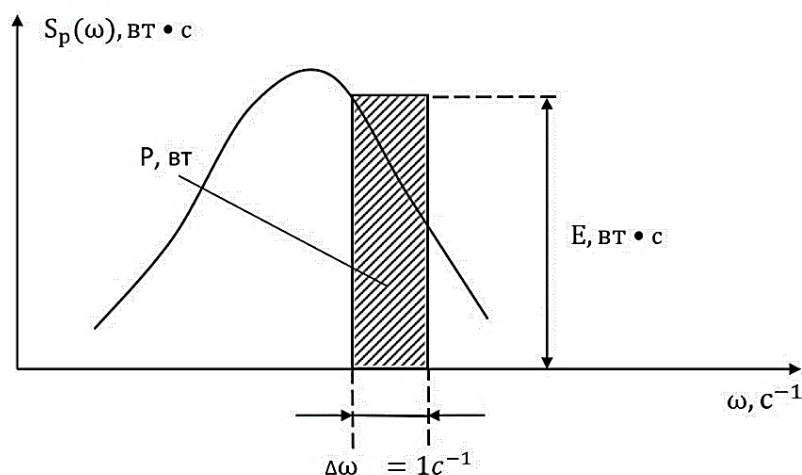


Рис. 1.1. Графічна інтерпретація спектральної щільності електричної активної потужності:

P - активна потужність; ω - частота; E - електрична енергія; $S_p(\omega)$ - спектральна щільність електричної активної потужності

З урахуванням вищенаведеного аналізу сформуємо основні напрямки дослідження:

- визначення шляхів зниження витрат на електроенергію, що визначаються динамікою електроспоживання процесами рудопідготовки;
- обґрунтування економічного зв'язку між логістичними параметрами рудопостачання гірничотранспортного комплексу та витратами на динаміку електроспоживання дробильної фабрики;
- оптимізація логістичних параметрів рудопостачання за критерієм мінімізації витрат на електроенергію дробильної фабрики в умовах багатозонного тарифу на електроенергію;
- економічна оцінка впливу логістичних параметрів завантаження бункерів на вартість динамічної складової електроенергії, що споживається збагачувальною фабрикою;
- економічна оцінка впливу погодних умов на динаміку електроспоживання та витратами на електроенергію гірничо-збагачувального комбінату;
- наукове обґрунтування зв'язку між ритмічністю виробництва та динамікою електроспоживання гірничорудного підприємства;
- оцінка виконання плану та ритмічності випуску продукції за показниками динаміки електроспоживання;
- оперативна діагностика логістичних параметрів та ритмічності роботи кар'єрів гірничорудного підприємства за динамікою електроспоживання;
- економічна оцінка впливу синергетичного ефекту управління ритмічністю виробництва та динаміки електроспоживання на зниження собівартості продукції;
- формування фонду економічного стимулювання динаміки електроспоживання виробничими підрозділами підприємства;
- удосконалення системи економічного стимулювання працівників гірничорудних підприємств з урахуванням рівня динаміки електроспоживання;
- удосконалення нормування витрат на електроенергію на гірничорудних підприємствах з урахуванням динаміки електроспоживання.

РОЗДІЛ 2 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА УПРАВЛІННЯ ДИНАМІКОЮ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ТА ЛОГІСТИКОЮ РУДОПОСТАЧАННЯ З МЕТОЮ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

2.1 Шляхи зниження витрат на електроенергію за рахунок динаміки електроспоживання процесами рудопідготовки

Згідно із технологічної схемою гірничорудного підприємства руда із кар'єра подається на дробильну фабрику залізничним або автомобільним транспортом. Електрична енергія в процесах рудопідготовки споживається здебільше дробильною фабрикою та екскаваторними забоями у випадку коли транспортування руди здійснюється тепловозами та автомобільним транспортом. Коли руда подається на дробильну фабрику конвеєром, то треба розглянути ще й електроспоживання конвеєра.

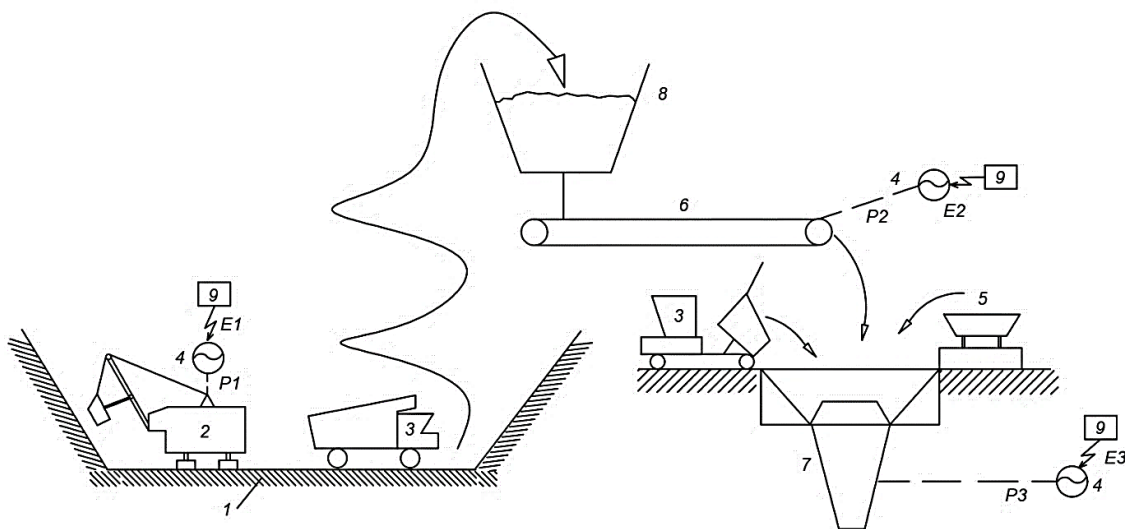


Рис. 2.1. Технологічна схема гірничорудного підприємства:

1 - кар'єр; 2 - екскаватор; 3 - автосамоскиди; 4 - електричні двигуни; 5 - залізничний думпкар; 6 - конвеєр; 7 - дробарка; 8 - перегрузочний бункер; 9 - джерела електроенергії; P_1 , P_2 , P_3 - активні потужності що споживаються електродвигунами відповідно екскаваторів, конвеєром та дробаркою; E_1 , E_2 , E_3 - електрична енергія, що споживається відповідно екскаваторами, конвеєром та дробаркою.

Кар'єр, екскаватори, автосамоскиди, залізничні думпкери та конвейєр складають гірничотransпортний комплекс або виробничу логістичну систему.

Динаміка продуктивності рудопотоку провокує коливання активної потужності та електричної енергії, що споживається електроприводами технологічного устаткування гірничозбагачувального комбінату. На ці коливання витрачається 25-30% встановленої потужності електрообладнання гірничозбагачувального комбінату, що складає сотні тисяч кіловат.

З метою переходу від спектрів продуктивності технологічного обладнання до спектрів споживання електричної потужності зробимо заміну параметру Q на електричну активну потужність P . Для цього використаємо параметр питомий витрати електроенергії:

$$q = \frac{E}{M} = \frac{P \cdot t}{Q \cdot t} = \frac{P}{Q}, \quad (2.1)$$

звідки $Q = \frac{P}{q}$, де Q - продуктивність по руді; E - електрична енергія; P - електрична потужність; M - маса переробленої руди.

Використаємо властивості математичного очікування та дисперсії з метою одержання аналітичних формул для спектрів електричної потужності технологічного обладнання процесів рудопідготовки [14].

$$M(cx) = c \cdot M(x), \quad (2.2)$$

$$D(cx) = c^2 \cdot D(x), \quad (2.3)$$

де x - випадкова величина; c - постійна величина, у нашому випадку, це питомі витрати електроенергії q ; M - знак математичного очікування.

З урахуванням цих властивостей дисперсія активної потужності:

$$D(P) = q^2 \cdot D(Q). \quad (2.4)$$

Математичне очікування потужності:

$$M(P) = q \cdot M(Q).$$

Зробимо заміну параметрів в формулах нормування спектральних щільностей процесів рудопідготовки для переходу від спектральних щільностей

продуктивності обладнання до спектральних щільностей електричної потужності, що споживається цим технологічним обладнанням. Розглянемо трансформацію цих формул.

Нормоване значення енергетичного спектру екскаватора згідно із формулою (1.2) та рис. (1.2):

$$F(0) = \frac{4P_1^2}{q_1^2 T_c} D_{pe} , \quad (2.5)$$

де P_1 - електрична потужність екскаватора; q_1 - питомі витрати електроенергії екскаватором на 1 т. видобутої руди.

Нормоване значення дискретної частини енергетичного спектру дробильного комплексу згідно із рис. (1.4) та формулою (1.4) при $n = RND$:

$$F_d(0) = \frac{4\pi [M(P_2)]^2 T_d^2}{q_2^2 T_c^2} , \quad (2.6)$$

де P_2 - електрична потужність дробарки крупношматкового дроблення при $n = RND$; q_2 - питомі витрати електроенергії на дроблення 1 т. руди.

Нормоване значення безперервної частини енергетичного спектру дробильного комплексом згідно із рис. (1.6) та формулою (1.5) $\tau = RND$:

$$F_H(0) = \frac{2 [M(P_2)]^2 T_d^2}{q_2^2 T_c} . \quad (2.7)$$

Нормоване значення дискретної частини енергетичного спектру дробильного комплексу згідно з формулою (1.6).

$$F_d(0) = \frac{4\pi [M(P_2)]^2 T_d^2}{q_2^2 T_c^2} . \quad (2.8)$$

Енергетичний спектр конвейєрного завантаження бункерів дробильної фабрики при частоті $\omega=0$ згідно із формулою (1.7):

$$F(0) = \frac{P_4^2 D_{TK}}{q_4^2 T} , \quad (2.9)$$

де P_4 - активна потужність, що споживається конвеєром; q_4 - питомі витрати електроенергії на транспортування 1 т руди.

Для перебудови графіків спектральних щільностей випадкового процесу коливань продуктивності процесів рудопідготовки у спектральні щільності випадкового процесу коливань електричної потужності, що споживається технологічними процесами рудопідготовки, необхідно кожен ординату спектральної щільності продуктивності помножити на квадрат питомих витрат електроенергії відповідного технологічного обладнання згідно із формулою (2.10):

$$D(P) = q^2 D(Q). \quad (2.10)$$

В результаті перетворень встановлено кількісний зв'язок між спектральними щільностями продуктивності та електроспоживання процесів рудопідготовки. Їх співвідношення визначається квадратом питомих витрат електроенергії на тону видобутої та переробленої руди.

Аналіз енергетичних спектрів процесів рудопідготовки дозволяє запропонувати наступні організаційно-технічні заходи по зменшенню витрат електроенергії, тобто визначити шляхи зниження витрат на електроенергію за рахунок динаміки електроспоживання процесами рудопідготовки.

1. Для зменшення витрат електроенергії в кар'єрі необхідно:

- мінімізувати дисперсію часу роботи екскаватора шляхом організації їх ритмічної роботи в кар'єрі, підвищенням надійності електромеханічного обладнання, своєчасною подачею автосамоскидів під завантаження;
- підвищити коефіцієнт завантаження екскаватора з метою максимізації часу його роботи .

2. Для зменшення витрат електроенергії на дроблення руди, що завантажуються в дробарку залізничними думпками і автосамоскидами необхідно:

- витримувати постійну кількість транспортних ємностей з рудою, що завантажуються в дробарку протягом зміни;
- мінімізувати середнє значення і дисперсію часу дроблення шляхом застосування дробарок високої продуктивності, організації ритмічного режиму подачі думпкарів з рудою, що завантажуються в дробарку.

3. Для зменшення витрат електроенергії системою завантаження бункерів

дробильно-збагачувальних фабрик необхідно:

- застосувати човниковий режим завантаження бункерів з максимально допустимим періодом завантаження;
- при адресному періодичному завантаженні бункерів необхідно мінімізувати дисперсію часу завантаження і збільшувати періодичність довантаження.

Для реалізації цих заходів необхідно впровадити їх в технологічні карти та посадові інструкції диспетчерської служби кар'єрів, дробильних та збагачувальних фабрик та гірничотранспортного цеху.

Необхідно організувати систему контролю за виконанням цих інструкцій та заходи матеріального та морального стимулювання їх виконання.

2.2 Економіка і управління логістикою рудопостачання та динамікою електроспоживання дробильної фабрики

Дробильні фабрики рудної та нерудної сировини, значною мірою визначають собівартість продукції гірничо-збагачувальних комбінатів та підприємств промисловості будівельних матеріалів. В структурі собівартості продукції дробильних фабрик, витрати на електроенергію складають 50-60%. Процес постачання сировини, розвантаження транспортних ємностей та завантаження дробарок має дискретний характер. Тому процес електроспоживання дробарками має динамічний характер.

Треба розробити заходи по зниженню витрат на електроенергію у собівартості виробництва продукції дробильних фабрик за рахунок організаційного управління логістикою постачання сировини і динамікою електроспоживання.

Постачання сировини на дробильні фабрики здійснюється залізничним або автомобільним транспортом. Сировиною може бути руда, вугілля, вапняк, граніт, тощо. Схема дробильного комплексу наведена на рис. 2.2.

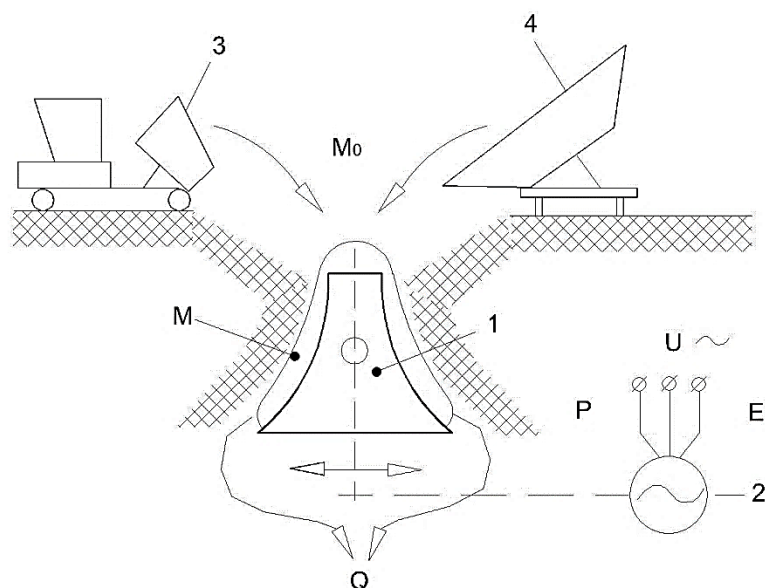


Рис. 2.2. Схема дробильного комплексу:

1 - дробарка; 2 - електродвигун; 3 - автосамоскид, 4 - залізничний думпкар; M_0 - маса сировини, що вивантажується в дробарку, або вантажопідйомність транспортної ємності; Q - продуктивність дробарки; M - маса сировини в дробарці; P - активна потужність електродвигуна; E - електрична енергія, що споживається; U - напруга змінного струму

На дробильних фабриках використовують дробарки різних типів: конусні, щокові, редукційні та інші. Загальною характеристикою цих дробарок є залежність активної потужності дробарки P від кількості матеріалу M , що знаходиться в дробарці.

У загальному випадку

$$P = K \cdot M, \quad (2.11)$$

де K - коефіцієнт, що визначається конструкцією дробарки.

Подача сировини на дробильну фабрику має імпульсний характер.

$$\text{Розмірність } [K] = \left[\frac{KBm}{m} \right].$$

Динаміка роботи дробильного комплексу наведена на рис 2.3.

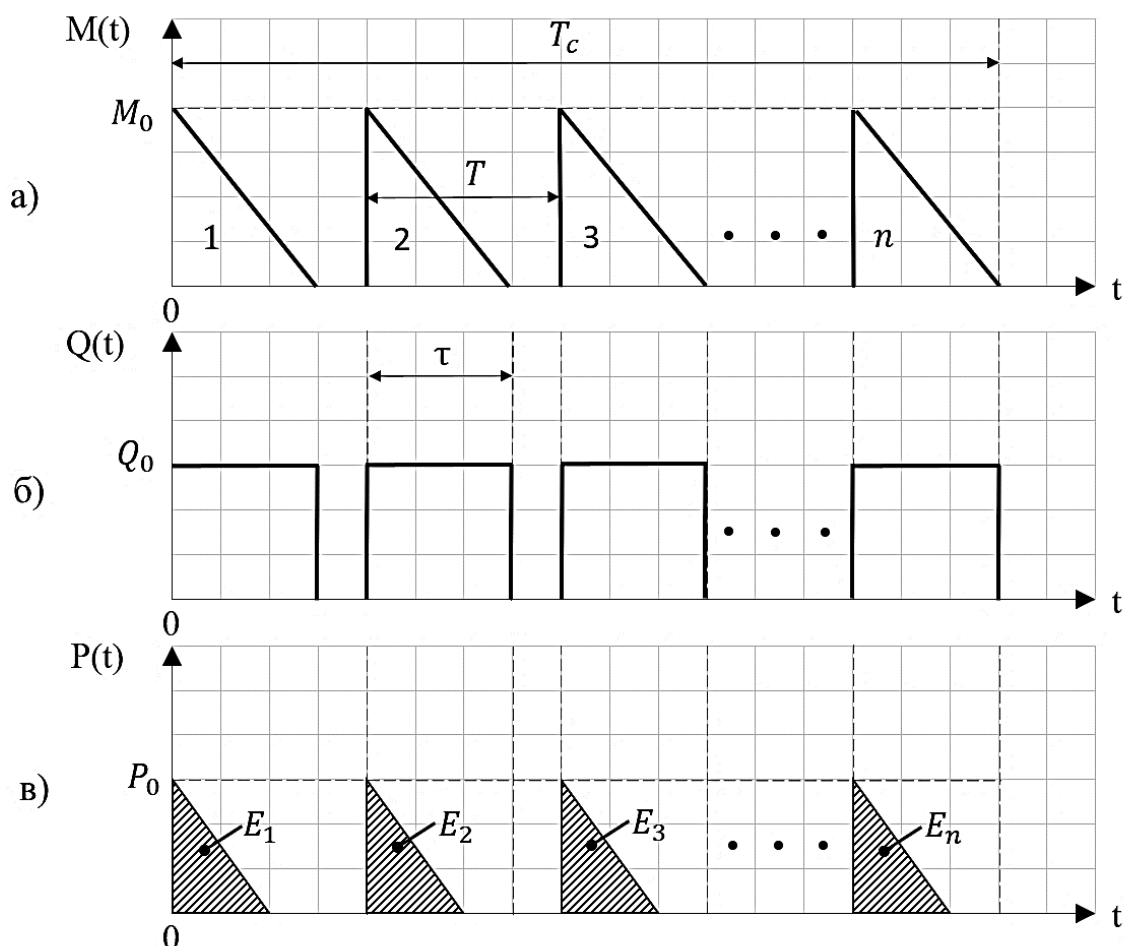


Рис. 2.3 Динаміка роботи дробильного комплексу

Динаміка зміни запасу сировини в дробарці при постійній продуктивності наведена на рис. 2.3а: T -період завантаження дробарки сировиною; τ - час дроблення маси M_0 сировини; T_c - час робочої зміни; $1, 2, 3 \dots n$ - номери розвантажених ємностей з сировиною, під час робочої зміни; Q_0 - продуктивність; P - активна потужність; E -електрична енергія.

Динаміка зміни запасу сировини в дробарці, являє собою послідовність трикутних імпульсів, що визначає динаміку енергоспоживання.

Динаміка зміни продуктивності дробарки $Q(t)$ наведена на рис. 2.3б.

Динаміка зміни активної потужності $P(t)$ та електричної енергії, що споживається дробаркою E , наведена на рис. 2.3в.

Електрична енергія, що споживається при дробленні однієї транспортної ємності

$$E_1 = \int_{t_0}^{\tau} P(t) dt . \quad (2.12)$$

Згідно із графічної інтерпретації інтегралу, електрична енергія являє собою площину заштриховану на рис. 2.3в. Використовуючи формулу площини трикутника, енергія що споживається продовж робочої зміни

$$E = \frac{P_0 \cdot \tau}{2} \cdot n . \quad (2.13)$$

З метою виявити залежності енергії, що споживається від вантажопід'ємності транспортних ємностей M_0 та динамічних параметрів, таких як період постачання сировини треба внести у формулу (2.13) наступні співвідношення:

Час дроблення однієї ємності з сировиною:

$$\tau = \frac{M_0}{Q} , \quad (2.14)$$

де Q - номінальна продуктивність дробарки.

Кількість транспортних ємностей, що завантажується у дробарку за зміну:

$$n = \frac{M_{\pi}}{M_0} , \quad (2.15)$$

де M_{π} - планове завдання по дробленню сировини за зміну.

Період завантаження сировини у дробарку:

$$T = \frac{T_p}{n} = \frac{T_p \cdot M_0}{M_{\pi}} . \quad (2.16)$$

З формули (2.16) знаходимо:

$$M_0 = \frac{M_{\pi} \cdot T}{T_p} . \quad (2.17)$$

Підставимо в формулу (2.13) вирази (2.11), (2.14), (2.15):

$$E = \frac{KM_0 \cdot M_{\pi} T}{2QT_p} \cdot n . \quad (2.18)$$

Введемо в формулу (2.18) постійний коефіцієнт:

$$B = \frac{K \cdot M_{\pi}}{2T_p} . \quad (2.19)$$

Одержимо:

$$E = B \frac{M_0 \cdot T}{Q} \cdot n . \quad (2.20)$$

З формули (2.20) можливо зробити висновки, щодо зв'язку між основними параметрами процесу дроблення та дати конкретні пропозиції по зменшенню витрат електроенергії, наприклад при розгляді проектів енергозбереження. У загальному вигляді можливо зробити пропозиції згідно із формулою (2.20). Для зменшення витрат електроенергії можливо зменшити період постачання сировини T , наприклад шляхом скорочення простоїв дробарки, або використовувати дробарки більш високої продуктивності. Щодо параметрів вантажопід'ємності M_0 , кількості ємностей n , то на них накладені обмеження планової переробки та постачання сировини $M_{\Pi} = M_0 \cdot n$.

Розглянемо динаміку енергоспоживання дробильного комплексу методами спектрального аналізу імпульсних процесів.

Нехай динаміка зміни запасів сировини $M(t)$ та активної потужності дробарки $P(t)$ визначаються послідовністю експоненціальних імпульсів, наведених на рис. 2.4 та на рис. 2.5.

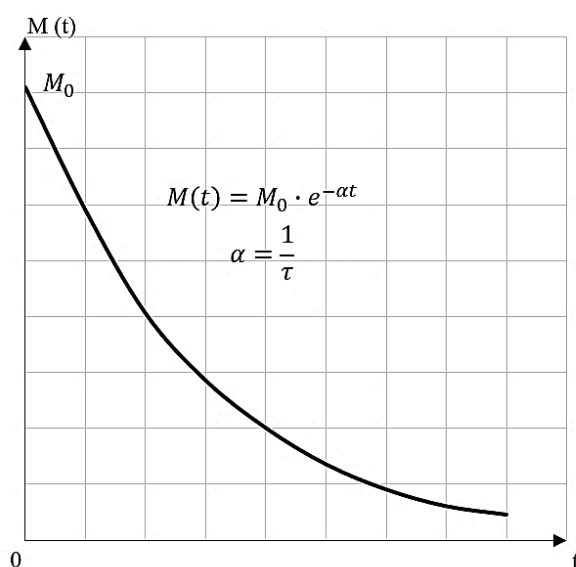


Рис. 2.4. Графік змін запасу сировини в дробарці після завантаження сировинною масою M_0

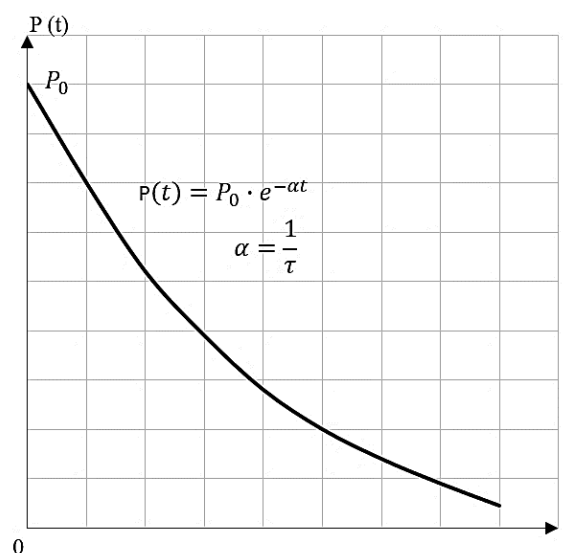


Рис. 2.5. Графік зміни активної потужності дробарки

Динаміка роботи мобільного комплексу аналогічна рис. 2.3, але замість трикутних імпульсів будуть експоненціальні. Спектральна послідовність експоненціальних імпульсів являє собою решітчасту функцію, з огинаючою у вигляді спектральної щільності одиночного експоненціального імпульсу [14].

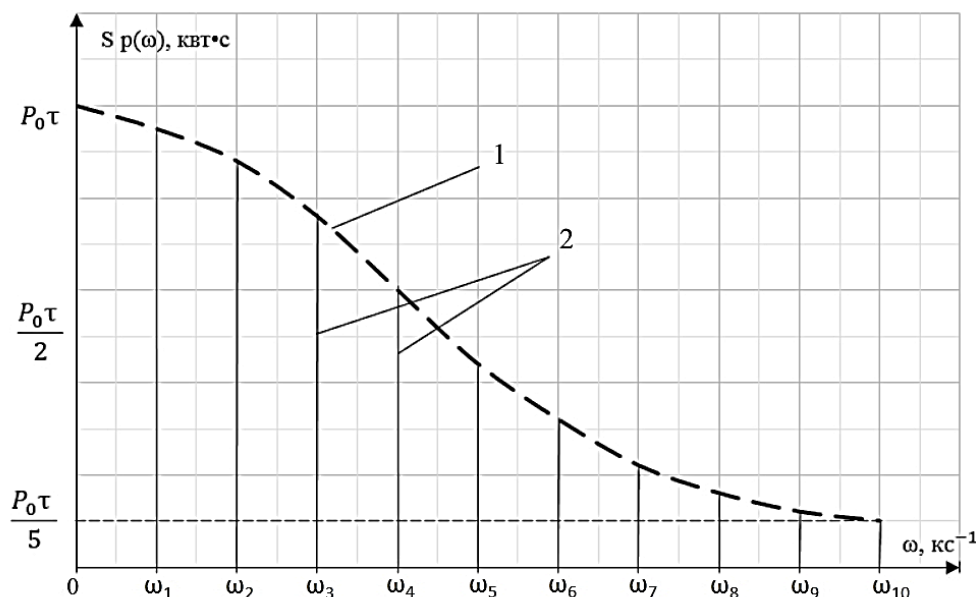


Рис. 2.6 Спектр активної потужності, що споживається дробарним комплексом: 1 - огинаюча спектральної щільності активної потужності; 2 - гармонійні складові енергії, що споживається дробарним комплексом; ω_k - частота k -ї гармоніки.

Формула для розрахунку огинаючої спектральної щільності:

$$S_p \omega = \frac{P_0}{\sqrt{\frac{1}{t^2} + \omega_k^2}}, \quad (2.21)$$

де $\omega_k = \frac{2\pi K}{T}$, $K=0, 1, 2, 3 \dots$ K -ї гармоніки.

При $\omega=0$

$$S_p(\omega_0) = P_0 \cdot \tau. \quad (2.22)$$

Інші гармоніки будуть мати енергію пропорційну формулі (2.22).

Розглянемо енергію постійної складової енергії спектра.

$$E_0 = S_p(\omega) = P_0 \cdot \tau. \quad (2.23)$$

З формули (2.11) $P_0 = K \cdot M_0$.

З формули (2.14) $\tau = \frac{M_0}{Q}$.

З формули (2.17) $M_0 = \frac{M_n \cdot T}{T_p}$.

Підставимо значення цих змінних у формулу (2.23):

$$E_0 = \frac{KM_0 \cdot M_n \cdot T}{Q \cdot T_p} = \frac{KM_n}{T_p} \cdot \frac{M_0 \cdot T}{Q}, \quad (2.24)$$

Визначимо $\frac{KM_n}{T_p} = C$.

Розмірність коефіцієнта: $[C] = \frac{KBm}{T} \cdot \frac{T}{\text{год}} = \frac{KBm}{\text{год}}$

Тоді
$$E_0 = C \frac{M_0 \cdot T}{Q}, \quad (2.25)$$

Відповідно до закону Релея: повна енергія дискретної частини спектру буде являти собою суму енергій гармонійних складових спектра

$$E = E_0 + \sum_{k=1}^{10} E_k, \quad (2.26)$$

де E - повна енергія спектру активної потужності дробарки;

E_0 - постійна складова енергії спектра;

K - номер гармоніки;

E_k - енергія K -ї гармоніки.

Динамічна складова енергії спектра, що визначає динаміку електроспоживання:

$$E_d = \sum_{k=1}^{10} E_k, \quad (2.27)$$

Визначимо співвідношення між динамічною та постійною складовими енергії спектра. Аналіз спектра дає можливість отримати кількісні дані цього співвідношення

$$\frac{E_d}{E_0} \approx 40. \quad (2.28)$$

Згідно з співвідношенням динамічна складова енергії, що визначає динаміку

енергоспоживання дробарки у багато разів більша ніж постійна складова, вона визначає ефективність заходів по управлінню динамікою енергоспоживання з метою енергозбереження.

За формулами (2.25) та (2.27) можливо розраховувати вартість складових постійної та динамічної загальних витрат на електроенергію.

Вартість постійної складової електроенергії:

$$C_0 = (K_1 + K_2 + K_3) E_0 . \quad (2.29)$$

Вартість динамічної складової електроенергії

$$C_d = (K_1 + K_2 + K_3) E_d , \quad (2.30)$$

де K_1 - тарифний коефіцієнт вартості 1 МВт/год електроенергії;

K_2 - тарифний коефіцієнт доставки 1 МВт/год електроенергії;

K_3 - тарифний коефіцієнт розподілу 1 МВт/год електроенергії.

Загальні витрати електроенергії

$$C = C_0 + C_d . \quad (2.31)$$

При нормуванні витрат електроенергії на дробильній фабриці, необхідно окремо розробляти норми витрат постійної та динамічної частини електроенергії, що споживається на процеси дроблення сировини.

Закономірності економії енергії вже видно з формули (2.25) і вони співпадають з закономірностями формули (2.20).

Для економії електроенергії в дробарному комплексі необхідно зменшувати простої та підвищувати продуктивність дробарки. Позитивним фактором є також використання менших транспортних ємностей при виконанні планових завдань. Щодо продуктивності дробарки, то вона визначається типом встановленого обладнання. Тип транспорту - автомобільний або залізничний, вантажопідйомність визначаються проєктними рішеннями. Залишається для управління параметр - мінімальний час простою:

$$t_n = T - \tau$$

Час простою мінімальний і дорівнює формулі $T = \tau$.

Це ідеальний випадок. На практиці встановлюється мінімально допустимий

час простою, який контролюється диспетчером.

При перевищенні нормованого часу простою дробильного комплексу на робітників гірничотранспортного цеху та дробильної фабрики накладаються штрафні санкції, наприклад вони лишаються премії.

2.3 Оптимізація логістики рудопостачання за критерієм витрат на електроенергію дробильною фабрикою в умовах багатозонного тарифу на електроенергію

В умовах енергоємних переробних гірничорудних підприємств сировина подається на переробку залізничним або автомобільним транспортом, а вартість переробки визначається головним чином вартістю електричної енергії та доставки сировини.

Крім того на підприємствах України широко використовуються двозонний та тризонний тарифи на електроенергію. Тому виникає проблема визначення оптимальної партії та періоду поставки сировини в умовах багатозонного тарифу на електроенергію за критерієм мінімізації сумарної вартості доставки руди та електроенергії на її переробку.

Відомі моделі управління запасами [49] враховують тільки вартість доставки та зберігання сировини і не враховують вартість її переробки у тому числі на енергоємних підприємствах. Моделі наведені в [9] не дозволяють виконати комплексну оптимізацію процесів постачання і переробки сировини.

В відомих публікаціях не розглядається взагалі вирішення проблеми управління запасами в режимі енергозбереження. Ці роботи присвячені задачам управління запасами при незадовільненому запиті, стохастичні задачі управління запасами, але ніде не розглядається та енергоємність переробки сировини. Тому задача управління запасами сировини на переробних енергоємних гірничорудних підприємствах в умовах багатозонного тарифу на електроенергію є актуальною.

Виконаємо економіко-математичне моделювання та оптимізацію процесів постачання та дроблення руди за критерієм сумарних витрат на постачання та електроенергію при дробленні руди в умовах однозонного та багатозонного тарифів на електроенергію.

Методика досліджень побудована на удосконаленні моделей управління запасами з метою пристосувати цих моделі до умов гірничорудних підприємств та впровадження в ці моделі нових змінних, а саме питомих витрат на електроенергію на переробку однієї тони руди та багатозонних тарифів на електроенергію.

Виконаємо моделювання та оптимізацію процесів постачання та переробки сировини за критерієм мінімізації сумарних витрат на ці процеси. Це дозволить розробити оптимальні плани постачання сировини з урахуванням вартості її переробки.

Для вирішення цього завдання доцільно використати загальні моделі управління запасами Уілсона, зробив в них відповідну заміну змінних.

Розглянемо схему подачі руди на дробильну фабрику, що наведена на рис. 2.7.

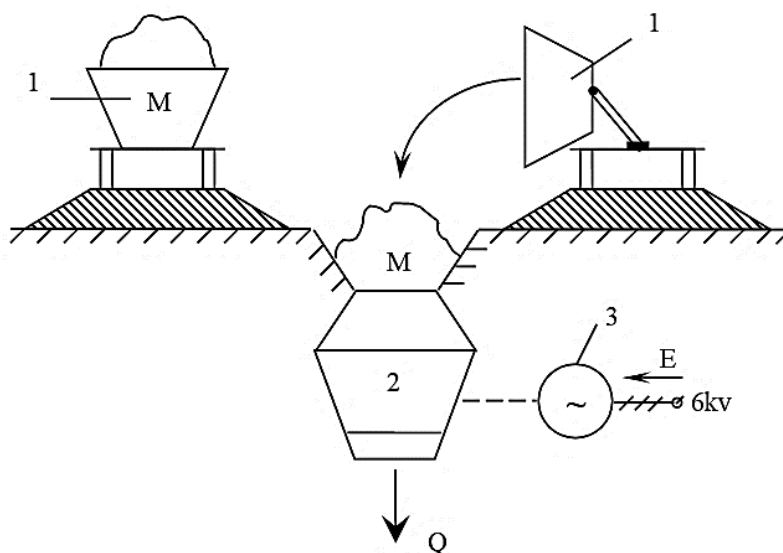


Рис. 2.7. Схема подачі руди на дробильну фабрику:

1 - залізничні друпкари; 2 - дробарка; 3 - електродвигун; M - маса руди; Q - планова кількість дробленої руди, що потребується на період часу - доба, тиждень, місяць; E - електрична енергія

Графік рудопостачання руди на дробильну фабрику наведено на рис. 2.8.

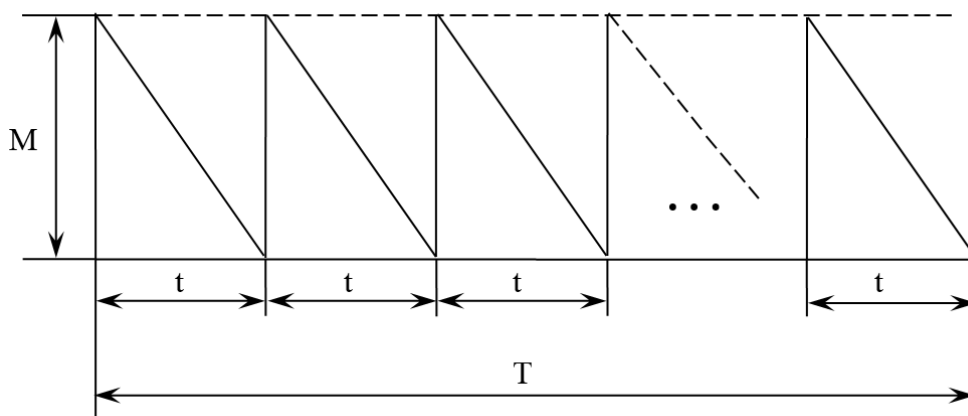


Рис. 2.8. Графік рудопостачання:

M – маса руди в залізничному думпкарі; T – період часу (доба, місяць); t – період переробки дробаркою маси руди M

Побудуємо економіко-математичну модель в умовах однозонного тарифу на електроенергію. Нехай C_{II} – витрати на постачання однієї транспортної ємності з рудою на дробильну фабрику. В умовах енергоємного процесу дроблення C_E – витрати електроенергії на дроблення однієї тонни руди за одиницю часу. Кількість залізничних думпкарів для задоволення потреби дробильної фабрики в руді:

$$n = \frac{Q}{M} = \frac{T}{t} . \quad (2.32)$$

Витрати на доставку та дроблення руди за період T :

$$W = \left(\frac{M \cdot t}{2} C_E + C_{II} \right) n = \frac{M \cdot T}{2} C_E + \frac{Q}{M} C_{II} . \quad (2.33)$$

Розмірності: $[C_E] = \left[\frac{\text{грн}}{t \cdot \text{год}} \right]$; $[C_{II}] = [\text{грн}]$.

За умови постановки задачі

$$W \rightarrow \min . \quad (2.34)$$

Дослідимо цільову функцію на екстремум:

$$\frac{dW}{dM} = \frac{T}{2} C_E - \frac{Q}{M^2} C_{II} = 0 , \quad (2.35)$$

Визначимо оптимальну масу руди в залізничному думпкарі:

$$M_0 = \sqrt{\frac{2QC_{\Pi}}{TC_E}}, \quad (2.36)$$

Оптимальна кількість залізничних думпкарів, що повинна подаватися на дробильну фабрику:

$$n_0 = \frac{Q}{M_0}. \quad (2.37)$$

Оптимальний період подачі думпкарів:

$$t_0 = \frac{Q}{M_0}. \quad (2.38)$$

Параметри рудопостачання M_0 , n_0 , t_0 використовуються як планове завдання гірничотранспортному цеху і контролюються диспетчером.

Розглянемо випадок, коли в результаті недопостачання руди устаткування дробильної фабрики недовантажено та працює частково на холостому ході, що провокує збитки, що характеризуються величиною C_3 на тонну руди за одиницю часу. Під час t_1 кожного періоду t рівень запасу матеріалу у дробарці достатній для задовільнення попиту на руду, а потім час t_2 запас відсутній. Нестача руди покривається з наступного думпкара. Треба визначити масу руди в думпкарі, що постачається, та необхідну масу, щоб витрати на доставку та дроблення руди з урахуванням недопостачання руди були мінімальні. Графік рудопостачання в цьому випадку буде мати вигляд на рис. 2.9.

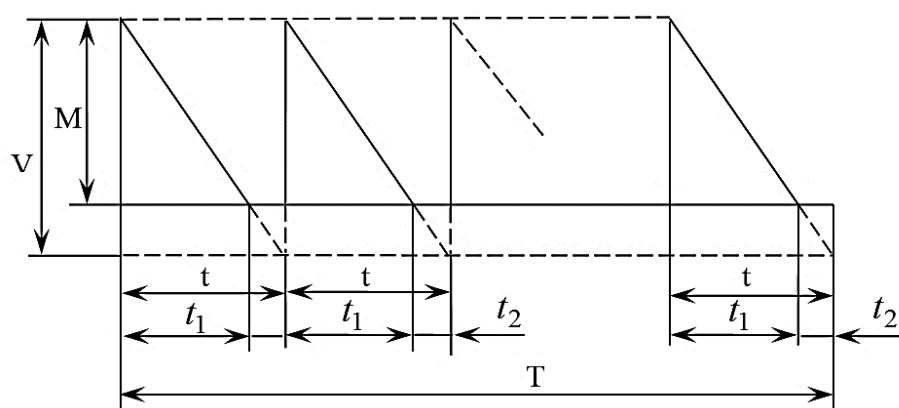


Рис 2.9. Графік рудопостачання з урахуванням попиту, що не задовільняється:

t_1 - період достатньої кількості руди; t_2 - період відсутності руди; M - реальна кількість руди, що постачається; V - потрібна кількість руди

Згідно із графіком рис. 2.9:

$$\frac{t_1}{t} = \frac{M}{V}; \quad \frac{t_2}{t} = \frac{V-M}{V}; \quad n = \frac{Q}{V} = \frac{T}{t}. \quad (2.39)$$

Витрати на дроблення, доставку з урахуванням збитків за період T :

$$W = \left(\frac{Mt_1}{2} C_E + C_{II} + \frac{(V-M)t_2}{2} C_3 \right) \cdot n = \frac{S^2 T}{2V} C_E + \frac{Q}{V} C_{II} + \frac{(V-M)^2 T}{2V} C_3. \quad (2.40)$$

Зробимо дослідження цільової функції на екстремум:

$$\begin{cases} \frac{\partial W}{\partial M} - \frac{MT}{V} C_E - \frac{(V-M)T}{V} C_3 = 0 \\ \frac{\partial W}{\partial V} - \frac{M^2 T C_E}{2V^2} - \frac{Q}{V^2} C_{II} + \frac{2(V-M)TV - (V-M)^2 T}{2V^2} C_3 = 0 \end{cases}. \quad (2.41)$$

Вирішимо систему рівнянь (2.60), одержимо оптимальні значення кількості руди, що постачається та потрібної кількості руди:

$$M_0 = \sqrt{\frac{2QC_{II}C_3}{TC_E(C_E + C_3)}}, \quad (2.42)$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2QC_{II}(C_E + C_3)}{TC_E \cdot C_3}}. \quad (2.43)$$

Оптимальний період постачання руди:

$$t_0 = \frac{T \cdot V_0}{Q}. \quad (2.44)$$

Розглянемо процес постачання та перероблення однорідної сировини, наприклад руди, вугілля, залізничними вагонами або автосамоскидами за добу в умовах двозонного тарифу на електроенергію. Графік руху та переробки сировини наведено на рис. 2.10.

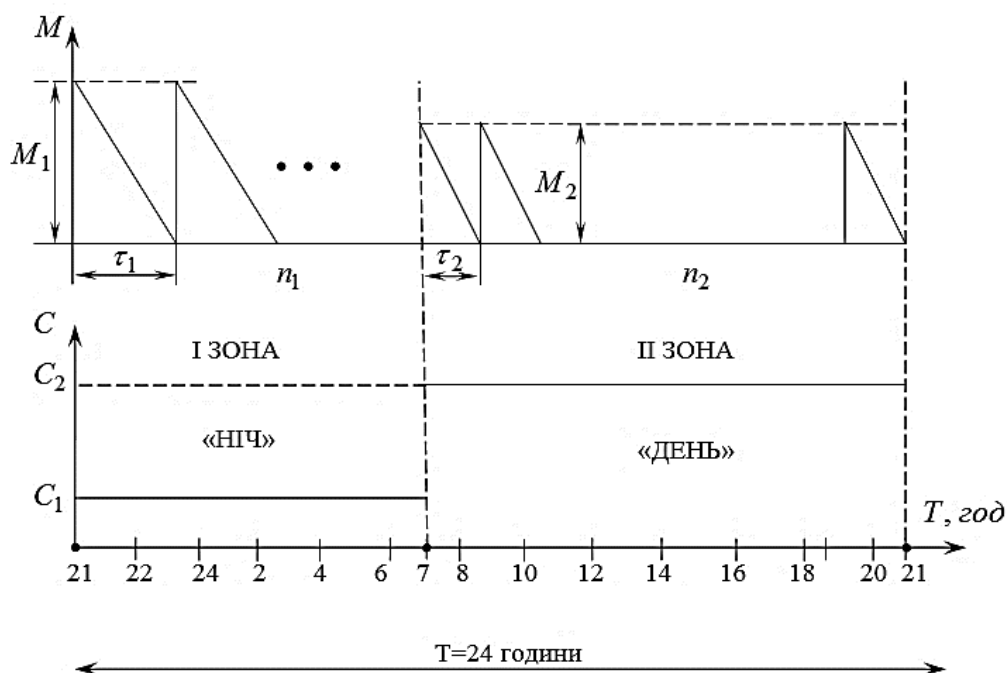


Рис. 2.10. Графік руху та переробки сировини при двозонному тарифі на електроенергію

M – маса сировини; M_1 , M_2 – маси поставки відповідно у зонах I та II. C – тариф на електроенергію; C_1 – тариф на електроенергію у першій зоні «ніч»; C_2 – тариф на електроенергію у другій зоні «день»; τ_1 , τ_2 – час переробки партії сировини відповідно у першій та другій зонах; T – період планування – доба, 24 години

Розглянемо модель руху та переробки сировини окремо в кожній зоні, зробивши у відомих формулах моделі Уілсона [49] заміну собівартості зберігання сировини на собівартість її переробки в умовах енергоємних підприємств.

Оптимальна маса партії сировини у першій зоні під час дії тарифу на електроенергію C_1 :

$$M_{01} = \sqrt{\frac{2Qq_{II}}{T_1q}}, \quad (2.45)$$

де Q_I – планова потреба підприємства у сировині; q_{II} – собівартість постачання сировини; q – собівартість переробки сировини; T_1 – час дії тарифу C_1 .

Оптимальна партія сировини у другій зоні під час дії тарифу на

електроенергію C_2 :

$$M_{02} = \sqrt{\frac{2Q_2 q_{II}}{T_2 q}}, \quad (2.46)$$

де Q_2 - планова потреба підприємства у сировині за час дії тарифу C_2 ; q - собівартість переробки сировини; T_2 - час дії тарифу C_2 .

Оптимальна кількість поставок сировини у першій та другій зонах:

$$n_{01} = \frac{Q_1}{M_{01}}, \quad (2.47)$$

$$n_{02} = \frac{Q_2}{M_{02}}. \quad (2.48)$$

Оптимальні періоди подачі транспортних засобів під розвантаження сировини;

$$\tau_{01} = \frac{T_1}{n_{01}}, \quad (2.49)$$

$$\tau_{02} = \frac{T_2}{n_{02}}. \quad (2.50)$$

Витрати на доставку та електроенергію при переробці сировини у першій зоні:

$$W_1 = \frac{M_{01} T_1}{2} q + \frac{Q_1}{M_{01}} C_{II}. \quad (2.51)$$

У другій зоні:

$$W_2 = \frac{M_{02} T_2}{2} q + \frac{Q_2}{M_{02}} C_{II}. \quad (2.52)$$

Загальні витрати за добу при двозонному тарифі на електроенергію

$$W = \frac{M_{01} T_1}{2} q + \frac{Q_1}{M_{01}} C_{II} + \frac{M_{02} T_2}{2} q + \frac{Q_2}{M_{02}} C_{II}. \quad (2.53)$$

В умовах тризонного тарифу на електроенергію (дивись рис. 2.11) формули розрахунку графіка постачання та переробки сировини будуть аналогічними.

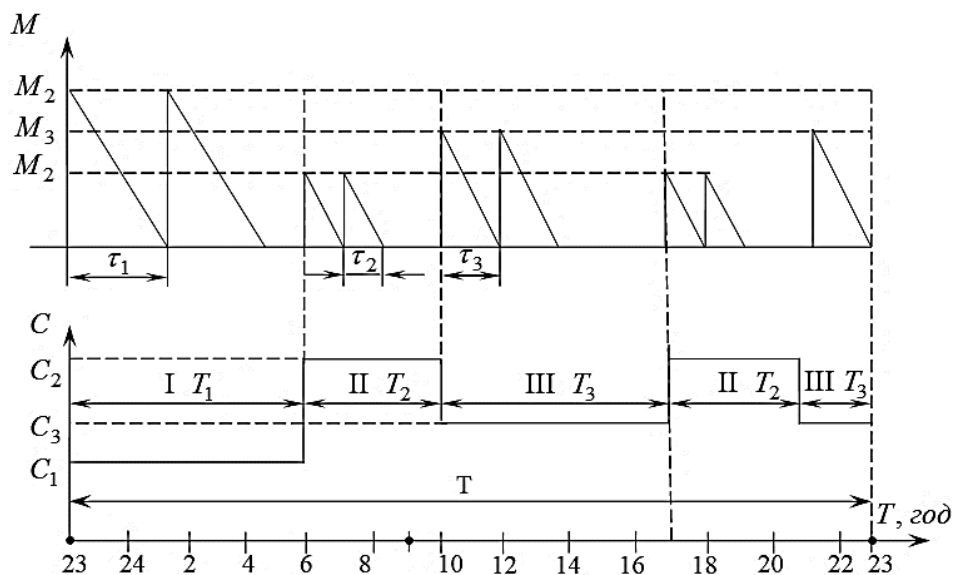


Рис. 2.11. Графік руху та переробки сировини при тризонному тарифі на електроенергію

Оптимальна партія сировини, що постачається у зоні дії третього тарифу на електроенергію:

$$M_{03} = \sqrt{\frac{2Q_3 q_{II}}{T_3 q}}. \quad (2.54)$$

Оптимальна кількість поставок сировини у третій зоні:

$$n_{03} = \frac{Q_3}{M_{03}}. \quad (2.55)$$

Оптимальні періоди подачі транспортних засобів під розвантаження сировини у третій зоні:

$$\tau_{03} = \frac{T_3}{n_{03}}. \quad (2.56)$$

Загальні витрати за добу на постачання та переробку сировини при трьохзонному тарифі на електроенергію:

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \quad (2.57)$$

де W_1 , W_2 , W_3 – витрати на електроенергію відповідно у першій, другій та третій зонах.

$$W_3 = \frac{M_{03}T_3}{2}q + \frac{Q_3}{M_{03}}C_{\Pi}. \quad (2.58)$$

Значення планової кількості сировини Q_1 , Q_2 , Q_3 , що подається під час відповідних тарифів на електроенергію розраховують по формулах:

$$Q_1 = \frac{Q}{24}T_1, \quad (2.59)$$

$$Q_2 = \frac{Q}{24}T_2, \quad (2.60)$$

$$Q_3 = \frac{Q}{24}T_3, \quad (2.61)$$

де Q - планова добова кількість сировини, що постачається; $T_1=7$ год; $T_2=8$ год; $T_3=9$ год.

Для пристосування моделі Уїлсона з теорії управління запасами до оптимізації витрат електроенергії на дробильній фабриці вирішимо питання розмірності.

У моделі управління запасами витрати на доставку та зберігання запасу:

$$W = \frac{M \cdot T_{\Pi}}{2}C_E + \frac{Q}{M}C_{\Pi}, \quad (2.62)$$

де M - маса сировини, що поставляється $[m]$; Q - потреба в сировині за деякий час, наприклад - добу, зміну; T_{Π} - період постачання, $[c]$; $\frac{Q}{M}$ - кількість поставок; C_{Π} - вартість доставки вантажу на зберігання, $[грн]$; C_E - вартість зберігання однієї тонни сировини протягом однієї одиниці часу $[C_E] = \left[\frac{грн}{m \cdot c} \right]$.

Модель Уилсона можливо пристосувати для нашого випадку шляхом надання параметру C_E енергетичного змісту, а саме: C_E - вартість електроенергії, що витрачається на дроблення однієї тонни руди протягом одиниці часу.

Розрахуємо числове значення коефіцієнту C_E за характеристиками дробарки крупного дроблення ККД-1500. Нехай руда постачається автосамоскидами

вантажопідйомністю $M=50 \text{ т}$.

Визначимо час дроблення 50 т. руди методом пропорцій:

$$1500 \text{ т} - 1 \text{ год.}$$

$$50 \text{ т.} - T$$

Звідки $T=0,3333 \text{ год}=120 \text{ с}$.

При питомих витратах електроенергії $q=1,5 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т}}$ витрачається для дроблення 50 т руди $75 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

У вартісному виразі вартість електроенергії:

$$W_E = E \cdot K_T, \quad (2.63)$$

де K_T - тарифний коефіцієнт, що залежить від тарифної зони.

Тариф зони BASE, що діє з 0.00 до 24.00:

$$K_1 = K_T \cdot K_P \cdot K_{II},$$

де K_T - тарифний коефіцієнт ринкової ціни 1 кВт·год. електроенергії;

K_P - тарифний коефіцієнт розподілу 1 кВт·год. електроенергії;

K_{II} - тарифний коефіцієнт передачі 1 кВт·год. електроенергії.

Згідно із тарифами компанії ДТЕК для підприємств Дніпропетровської області на грудень 2023 р.

$$K_T = 4,6 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}; K_P = 1,258 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}; K_{II} = 0,483 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

$$K_1 = 4,6 + 1,258 + 0,483 = 6,31 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

Згідно із формулою [2.62]:

$$\frac{M_0 \cdot T}{2} \cdot C_E = M_0 \cdot q \cdot K_1, \quad (2.64)$$

де $q=1,5 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т}}$ - питомі витрати на електроенергію.

Підставимо в формулу (2.64) числові дані:

$$\frac{50 \cdot 120}{2} \cdot C_E = 50 \cdot 1,5 \cdot 6,31 [\text{грн}]$$

Звідки в зоні BASE:

$$C_{E1} = \frac{50 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 6,31}{50 \cdot 120} = 0,15775 \frac{\text{грн}}{\text{т} \cdot \text{с}}$$

В зоні PEAK з 8.00 до 20.00:

$$C_{E2} = \frac{1,5 \cdot 2,0 \cdot 7,581}{120} = 0,189 \frac{\text{грн}}{\text{т} \cdot \text{с}}$$

В зоні OFF PEAK з 0.00 до 8.00:

$$C_{E3} = \frac{1,5 \cdot 2,0 \cdot 5,105}{120} = 0,127 \frac{\text{грн}}{\text{т} \cdot \text{с}}$$

Виконуємо розрахунок оптимальних параметрів рудопостачання в умовах багатозонного тарифу на електроенергію.

Зона BASE:

оптимальна маса руди, що постачається транспортним засобом:

$$M_0 = \sqrt{\frac{2Q \cdot C_{\Pi}}{T_q \cdot C_E}}, \quad (2.65)$$

де Q - планова кількість руди, що постачається за звітний період; C_{Π} - витрати на постачання одного транспортного засобу з рудою; T - період поставки; C_E - вартість електроенергії, що витрачається на дроблення однієї тонни руди протягом одиниці часу.

Для умов Інгулецького ГЗК:

$$Q = 75000 \text{ т.}; T_q = 24 \text{ год};$$

$$C_n = 1730 \text{ грн.}; C_E = 0,15775 \frac{\text{грн}}{\text{т} \cdot \text{с}}.$$

зона BASE

$$M_0 = \sqrt{\frac{75000 \cdot 1730}{24 \cdot 3600 \cdot 0,15775}} = \sqrt{9519,7} = 97,56 \text{ т.};$$

зона PEAK:

$$M_0 = \sqrt{\frac{75000 \cdot 1730}{24 \cdot 3600 \cdot 0,189}} = \sqrt{7945} = 89 \text{ т.};$$

зона OFF PEAK:

$$M_0 = \sqrt{\frac{75000 \cdot 1730}{24 \cdot 3600 \cdot 0,127}} = \sqrt{11824} = 108 \text{ т.}$$

Число ходок автосамосвалов за добу:

зона BASE:

$$n_0 = \frac{Q}{M_0} = \frac{75000}{97,56} = 768 \text{ (ходок)};$$

зона PEAK:

$$n_0 = \frac{75000}{89} = 842 \text{ (ходок)};$$

зона OFF PEAK:

$$n_0 = \frac{75000}{108} = 694 \text{ (ходок)}.$$

Періоди постачання руди в різних зонах:

зона BASE:

$$t_0 = \frac{T_q}{n_0} = \frac{24 \cdot 3600}{768} = 112 \text{ с};$$

де T_q – тривалість доби – 24 години.

зона PEAK:

$$t_0 = \frac{24 \cdot 3600}{842} = 102 \text{ с};$$

зона OFF PEAK:

$$t_0 = \frac{24 \cdot 3600}{694} = 124 \text{ с}.$$

В кар'єрі Ін ГЗК працюють 5 забоїв по 8 автосамоскидів на 1 забій, тобто 40 автосамоскидів. Кількість ходок N для кожного автосамоскида за добу складає:

$$\text{в зоні BASE: } N_1 = \frac{768}{40} \approx 19 \text{ ходок, або за зміну 6-7 ходок};$$

$$\text{в зоні PEAK: } N_2 = \frac{842}{40} \approx 21 \text{ ходки, або за зміну } \approx 7 \text{ ходок};$$

$$\text{в зоні OFF PEAK: } N_3 = \frac{694}{40} \approx 17 \text{ ходок, або за зміну } \approx 6 \text{ ходок}.$$

Ці параметри можуть бути використані при оптимальному плануванні гірничого-транспортних робіт.

Аналіз результатів оптимізації логістичних параметрів постачання руди на дробильну фабрику показує, що оптимальною партією поставки руди буде 100 т, що відповідає вантажопідйомністю автосамоскидів 100 т. Тобто для мінімізації енерговитрат на дроблення руди автопарк кар'єрних самоскидів повинен бути із стотонних самоскидів в кількості 40 одиниць.

Період розвантаження автосамоскидів у дробарку повинен складати 1,5-2 хвилини. Кількість ходок кожного автосамоскида повинна бути 6-7. Оптимальним тарифом на електроенергію з урахуванням єдиної організації гірничо-транспортних робіт в умовах цілодобової роботи буде базовий тариф BASE. При цьому витрати на електроенергію за добу на дробильній фабриці будуть:

$$W_{BASE} = \frac{M_0 \cdot t_0}{2} C_E \cdot n_0 = \frac{97,56 \cdot 112 \cdot 0,15775 \cdot 768}{2} = 661687 \text{ грн.}$$

При існуючій організації робіт планові витрати на електроенергію на дробарній фабриці за добу будуть:

$$W_{II} = Q \cdot q \cdot K_{T1} = 75000 \cdot 1,8 \cdot 6,31 = 851850 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від оптимізації поставок руди на дробильну фабрику за удосконаленою моделлю Уїлсона буде складати на добу:

$$W_q = (W_{II} - W_{BASE}) = 851850 - 661687 = 190163 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект буде складати:

$$W_{рик} = 190163 \cdot 365 = 69409495 \text{ грн.}$$

що складає близько 1 млн 876 тис доларів США по курсу на грудень 2023 р. 1\$ – 37 грн.

2.4 Економічна оцінка впливу режимів завантаження бункерів на вартість електроенергії, що споживається збагачувальною фабрикою

Виробництво залізорудного концентрату на гірничозбагачувальних підприємствах є основою сировинної бази чорної металургії України. При цьому відомо, що витрати на електроенергію становлять близько 55-60 % у складі собівартості товарної продукції збагачувальних фабрик. Потужність

електрообладнання кожної збагачувальної фабрики вимірюється сотнями тисяч кіловат. Процес збагачення руди зі змінними властивостями являє собою коливальний динамічний процес, що зумовлює підвищення витрат електроенергії на коливання великої кількості рудної сировини, збільшуючи при цьому енергетичну складову собівартості виробництва залізорудного концентрату. У цих умовах проблема зниження динамічної енергетичної складової собівартості виробництва залізорудного концентрату на основі моделювання динаміки енергоспоживання є актуальною.

Для вирішення цієї проблеми треба встановити залежності витрат електроенергії на динаміку енергоспоживання від динаміки постачання руди в бункери збагачувальної фабрики, а саме від періоду завантаження, та його тривалості та розробка на основі виявлених закономірностей організаційно-технічних і економічних заходів по зниженню енергетичної складової собівартості виробництва залізорудного концентрату на гірничо-збагачувальних підприємствах.

Збагачувальна фабрика являє собою низку технологічних ліній, що працюють паралельно.

Для математичного моделювання встановлено такі умови:

– витрати на електроенергію під час збагачення руди залежать від електричної активної потужності P , оскільки споживана обладнанням за час t електрична енергія має таке значення:

$$E = P \cdot t. \quad (2.66)$$

– активна потужність:

$$P = P_{xx} + \bar{P} + P_q, \quad (2.67)$$

де P_{xx} – потужність обладнання на холостому ході; $\bar{P}$ – середнє значення активної потужності; P_q – динамічна складова електричної потужності обладнання.

Величина параметра P_{xx} визначається потужністю, споживаною обладнанням технологічної лінії в холостому режимі без подачі руди. Параметр $\bar{P}$ залежить від продуктивності технологічної лінії по руді.

Величину параметра P_q зумовлено коливаннями якісних характеристик руди та динамікою рудопостачання.

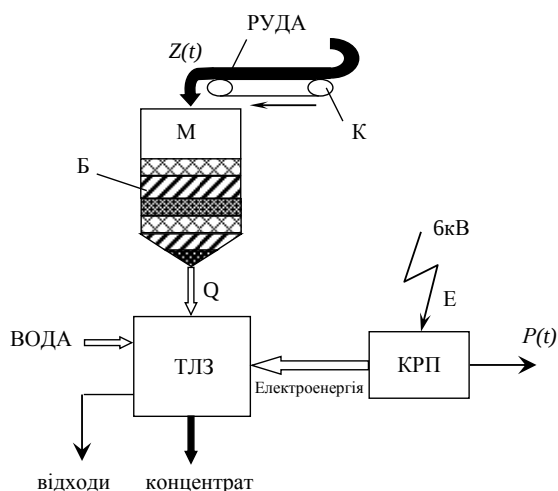


Рис.2.12 Схема технологічної лінії збагачення руди:

$ТЛЗ$ – технологічна лінія збагачення; $Б$ – бункер з рудою; $К$ – конвейєр подачі руди; $КРП$ – комплексний розподільчий пристрій; Q – продуктивність по руді на вході $ТЛЗ$; $М$ – маса руди в бункері; $P(t)$ – активна потужність споживання $ТЛЗ$ як функція часу t ; $Z(t)$ – імпульсний процес подачі руди в бункер; E – електрична енергія

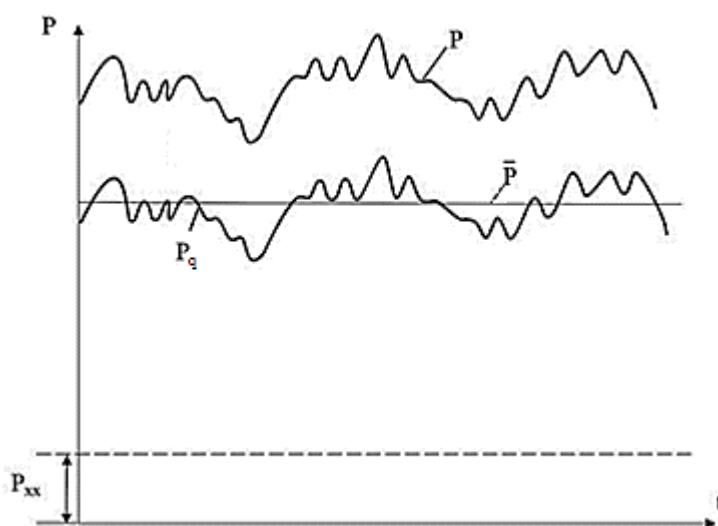


Рис. 2.13. Графіки складових активної потужності, яку споживає обладнання в процесі збагачення руди

Отже, динамічна складова P_q активної потужності що споживається обладнанням є центрованою випадковою величиною з математичним очікуванням $\bar{P}$. Параметр P_q визначається динамікою процесу збагачення і складає 20-30% активної потужності, що споживається в процесі збагачення. Функція $P_q(t)$ відображає стаціонарний випадковий процес, математичне очікування якого дорівнює нулю.

Графік імпульсного процесу подачі руди в бункер наведено на рис. 2.14.

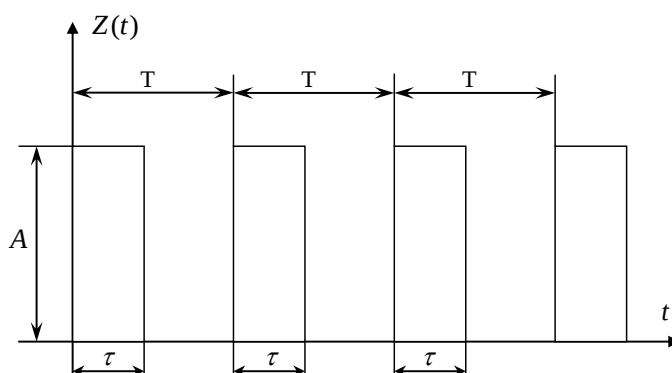


Рис. 2.14. Графік процесу подачі руди в бункер:

A – амплітуда імпульсу; T – період; τ – довжина імпульсу

Імпульсний характер довантаження руди в бункер зумовлено режимом роботи головного конвеєра й автостели, яка послідовно завантажує всі бункери збагачувальної фабрики в човниковому режимі.

Спектральна щільність цього процесу має такий вигляд:

$$S_{\kappa}(\omega) = A \frac{\sin \frac{\omega_{\kappa} \tau}{2}}{\frac{\omega_{\kappa} T}{2}}, \quad (2.68)$$

де $\omega_{\kappa} = \frac{2\pi\kappa}{T}$, $\kappa = 0, 1, 2, 3 \dots$

Розглянемо технологічну схему збагачення руди (рис. 2.12) з позицій теорії керування та побудуємо функціональну й структурну схеми ТЛЗ як об'єкта керування.

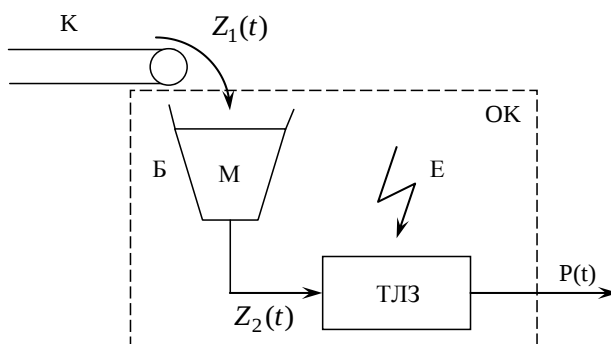


Рис. 2.15. Функціональна схема ТЛЗ:

OK - об'єкт керування. $Z_1(t)$ - показник якості руди на вході в бункер; $Z_2(t)$ - показник якості руди на виході з бункера та на вході в ТЛЗ; M - маса руди в бункері

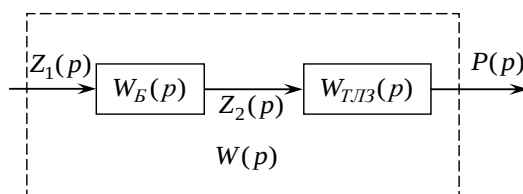


Рис. 2.16. Структурна схема ТЛЗ:

$W_B(p)$ – передатна функція бункера; $W_{ТЛЗ}(p)$ – передатна функція ТЛЗ;
 $Z_1(p)$, $Z_2(p)$, $P(p)$ – відображення через оператор Лапласа функцій часу $Z_1(t)$,
 $Z_2(t)$, $P(t)$, $W(p)$ – передатна функція об'єкта керування, де p – оператор Лапласа

Передатна функція об'єкту керування в разі послідовного з'єднання об'єктів

$$W(p) = W_B(p) \cdot W_{ТЛЗ}(p) . \quad (2.69)$$

Передатна функція бункера з рудою

$$W_B(p) = \frac{\kappa_B}{T_B(p) + 1} , \quad (2.70)$$

де κ_B – передатний коефіцієнт бункера; T_B – стала часу заповнення бункера;

Передатна функція ТЛЗ

$$W_{ТЛЗ}(p) = \frac{\kappa_{ТЛЗ}}{T_{ТЛЗ}(p) + 1} e^{-p\tau_{ТЛЗ}} , \quad (2.71)$$

де $\kappa_{ТЛЗ}$ - передатний коефіцієнт ТЛЗ; $T_{ТЛЗ}$ - стала часу заповнення бункеру;
 $\tau_{ТЛЗ}$ - транспортне запізнення в роботі ТЛЗ.

Передатна функція ТЛЗ з бункером:

$$W(p) = \frac{\kappa_B \cdot \kappa_{ТЛЗ}}{(T_B p + 1)(T_{ТЛЗ} p + 1)} e^{-p\tau_{ТЛЗ}} / \quad (2.72)$$

Замінюючи оператор Лапласа p на параметр $j\omega$ та виконуючи елементарні перетворення, одержимо модуль комплексного коефіцієнта передачі ТЛЗ з бункером, а саме:

$$|\kappa(j\omega)| = \frac{\kappa}{\sqrt{(1 - \omega^2 T_1)^2 + \omega^2 T_2^2}}, \quad (2.73)$$

де $\kappa = \kappa_B \cdot \kappa_{ТЛЗ}$; $T_1 = T_B$; $T_2 = T_{ТЛЗ}$; ω - колова частота.

Із теорії управління відомо, що спектральна щільність сигналу активної потужності що споживається обладнанням технологічної лінії збагачення:

$$S_2(\omega) = S_\kappa(\omega) \cdot |\kappa(j\omega)|^2 = A \frac{\left| \sin \frac{\omega_\kappa \tau}{2} \right|}{\frac{\omega_\kappa \tau}{2}} \cdot \frac{\kappa^2}{(1 - \omega^2 T_1)^2 + \omega^2 T_2^2}. \quad (2.74)$$

Цей параметр впливає на величину динамічної складової електричної енергії, що споживається в процесі збагачення руди на коливання, тобто

$$\tilde{P} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty S_2(\omega) d\omega, \quad (2.75)$$

За допомогою оберненого перетворення Фур'є можливо за спектральною щільністю процесу $S_2(\omega)$ розрахувати витрати електроенергії на динаміку процесу збагачення руди за заданий період часу T_z (зміна, доба, місяць).

$$E = \int_0^{T_p} P(t) dt, \quad (2.76)$$

де E - витрати електроенергії на динаміку процесу збагачення.

Виконаємо моделювання динаміки енергоспоживання. Метою моделювання є пошук раціонального співвідношення періоду T та часу τ завантаження бункерів

збагачувальної фабрики, яке може відповідати мінімальному значенню енергетичної складової собівартості виробництва концентрату.

Моделювання виконували скориставшись програмним пакетом Mathcad, на основі розроблених математичних моделей для різних значень параметрів завантаження бункерів збагачувальної фабрики.

Результати моделювання наведені у таблиці 2.1, додаток 1.

За результатами моделювання побудовано графіки (рис. 2.17)

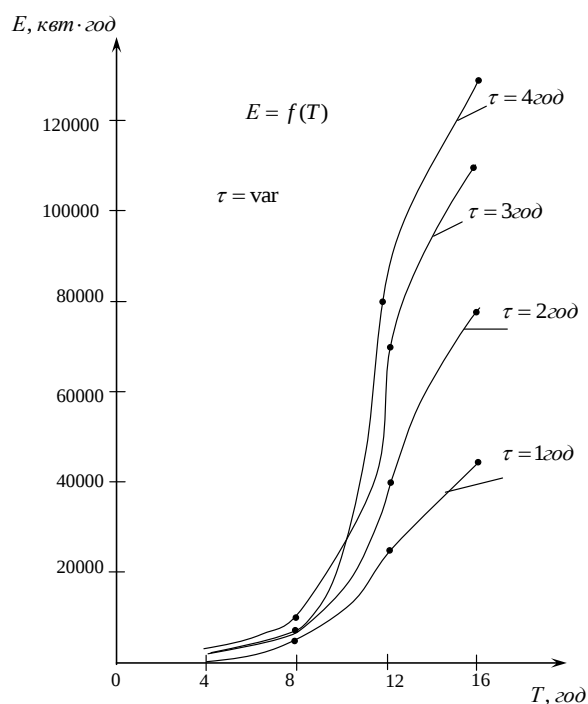


Рис. 2.17. Графіки залежності витрат електроенергії на коливання E від періоду завантаження бункерів T й часу завантаження τ

Аналіз результатів моделювання показує, що для базового режиму завантаження бункерів рудою при періоді $T = 8$ год, тривалість завантаження бункерів рудою $\tau = 2$ год, енергія, що споживається на коливання технологічного процесу $E = 4,3 \cdot 10^3$ кВт·год за одну зміну або 12900 кВт·год за добу.

Найкращій режим завантаження бункеру, що характеризується мінімальним значенням енергоспоживання, повинен мати такі параметри:

- період завантаження $T = 4$ год;
- тривалість завантаження бункера $\tau = 1$ год;

– енергія, що споживається на коливання технологічного процесу $E = 156$ кВт·год за зміну або 468 кВт·год за добу.

Економія електроенергії за добу при однозонному тарифі 2 грн за кВт·год дорівнює 12432 кВт·год. Грошовий еквівалент економії становить 24864 грн, а за рік близько 9 млн. грн.

2.5 Економічна оцінка впливу погодних умов на динаміку електроспоживання та витрати електроенергії гірничо-збагачувального комбінату

На підприємствах оцінка економічної ефективності заходів по енергозбереженню на основі аналізу загального енергоспоживання виконується на підприємстві. Тобто економічна ефективність заходів по енергозбереженню на підприємстві оцінюється по формулі:

$$C = E(K_1 + K_2 + K_3), \quad (2.77)$$

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 внесок в цей ефект було зроблено підрозділами підприємства. Для гірничо-збагачувальних комбінатів підрозділами є гірничотransпортний комплекс, дробильна та збагачувальна фабрики.

Вплив ритмічності роботи в різних погодних умовах на динаміку енергоспоживання ніде не розглядався. Але відомо, що ритмічність залежить від організації та планування роботи гірничотransпортного комплексу в різних погодних умовах.

Обґрунтуємо методику оцінки економічної ефективності заходів по покращенню динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комбінату на прикладі роботи в різних погодних умовах.

Розглянемо схему енергоспоживання гірничо-збагачувального комбінату, наведену на рис. 2.18.

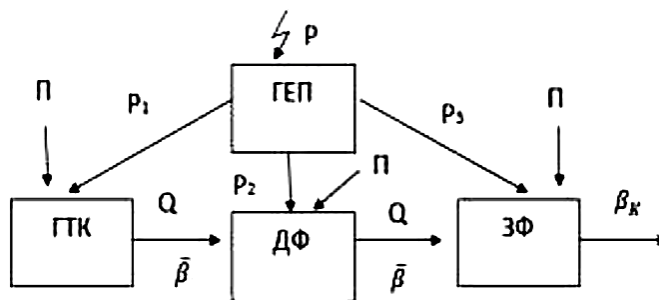


Рис. 2.18 Схема енергоспоживання ГЗК:

ГТК - гірничо-транспортний комплекс; *ДФ* - дробарна фабрика; *ЗФ* - збагачувальна фабрика; *ГЕП* - головна електрична підстанція; P, P_1, P_2, P_3 - електрична потужність, що споживається відповідно ГЗК, ГТК, ДФ, ЗФ; Q - продуктивність ГТК та ДФ по руді; $\bar{\beta}$ - вектор показника якості руди; β_k - масова частка 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, збагачуваність змінюються згідно із природними та погодними умовами, графіками проведення гірничих робіт, логістикою роботи транспортного цеху, режимів завантаження 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, що споживається ГЗК

$$P(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) . \quad (2.78)$$

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

$$P^0(t) = P(t) - \bar{P}(t), \quad (2.79)$$

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 згідно із [14] та рис. 1.1:

$$E^0 = T \int_0^{\infty} S_{p^0}(\omega) d\omega, \quad (2.80)$$

де T - час спостереження або період звітності; $S_{p^0}(\omega)$ - спектральна щільність процесу $P^0(t)$.

Ритмічність роботи гірничо-збагачувального комбінату залежить від цілої низки організаційних, економічних та технічних заходів, що впливають на роботу гірничотранспортного комплексу, дробильної та збагачувальної фабрик та динаміку їх електроспоживання. Розглянемо деякі заходи окремо по підрозділах ГЗК.

Заходи по зменшенню динамічної складової електричної енергії, що споживається за рахунок роботи гірничотранспортного комплексу:

- чітке планування та витримування змінно-добових, тижневих, місячних графіків видобутку та постачання руди;
- оптимізація постачання руди на дробильну фабрику автомобільним та залізничним транспортом;
- організація ритмічної роботи гірничого та транспортного обладнання в кар'єрі.

Заходи з енергозбереження на дробильній фабриці:

- підтримання постійної кількості залізничних думпкарів та самоскидів з рудою, що завантажуються в дробарку крупного 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 з енергозбереження на збагачувальній фабриці:

- організація спеціальних режимів завантаження рудою бункерів збагачувальної фабрики;
- підтримання ритмічної роботи збагачувального технологічного обладнання;
- автоматизація технологічних процесів;
- підтримування оптимального завантаження рудою млинів;
- забезпечення завантаження головного конвейєра, що подає руду в бункера збагачувальної фабрики;
- витримування графіків планово-попереджувальних 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 з забезпечення нормальної роботи кар'єру, транспортного комплексу, дробильної і збагачувальної фабрик та заходи з енергозбереження. Виконаємо дослідження впливу погодних умов на динаміку електроспоживання ГЗК.

Виконаємо спектральний аналіз активної потужності, що споживається гірничо-збагачувальним комбінатом методом швидкого перетворювання Фур'є [14] за даними проф. Марюти О. М. [30], що були оброблені методом експоненціального згладжування. Результати аналізу наведено на рис. 2.19.

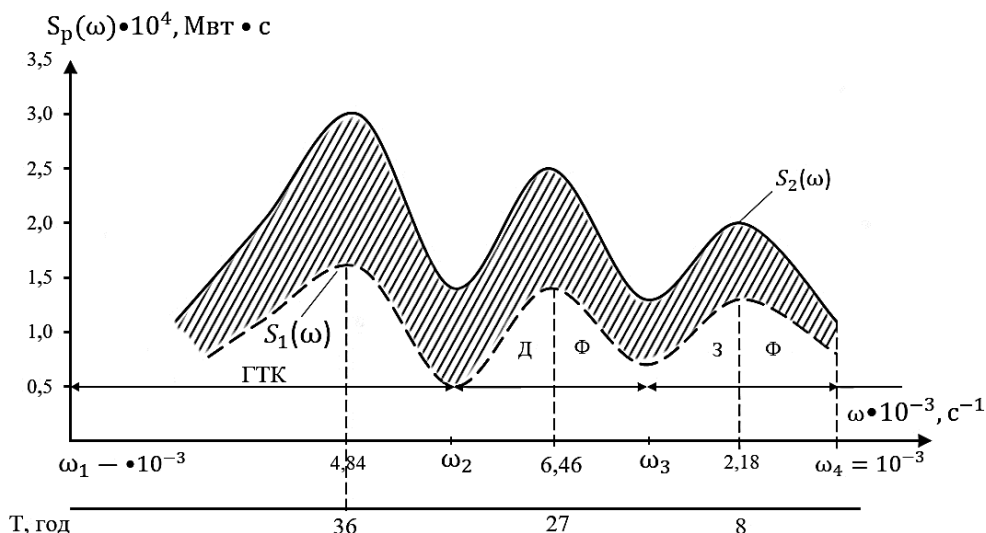


Рис. 2.19 Спектральні щільності динамічної складової активної потужності:

T - період коливань активної потужності:

ω - кутова частота коливань активної потужності; ÷

$(\omega_2 \div \omega_1)$ - діапазон частот, що визначається роботою гірничотранспортного комплексу;

$(\omega_3 \div \omega_2)$ - діапазон частот, що визначається роботою дробильної фабрики;

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

На рис. 2.19 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 з енергозбереження.

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

Тобто динамічна частина електричної енергії, що споживається ГЗК і визначається роботою гірничотранспортного комплексу за період часу T

$$E_{ГТК} = T \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_p(\omega) d\omega. \quad (2.81)$$

Динамічна частина електричної енергії, що провокується роботою дробильної фабрики

$$E_{ДФ} = T \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_p(\omega) d\omega. \quad (2.82)$$

Динамічна частина електричної енергії, що провокується роботою збагачувальної фабрики

$$E_{ЗФ} = T \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_p(\omega) d\omega. \quad (2.83)$$

На рис. 2.19 заштрихована область пропорційна різниці динамічної частини активної потужності, що споживається ГЗК взимку та влітку.

$$\Delta P_{ГЗК} = \int_{\omega_1}^{\omega_4} S_2(\omega) d\omega - \int_{\omega_1}^{\omega_4} S_1(\omega) d\omega. \quad (2.84)$$

Різниця споживання динамічної частини електричної енергії ГЗК взимку та влітку

$$\Delta E_{ГЗК} = T \Delta P_{ГЗК}. \quad (2.85)$$

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.

Вартість різниці динамічної частини споживаної електроенергії за зимовий та літній місяці:

$$\Delta C_E = \Delta E \cdot K_E, \quad (2.86)$$

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

$$K_E = 1680 \frac{\text{грн}}{\text{МВт} \cdot \text{год}};$$

ΔE - різниця між споживанням взимку та влітку.

Різниця вартості подачі електроенергії:

$$\Delta C_{II} = \Delta E \cdot K_{II}, \quad (2.87)$$

де K_{II} - тарифний коефіцієнт подачі електроенергії,

$$K_{\Pi} = 345,64 \frac{\text{грн}}{\text{MBm} \cdot \text{год}}.$$

Різниця вартості розподілу електроенергії

$$\Delta C_P = \Delta E \cdot K_P, \quad (2.88)$$

де K_P - тарифний коефіцієнт подачі електроенергії,

$$K_P = 783,32 \frac{\text{грн}}{\text{MBm} \cdot \text{год}}.$$

Для гірничотранспортного комплексу

$$\Delta E_{ГТК} = T \left(\int_{\omega_1}^{\omega_2} S_2(\omega) d\omega - \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_1(\omega) d\omega \right). \quad (2.89)$$

Для дробильної фабрики

$$\Delta E_{ДФ} = T \left(\int_{\omega_2}^{\omega_3} S_2(\omega) d\omega - \int_{\omega_2}^{\omega_3} S_1(\omega) d\omega \right). \quad (2.90)$$

Для збагачувальної фабрики

$$\Delta E_{ЗФ} = T \left(\int_{\omega_3}^{\omega_4} S_2(\omega) d\omega - \int_{\omega_3}^{\omega_4} S_1(\omega) d\omega \right). \quad (2.91)$$

Підставляємо результати розрахунків за формулами (2.89, 2.90, 2.91) в формули (2.86, 2.87, 2.88) та розраховуємо вартість 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:

$$\Delta C = \Delta C_E + \Delta C_{\Pi} + \Delta C_P. \quad (2.92)$$

Результати розрахунків показників ефективності заходів забезпечення ритмічності роботи та динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комбінату зведено в табл. 2.2, додаток 1.

За формулами (2.81) - (2.92) можливо оцінювати також економічну ефективність заходів по управлінню динамікою енергоспоживання підрозділів гірничо-збагачувального комбінату.

Висновки

Результати досліджень виконаних у другому розділі дозволяють зробити наступні висновки:

- Встановлено зв'язок між спектральними щільностями продуктивності та електроспоживанням процесів рудопідготовки. Їх співвідношення визначається квадратом питомих витрат електроенергії на тонну видобутої руди.

- Аналіз енергетичних спектрів процесів рудопідготовки дозволив визначити шляхи зниження витрат на електроенергію за рахунок динаміки електроспоживання.

- Розроблено економіко-математичну модель динаміки електроспоживання дробильної фабрики, що працює разом із транспортним підприємством, яке постачає сировину. Модель зв'язує динамічну складову електричної енергії, що споживається дробильним обладнанням і логістичні параметри постачання сировини на дробильну фабрику.

- Встановлено, що при періодичному постачанні сировини на дробильну фабрику, вартість динамічної складової електроенергії значно перевищує статичну складову загальних витрат на електроенергію, що споживається дробильною фабрикою.

- Встановлено, що суттєво знизити витрати електроенергії на дробильних фабриках можливо за рахунок мінімізації простоїв дробильного обладнання та зменшення періоду постачання сировини.

- Удосконалена модель управління запасами Уїлсона з метою застосування її для оптимізації постачання руди гірничотransпортним комплексом на дробильну фабрику шляхом заміни коефіцієнта вартості зберігання однієї тони сировини протягом одиниці часу на коефіцієнт вартості електроенергії, що витрачається на дроблення однієї тони руди протягом одиниці часу, що дає можливість оптимізувати логістичні параметри постачання руди за критерієм мінімуму витрат на електроенергію, в умовах багатозонного тарифу на електроенергію.

- При багатозонному тарифі на електроенергію оптимальна партія поставки

сировини нелінійно залежить від планової потреби сировини, собівартості переробки та постачання, зонального тарифу на електроенергію та часу його дії.

– При плануванні поставок сировини в умовах багатозонного тарифу на електроенергію кількість поставок та період постачання визначається окремо для кожної зони дії тарифу на електроенергію.

– Режимми завантаження бункерів збагачувальної фабрики рудою суттєво впливають на вартість електроенергії, що споживається збагачувальною фабрикою.

– Для зменшення вартості електроенергії, що споживається збагачувальною фабрикою, необхідно організовувати режим завантаження бункерів рудою з технічно мінімально можливим періодом та часом завантаження.

– 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 з забезпечення ритмічності роботи та динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комбінату.

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ РИТМІЧНІСТЮ ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ЗА ДИНАМІКОЮ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3.1 Наукове обґрунтування зв'язку ритмічності виробництва та динаміки електроспоживання на гірничорудних підприємствах

Собівартість виробництва продукції дробильних фабрик значною мірою залежить від організації та планування роботи гірничотранспортного комплексу, параметрів рудопостачання на дробарні та збагачувальні фабрики. Ритмічність роботи гірничорудних підприємств впливає на ритмічність електроспоживання. Обсяги продукції пов'язані з обсягом електроенергії, що споживається на виробництво цієї продукції через питомі витрати електроенергії. Проблема полягає в отриманні закономірностей взаємозв'язку між ритмічністю виробництва та ритмічністю електроспоживання. Ці закономірності дадуть можливість оцінювати та управляти рівнем ритмічності виробництва за динамікою енергоспоживання підприємства та одержати синергетичний економічний ефект, що буде сприяти зниженню собівартості продукції гірничорудних підприємств.

В науковій літературі визначаються поняття ритмічності та рівномірності виробництва. Ритмічність виробництва - це випуск продукції відповідно до встановленого завдання за кожний відрізок часу звітного періоду. Рівномірність - це однакові обсяги випуску продукції за рівні проміжки часу. В гірничорудній промисловості місячні плани виробництва розподіляються за днями і змінами рівномірно тому оцінки ритмічності і рівномірності виконані завдані співпадають. Тобто ритмічність гірничорудного виробництва - це рівномірний випуск продукції за графіком у часі в обсязі визначеним планом.

Ритмічна робота підприємства є основною умовою вчасного випуску та реалізації продукції. Неритмічність погіршує всі економічні показники: знижується якість продукції, збільшується обсяг незавершеного виробництва, уповільнюється оборотність капіталу, не виконуються поставки по договорах і підприємство платить штрафи за невчасне відвантаження продукції, невчасно надходить

виручка, пере витрачається фонд заробітної плати у зв'язку з тим, що на початку місяця робітникам платять за простої, а в кінці - за надурочні роботи. Усе це призводить до підвищення собівартості продукції, зменшення суми прибутку, погіршення фінансового стану підприємства.

Для оцінки ритмічності роботи підприємства використовують коефіцієнт варіації, що визначається як відношення середньоквадратичного відхилення від планового завдання за період (добу, декаду, місяць, квартал) до середньодобового, середньодекадного, середньомісячного, середньоквартального планового випуску продукції. Чим більше коефіцієнт варіації, тим неритмічніше працює підприємство.

Визначимо взаємозв'язок між ритмічністю виробництва та динамікою електроспоживання гірничорудним підприємством з метою управління рівнем ритмічності виробництва за динамікою електроспоживання.

Розглянемо типову схему гірничорудного підприємства.

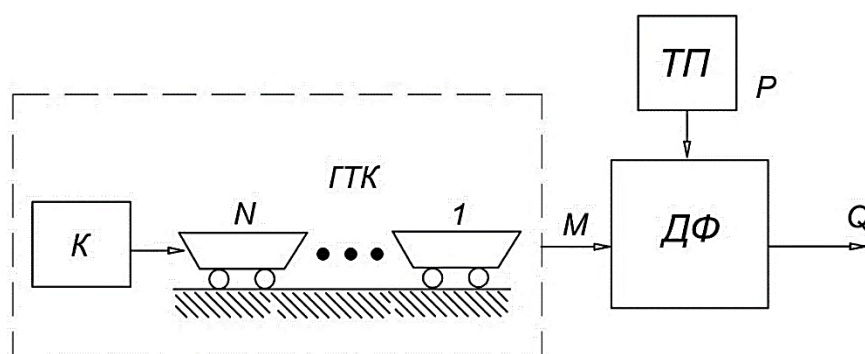


Рис. 3.1. Типова технологічна схема гірничорудного підприємства:

K - кар'єр; $ДФ$ - дробильна фабрика; $ТП$ - електрична трансформаторна підстанція;

$ГТК$ - гірничотранспортний комплекс; M - маса руди, що постачається на $ДФ$;

$1 \dots N$ - номери залізничних думпкарів; Q - продуктивність $ДФ$; P - активна потужність, що споживається $ДФ$

Руда з кар'єру K залізничними думпкарами постачається тяговим агрегатом на дробильну фабрику. Для аналізу процесу постачання руди використаємо метод групування. Будемо розглядати кожну партію руди в обсязі суми вантажу всіх думпкарів одного тягового агрегату, як одиничну поставку M_0 .

$$M_0 = \sum_{i=1}^N m_i , \quad (3.1)$$

де m_i - маса руди в i -м думпкарі, N - кількість думпкарів.

Розглянемо графік внутрішньозмінного добового планового режиму роботи ГТК і ДФ.

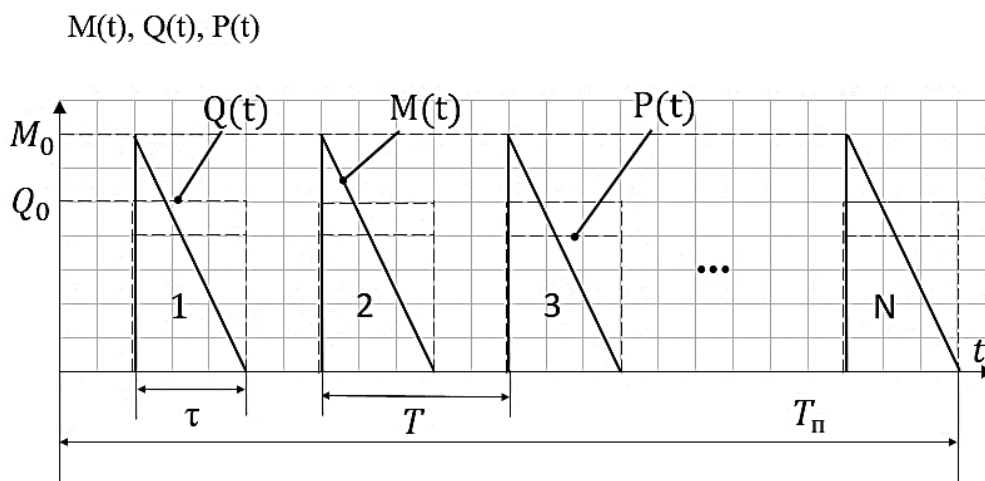


Рис. 3.2. Плановий графік роботи підприємства:

T - період постачання; $T_{\text{п}}$ - плановий період роботи; τ - час дроблення партії руди;

$M(t)$ - зміни у часі маси руди, що переробляється; $Q(t)$ - зміна у часі продуктивності дробильної фабрики; $P(t)$ - зміна у часі активної потужності, що споживається дробильною фабрикою

Основні формули для розрахунків:

$$P(t) = Q(t) \cdot q , \quad (3.2)$$

де q - питомі витрати електроенергії на дроблення однієї тони руди, $\frac{\text{КВт} \cdot \text{год}}{\text{т}}$; $Q(t)$ - продуктивність ДФ, т/год; P - активна потужність, кВт.

Електрична енергія, що споживається за плановий період $T_{\text{п}}$

$$E = M_0 \cdot N \cdot q , \quad (3.3)$$

де

$$N = \frac{T_{\text{п}}}{T} .$$

Аналіз рис. 3.2 та формули (3.3) показує, що між кількістю дробленої руди та

витраченою електричною енергією завжди існує прямо пропорційна залежність, що визначається питомими витратами електричної енергії на тонну дробленої руди. Цей висновок дозволяє використати електричну енергію, що споживається дробильною фабрикою, як непряму оцінку ритмічності роботи гірничотранспортного комплексу та дробильної фабрики. Таким чином динаміка електроспоживання характеризує ритмічність споживання електроенергії та ритмічність виробництва на гірничорудному підприємстві.

Дійсно, під ритмічністю розуміють випуск продукції у кожному відрізку часу у відповідності з визначеними на цей відрізок часу плановими завданнями.

У нашому випадку коефіцієнт ритмічності

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n M_{\phi i}}{\sum_{i=1}^n M_{\text{ni}}} , \quad (3.4)$$

де $M_{\phi i}$ - фактичний обсяг дробленої руди за i -й відрізок часу; M_{ni} - плановий обсяг дроблення руди за i -й відрізок часу, n - кількість відрізків часу.

Наприклад для розрахунку змінно-добової ритмічності відрізком часу може бути зміна, тоді n - буде кількість змін, що розглядається.

Згідно із формулою (3.3) фактичний обсяг виробленої руди:

$$M_{\phi i} = \frac{E_i}{q} , \quad (3.5)$$

де E_i - фактичне споживання електроенергії за цей відрізок часу. Тоді коефіцієнт змінно-добової ритмічності буде:

$$K_p = \frac{\frac{1}{q} \sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n M_{\text{ni}}} , \quad (3.6)$$

Враховуючи зв'язок електричної енергії, що споживається технологічним процесом та обсягом виробленої продукції пропонується оцінювати ритмічність виробництва за графіком електричних навантажень, який характерний для гірничорудних підприємств, залізрудних та вугільних шахт.

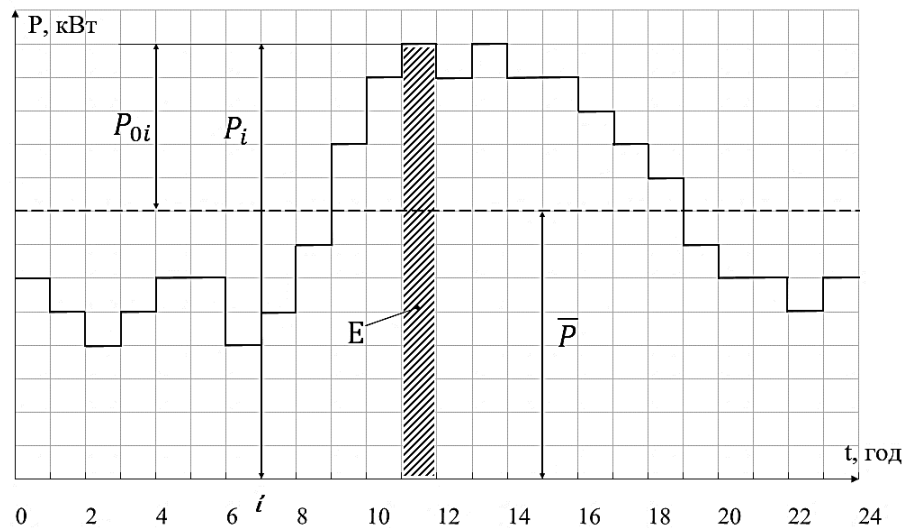


Рис. 3.3. Графік електричних навантажень підприємства:

P, E - відповідно активна потужність та електрична енергія, що споживаються процесом виробництва; P_i - активна потужність, що споживаються в момент часу, де $i = 1, 2, \dots, 24$; $\bar{P}$ - середнє арифметичне значення активної потужності, що споживається за добу

Графік електричних навантажень підприємства являє собою динамічний ряд. Він характеризує динаміку та ритмічність енергоспоживання, а враховуючи формулу (3.6) також характеризує ритмічність виробничого процесу. Ритмічність виробництва можна оцінити за ритмічністю споживання електроенергії виробничим процесом за коефіцієнтом варіації $v\%$. Враховуючи, що значення спожитої електроенергії E_i за кожний часовий інтервал буде чисельно дорівнювати активній потужності P_i , то згідно із рис. 3.3 запишемо:

$$v\% = \frac{\delta_p}{\bar{P}} \cdot 100\% , \quad (3.7)$$

де δ_p - середньоквадратичне відхилення активної потужності, що споживається виробничим процесом; $\bar{P}$ - середнє арифметичне значення активної потужності

$$\delta_p = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} , \quad (3.8)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (3.9)$$

Коефіцієнт варіації характеризує відхилення від середнього значення коливань активної потужності, що споживається виробничим процесом за визначений відрізок часу. Чим менше коефіцієнт варіації, тим більше ритмічність електроспоживання та ритмічність виробничого процесу.

Для оцінки ритмічності K_p також використовують формулу:

$$K_p = 1 - K_v, \quad (3.10)$$

де K_v - коефіцієнт варіації.

$$K_v = \frac{\delta_p}{P}.$$

При рівномірному та ритмічному виробництві коефіцієнт варіації наближається до нуля, а коефіцієнт ритмічності дорівнює одиниці.

Економічну оцінку ритмічності електроспоживання можна зробити за період часу, наприклад 30 діб, або 720 годин.

Нехай встановлена номінальна потужність дробильної фабрики складає 10 Мвт, а середньо-квадратичне відхилення δ_p коливань активної потужності складає близько 20% від номінальної потужності, або 2 Мвт. За 30 діб вартість динамічної складової електроенергії, що споживається дробильною фабрикою:

$$C = (K_1 + K_2 + K_3) \cdot \delta_p \cdot T, \quad (3.11)$$

де K_1, K_2, K_3 - тарифні коефіцієнти, що визначають відповідно вартість, доставку та розподіл 1МВт·год електричної енергії.

За даними ДТЕК на 2022 рік $K_1 = 1680 \frac{\text{грн}}{\text{МВт} \cdot \text{год}}$, $K_2 = 345,64 \frac{\text{грн}}{\text{МВт} \cdot \text{год}}$, $K_3 = 783 \frac{\text{грн}}{\text{МВт} \cdot \text{год}}$. Підставляємо числові значення у формулу (3.11), одержимо:

$$C = (1680 + 345,64 + 783) \cdot 2 \cdot 720 = 4044441,6 \text{ грн}.$$

Тобто вартість динамічної складової електроенергії, що споживається за місяць дробарною фабрикою, складає близько 4 млн. грн.

Коефіцієнт варіації споживання електроенергії буде $\nu = \frac{\delta_p}{P} \cdot 100\% = 20\%$.

$$C = f(\nu)$$

Побудуємо графік, що наведений на рис. 3.4.

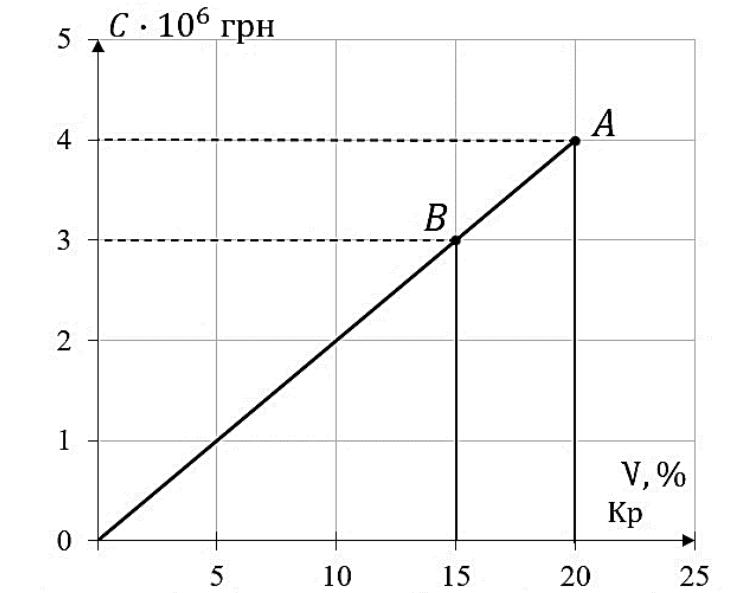


Рис. 3.4. Графічна інтерпретація вартості динамічної складової електричної енергії:

ν - коефіцієнт варіації електроспоживання; C - вартість динамічної складової електричної енергії; A, B - робочі точки

З рис. 3.4 видно, що зниження коефіцієнта варіації споживання електроенергії на 5% дає зниження вартості динамічної складової електроенергії для нашого прикладу на 1 млн. гривень щомісячно.

3.2 Оцінка виконання плану та ритмічності випуску продукції дробильної фабрики за показниками динаміки електроспоживання.

Під ритмічністю виробничого процесу розуміється точне виконання передбачених планом завдань у кожному відрізку часу. Організація ритмічності роботи гірничорудного підприємства – це один із можливих шляхів підвищення економічної ефективності. Для впровадження заходів з покращення ритмічності виробництва необхідно оперативно одержувати інформацію про рівень ритмічності, виявляти обставини, що порушують ритмічність та оперативно їх

усунути. Існуючі методи оцінки ритмічності та виконання плану виробництва продукції передбачають оцінювати ритмічність та виконання плану за досить довгий період часу (доба, місяць, рік). Такі оцінки робляться після випуску та підрахунку обсягу виробленої продукції. Але для оперативного управління виробництвом треба оцінювати ритмічність та виконання плану в процесі виробництва з урахуванням погодинних та внутрішньозмінних режимів роботи виробництва.

Розробимо методи підвищення оперативності діагностики внутрішнього змінної, погодинної ритмічності випуску продукції дробильних фабрик за динамікою електроспоживання.

Згідно із методиками [42] для розрахунку коефіцієнтів аритмічності виробництва використовуються значення фактичного та планового випуску продукції. Наприклад, показник аритмічності випуску продукції розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{V_{i\phi}}{V_{inl}} - 1 \right|, \quad (3.12)$$

де $V_{i\phi}$, V_{inl} - відповідно фактичний та плановий обсяг продукції за кожний i -й відрізок часу; n - кількість відрізків часу.

Для управління процесом виробництва необхідна оперативно під час виробництва контролювати ритмічність виробництва у часі для того, щоб своєчасно приймати заходи, коли ритмічність виробництва порушується.

Розрахунок за формулою (3.12) дозволяє константувати факт ритмічності випуску продукції у минулому часі. Цей метод потребує підраховувати вже випущену продукцію, після того як процес її виготовлення вже закінчився.

Обґрунтуємо оперативний метод визначення ритмічності виробництва за динамікою електроспоживання, враховуючи залежність електричної енергії, що споживається від питомих витрат електроенергії на одиницю випущеної продукції.

Розглянемо технологічну схему дробильної фабрики, що наведена на рис. 3.5.

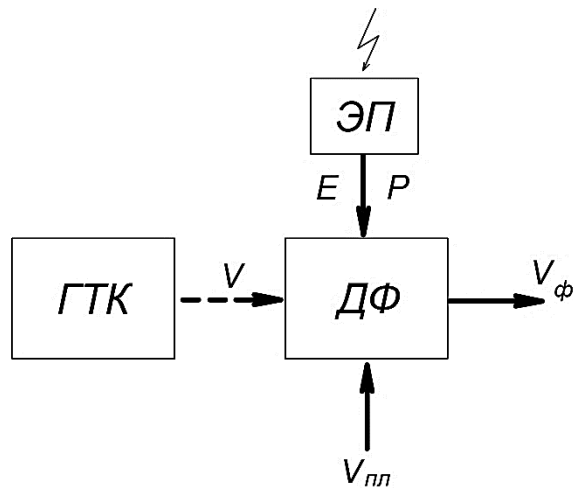


Рис. 3.5. Технологічна схема дробильної фабрики:

ГТК - гірничо-транспортний комплекс; *ДФ* - дробарна фабрика; *ЕП* - електрична підстанція; *V* – обсяг руди, що постачається ГТК; *V_ф* - фактичний обсяг продукції дробильної фабрики; *V_{пл}* - плановий обсяг продукції дробильної фабрики; *P* - електрична активна потужність, що споживається дробильною фабрикою; *E* - електрична енергія

Обсяг продукції, що випускається дробильною фабрикою, електрична енергія та активна потужність, що споживається, зв'язані між собою співвідношенням:

$$E = P \cdot \Delta t = V \cdot q, \quad (3.13)$$

де *E* - електрична енергія, що витрачається на дроблення руди; *q* - питомі витрати електроенергії на виробництво однієї тони дробленої руди; Δt - період часу; *P* - активна потужність; *V* - обсяг продукції.

З формули (3.12) видно, що обсяг продукції що випускається дробильною фабрикою можливо оцінювати за показниками спожитої електричної енергії *E*, та питомих витрат електроенергії *q*, тобто

$$V = \frac{E}{q}. \quad (3.14)$$

При необхідності контролювати випуск продукції за активною потужністю, що споживається, можна використати формулу

$$V = \frac{P \cdot \Delta t}{q} . \quad (3.15)$$

Підставимо у формулу (3.12) співвідношення (3.15), одержимо

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{i\phi} \cdot \Delta t}{q} : \frac{P_{i\text{пл}} \cdot \Delta t}{q} - 1 \right| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{i\phi}}{P_{i\text{пл}}} - 1 \right| , \quad (3.16)$$

де $P_{i\phi}$, $P_{i\text{пл}}$ - відповідно фактична та планова активна потужність, що споживається дробарною фабрикою.

Тобто для розрахунку показників ритмічності та аритмічності виробництва продукції дробильної фабрики замість показників фактичних та планових обсягів дробленої руди, можливо використовувати показники динаміки електроспоживання: електричну енергію або електричну потужність P .

На підприємствах, у відділах головного енергетика практично контролюється графік електричних навантажень. На рис. 3.6. наведено приклад добового графіку електричних навантажень, що визначає у часі динаміку та ритмічність електроспоживання.

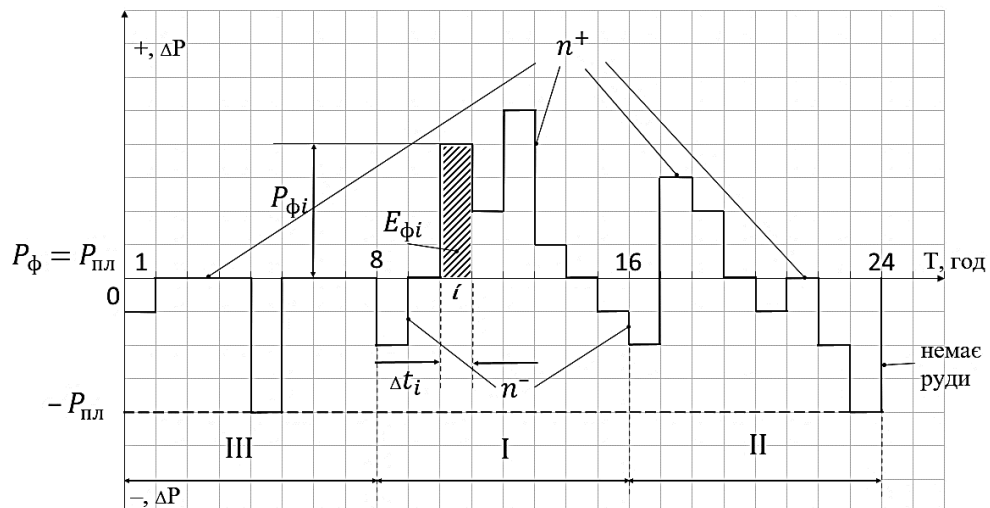


Рис. 3.6. Графік електричних навантажень дробильної фабрики:

ΔP - відхилення фактичного значення електричної потужності від планового або нормованого значення; T - час спостереження; i - номер інтервалу спостереження;

Δt_i - інтервал спостереження; I, II, III - номери робочих змін; $E_{\phi i}$ - фактичне значення електричної енергії, що споживається за 1 годину; $P_{\phi i}$ - фактичне значення електричної активної потужності, що споживається за 1 годину; $P_{i\text{пл}}$ -

нормоване або планове значення активної потужності; n^+ - кількість інтервалів, під час яких фактичне значення активної потужності перевищує або дорівнює плановим значенням; n^- - кількість інтервалів під час яких фактичне значення активної потужності менше планового, або нормованого значення

Основні формули для розрахунку:

$$P_{nl} = q \cdot V_{nl} ; P_{\phi} = q \cdot V_{\phi} ; \Delta P = P_{\phi} - P_{nl} , \quad (3.17)$$

де V_{nl} , V_{ϕ} - плановий та фактичний обсяги виробництва.

Враховуючи методику розрахунку показників аритмічності випуску продукції [42] з урахуванням формули (3.16), отримаємо число аритмічності споживання електроенергії за графіком електричних навантажень

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{\phi i}}{P_{nli}} - 1 \right| , \quad (3.18)$$

де n – кількість інтервалів.

Розкладемо загальне число аритмічності на дві частини, одна з яких визначає середнє позитивне відхилення активної потужності, що визначає ступінь перевиконання плану, а друга - визначає середнє негативне відхилення активної потужності, що визначає ступінь недовиконання плану.

Позитивне число аритмічності споживання електроенергії та виконання плану випуску продукції:

$$\eta_+ = \frac{1}{n_+} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{\phi i}^+}{P_{nli}^+} - 1 \right) , \quad (3.19)$$

де n_+ - число позитивних або нульових відхилень; $P_{\phi i}^+$ - фактичні значення активної потужності в інтервалах, коли планові завдання виконувались або перевиконувались; P_{nli}^+ - планові значення активної потужності у інтервалах, коли завдання або норми виконувались або перевиконувались.

Негативне число аритмічності електроспоживання та виконання плану випуску продукції:

$$\eta_- = \frac{1}{n_-} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{P_{\phi i}^-}{P_{nli}^-} \right), \quad (3.20)$$

де n_- - число негативних відхилень; $P_{\phi i}^-$ - фактичне значення активної потужності за інтервали часу, коли планові завдання не були виконані; P_{nli}^- - планові значення активної потужності за відрізки часу, коли планові завдання не виконувались.

Велике значення для характеристик ритмічності виконання плану має коефіцієнт аритмічності електроспоживання, що розраховується за формулою:

$$K_{ap} = \frac{n_+ \cdot n_+}{n_- \cdot n_-}, \quad (3.21)$$

За числовими значеннями коефіцієнта аритмічності можливо робити висновки, щодо виконання плану за період часу, що вивчається. Коли $K_{ap} = 0$, тоді план виконувався протягом всього періоду часу на 100%. При умові $0 < K_{ap} < 1$ план за період, що розглядається не виконано. Коли $1 < K_{ap} < \infty$, то план перевиконано.

Враховуючи зв'язок між обсягом виробленої продукції та активною потужністю, що була спожита під час виробництва ритмічність випуску продукції дробильної фабрики можливо оцінити за допомогою коефіцієнта варіації графіка електричних навантажень дробильної фабрики (рис. 3.6).

Коефіцієнт ритмічності:

$$K_p = 1 - K_v, \quad (3.22)$$

де K_v – коефіцієнт варіації коливань активної потужності.

$$K_p = \frac{\delta_p}{\bar{P}}, \quad (3.23)$$

де δ_p - середнє квадратичне відхилення коливань активної потужності; $\bar{P}$ - середнє арифметичне значення варіаційного ряду коливань активної потужності, що повинно дорівнювати плановому значенню $P_{пл}$.

$$\delta = \sqrt{D}, \quad (3.24)$$

де D - дисперсія коливань активної потужності:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{\phi i} - P_{nl})^2. \quad (3.25)$$

При рівномірному виробництві значення коефіцієнта варіації ближче до нуля, а коефіцієнт ритмічності наближається до одиниці. За спектральною щільністю активної потужності можливо оцінювати періоди постачання руди на дробильну фабрику гірничотранспортним комплексом. На рис. 3.7 наведені спектральні щільності активної потужності, що споживаються дробарною фабрикою влітку та зимовий період.

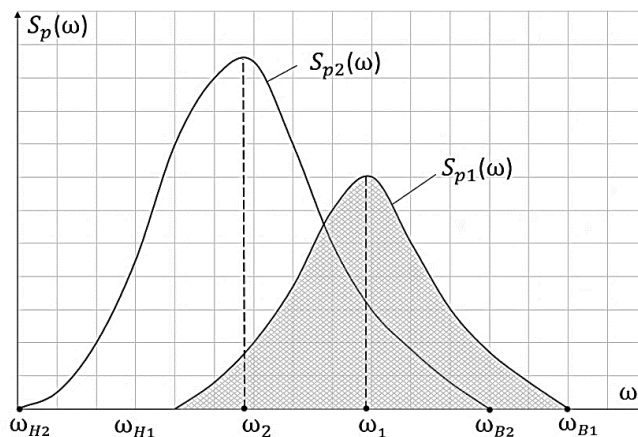


Рис. 3.7. Спектральні щільності активної потужності,
що споживаються дробильною фабрикою:

$S_{p1}(\omega)$ - спектральні щільності коливань активної потужності в літній період;

$S_{p2}(\omega)$ - спектральна щільність коливань активної потужності в зимовий період;

ω_n, ω_v - нижні та верхні частоти коливань активної потужності; ω_1, ω_2 - резонансні частоти в літній та зимовий періоди

Відомий зв'язок між частотами ω та періодами коливань T

$$\omega = 2\pi f, \quad f = \frac{\omega}{2\pi}; \quad T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Періоди постачання руди гірничотранспортним комплексом влітку $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$ та

взимку $T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2}$. Очевидно, що $T_1 < T_2$, тобто взимку період постачання руди більше

ніж влітку, а дисперсія коливань активної потужності взимку більше ніж влітку

$$D_{P1} = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_{H1}}^{\omega_{g1}} S_{P1}(\omega) d\omega , \quad (3.26)$$

де D_{P1} - дисперсія коливань активної потужності влітку;

$$D_{P2} = \frac{1}{2\pi} S_{P2}(\omega) d\omega , \quad (3.27)$$

де D_{P2} - дисперсія коливань активної потужності взимку.

$$D_{P2} > D_{P1} . \quad (3.28)$$

Можливо оцінити ритмічність роботи дробильної фабрики влітку та взимку.

Коефіцієнт ритмічності влітку

$$K_{P1} = 1 - \frac{\sqrt{D_1}}{P} . \quad (3.29)$$

Коефіцієнт ритмічності взимку:

$$K_{P2} = 1 - \frac{\sqrt{D_2}}{P} . \quad (3.30)$$

Зрозуміло, що $K_{P1} > K_{P2}$, тобто ритмічність роботи гірничотransпортного комплексу влітку краще ніж взимку. Значення коефіцієнтів ритмічності випуску продукції дробильної фабрики можливо розраховувати за будь-який період спостережень. Після виявлення порушень ритмічності треба зробити аналіз виробництва, знайти причину та впровадити заходи по покращенню ритмічності роботи гірничотransпортного комплексу.

Виконаємо експериментальне дослідження методу оцінки аритмічності роботи гірничотransпортного комплексу за динамікою електроспоживання дробильної фабрики.

В роботі використані експериментальні дані одержані групою проф. Марюти О. М. за журналами оперативно-диспетчерської служби та головного енергетика Інгулецького ГЗК. Ці дані наведені у табл. 3.1, додаток 1 та оброблені за новою методикою.

У табл. 3.1 наведені результати обстеження погодинної поставки руди з кар'єру на дробильну фабрику q , m , та погодинні витрати електричної енергії дробильної фабрики E , кВт·год.

За результатами табл. 3.1, додаток 1 побудовані графіки погодинного виробничого навантаження по руді $q(t)$, та графіки електричних навантажень дробильної фабрики.

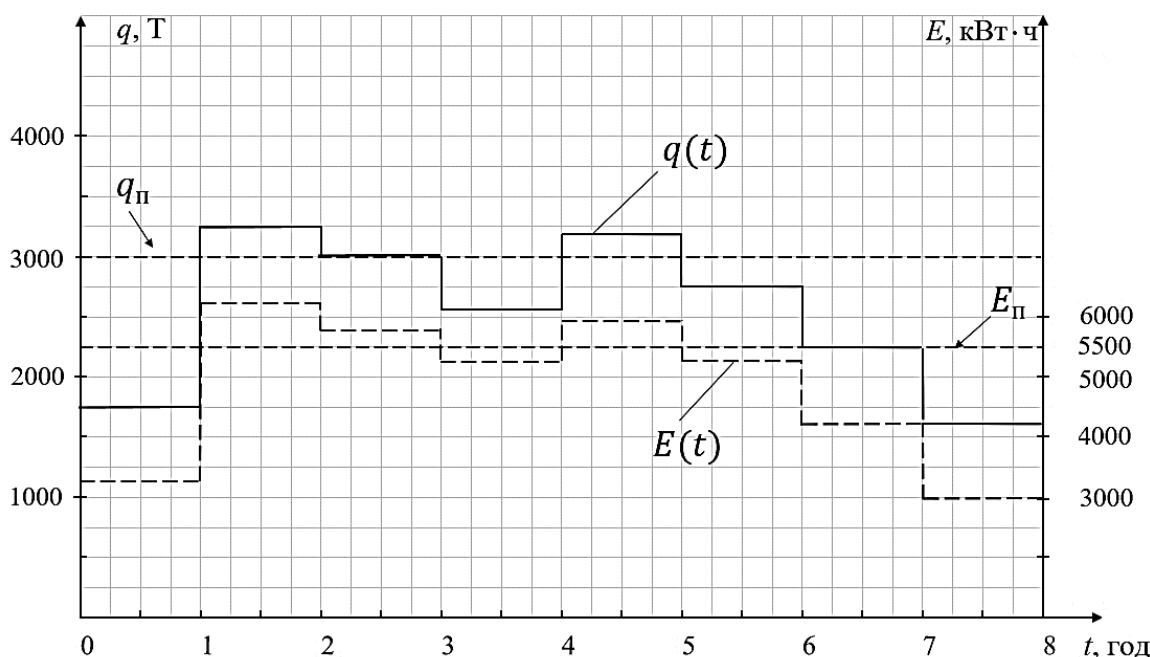


Рис. 3.8. Графіки погодинного постачання руди $q(t)$, гірничотранспортним комплексом та електроспоживання дробильної фабрики $E(t)$

По експериментальним даним табл. 3.1 за наведеною методикою виконано розрахунок ритмічності гірничотранспортного комплексу за показниками обсягу виробництва.

Позитивне число аритмічності:

$$\eta_{+} = \frac{0,083 + 0,013 + 0,067}{3} = 0,0543.$$

Негативне число аритмічності:

$$\eta_{-} = \frac{(-0,417) + (-0,143) + (-0,067) + (-0,287) + (-0,43)}{5} = -0,268.$$

Коефіцієнт аритмічності:

$$K_{AP} = \frac{0,0543 \cdot 3}{0,268 \cdot 5} = 0,122, \quad 0 < K_{AP} < 1.$$

Висновок: план не виконано.

Зробимо розрахунок показників ритмічності за показниками динаміки

електроспоживання.

Позитивне число аритмічності:

$$\eta_+ = \frac{0,098 + 0,009 + 0,082}{3} = 0,063.$$

Негативне число аритмічності:

$$\eta_- = \frac{(-0,411) + (-0,117) + (-0,063) + (-0,263) + (-0,459)}{5} = -0,263.$$

Коефіцієнт аритмічності:

$$K_{AP} = \left| \frac{0,063 \cdot 3}{-0,2631 \cdot 5} \right| = 0,143, \quad 0 < K_{AP} < 1.$$

Висновок: план не виконано.

Тобто результати розрахунків зроблених за показниками обсягів виробництва і за показниками динаміки електроспоживання співпадають.

Зробимо оцінку точності оцінки аритмічності роботи гірничотранспортного комплексу за динамікою електроспоживання дробильної фабрики. Для цього використаємо загальне число аритмічності, яке одержується додаванням усіх відхилень за абсолютною величиною та діленням одержаної суми на загальне число початкових даних:

Загальне число аритмічності розраховане за обсягами постачання руди:

$$\eta_q = \frac{0,287 + 0,43 + 0,417 + 0,083 + 0,013 + 0,143 + 0,067 + 0,067}{8} = 0,189.$$

Загальне число аритмічності розраховане за динамікою електроспоживання:

$$\eta_E = \frac{0,411 + 0,098 + 0,009 + 0,117 + 0,082 + 0,063 + 0,263 + 0,453}{8} = 0,186.$$

Точність оцінки коефіцієнта аритмічності за динамікою електроспоживання:

$$\Delta = \frac{\eta_q - \eta_E}{\eta_q} \cdot 100\%$$

$$\Delta = \frac{0,189 - 0,186}{0,189} \cdot 100\% = 1,59\% \text{ (отн. од.).}$$

Виконаємо експериментальні дослідження методи оцінки міждобової ритмічності виробництва за динамікою електроспоживання.

Результати подового моніторингу роботи дробильної фабрики наведені в табл. 3.4, додаток 1.

В табл. 3.4: q - обсяг виробництва дробильної фабрики за добу; E - добове електроспоживання дробильної фабрики. Графіки подових обсягів виробництва та електроспоживання наведені на рис. 3.9.

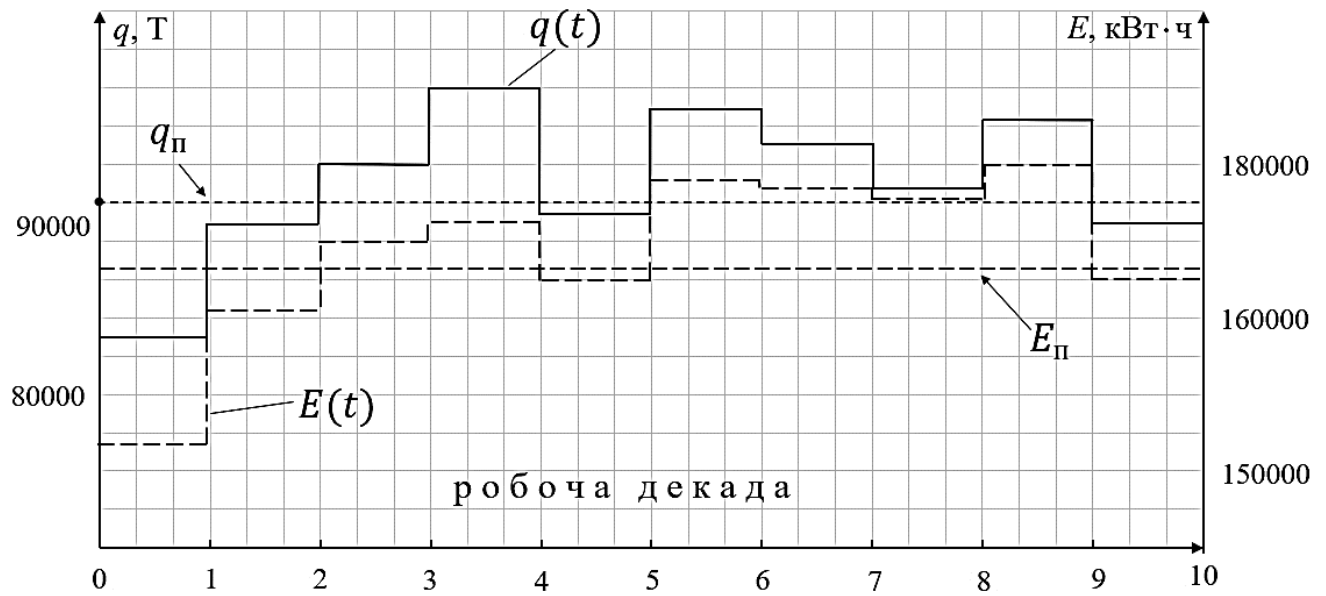


Рис. 3.9. Графіки добових обсягів виробництва і електроспоживання

Виконаємо розрахунок міждобової ритмічності роботи ГТК за показниками обсягу виробництва згідно із табл. 3.5, додаток 1.

Розрахунок коефіцієнта аритмічності за показниками обсягу виробництва

Позитивне число аритмічності:

$$\eta_{+} = \frac{0,027 + 0,007 + 0,06 + 0,041 + 0,001 + 0,045}{6} = 0,03.$$

Негативне число аритмічності:

$$\eta_{-} = \frac{(-0,08) + (-0,018) + (-0,008) + (-0,0012)}{4} = -0,0268.$$

Коефіцієнт аритмічності:

$$K_{AP} = \left| \frac{0,03 \cdot 6}{-0,0268 \cdot 4} \right| = 1,679, \quad 1 < K_{AP} < \infty.$$

Висновок: план перевиконано

Зробимо розрахунок міждобової ритмічності роботи ГТК за показниками добового електроспоживання, згідно із табл. 3.6, додаток 1.

Розрахунок коефіцієнта аритмічності за динамікою електроспоживання

Позитивне число аритмічності:

$$\eta_{+} = \frac{0,0264 + 0,007 + 0,06 + 0,04 + 0,0018 + 0,046}{6} = 0,0302.$$

Негативне число аритмічності:

$$\eta_{-} = \frac{(-0,081) + (-0,018) + (-0,0084) + (-0,001)}{4} = -0,0271.$$

Коефіцієнт аритмічності:

$$K_{AP} = \left| \frac{0,0302 \cdot 6}{-0,0271 \cdot 4} \right| = 1,671, \quad 1 < K_{AP} < \infty.$$

Висновок: план перевиконано.

Тобто результати розрахунків коефіцієнта аритмічності за показниками обсягу виробництва та динаміки електроспоживання співпадають.

Загальне число аритмічності, внутрішньодобове значення за обсягами виробництва:

$$\eta_q = \frac{0,08 + 0,018 + 0,027 + 0,007 + 0,008 + 0,06 + 0,041 + 0,001 + 0,045 + 0,0012}{10} = 0,0288$$

Загальне число аритмічності внутрішньодобове значення за динамікою електроспоживання:

$$\eta_E = \frac{0,081 + 0,018 + 0,0264 + 0,007 + 0,0084 + 0,06 + 0,04 + 0,0018 + 0,046 + 0,001}{10} = 0,02896$$

Точність оцінки коефіцієнта аритмічності за динамікою електроспоживання:

$$\Delta = \frac{\eta_q - \eta_E}{\eta_q} \cdot 100\% = \left| \frac{0,0288 - 0,02896}{0,0288} \right| \cdot 100\% = 0,5\%$$

3.3 Оперативна діагностика логістичних параметрів та ритмічності роботи кар'єрів гірничорудного підприємства за динамікою електроспоживання

Організація ритмічної роботи гірничорудного підприємства – це один з

можливих шляхів підвищення економічної ефективності виробництва. Для визначення можливостей покращення ритмічності виробництва і розробки заходів з удосконалення режимів роботи підприємства, необхідно виконати різносторонній аналіз ритмічності взаємозв'язаних ланок гірничорудного виробництва такими як гірничо-транспортний комплекс та дробильна фабрика. Це дозволить на основі оперативної інформації про хід виробництва встановити рівень його ритмічності, виявити обставини порушення ритмічності та їх усунути.

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

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

Виробничі підрозділи гірничо-збагачувального комбінату технологічно пов'язані між собою. Режим роботи попереднього підрозділу технологічного ланцюга впливає на режим роботи наступного підрозділу. На багатьох гірничо-збагачувальних комбінатах руда на дробильну фабрику постачається з декількох кар'єрів. Ритм роботи дробильної фабрики залежить від ритму роботи кар'єрів та гірничотransпортного комплексу у цілому. Руда з кар'єрів подається на дробильну 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 дробильну фабрику, яка подрібнює граніт до рівня гранітного щебеню, який є товарною продукцією і поставляється замовникам.

Розглянемо схему гірничорудного підприємства що наведена на рис. 3.10.

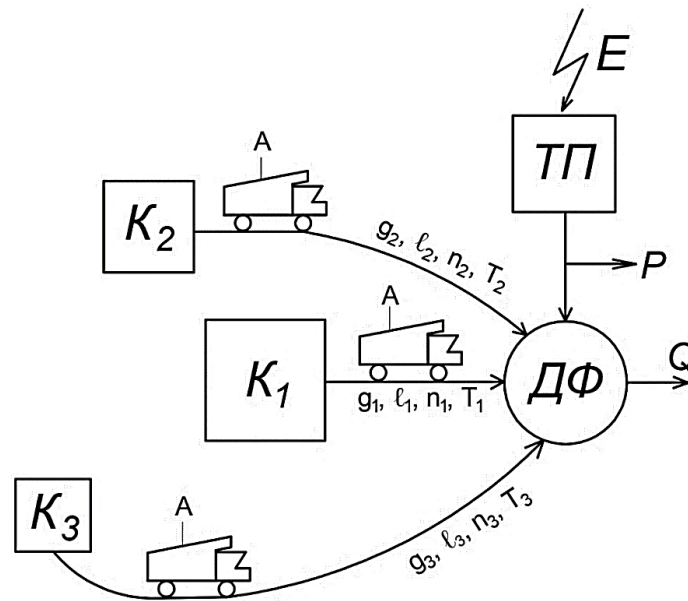


Рис. 3.10. Схема гірничорудного підприємства:

K_1, K_2, K_3 - кар'єри; $ДФ$ - дробильна фабрика; $ТП$ - електрична трансформаторна підстанція; A - автосамоскиди; E, P - відповідно електрична енергія та електрична потужність, що споживаються дробильною 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 дробильної 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 дробильну фабрику відповідно від першого, другого та третього кар'єрів

Розглянемо від чого залежить період подачі руди на дробильну фабрику автосамоскидами, використовуючи закономірності [5], отримані для залізничного транспорту.

Час циклу від кар'єру дробильної фабрики складає:

$$T_{ц} = 60 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{K_{ув} \cdot V_{pi}} + 60 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{K_{ув} \cdot V_{xi}} + Q_{ц}, \quad (3.31)$$

де l_i - довжина i -ї ділянки траси з постійними умовами руху, км.; $K_{ув}$ - коефіцієнт швидкості, що враховує періоди розгону та гальмування, зміни

швидкості при переході з однієї ділянки або елемента траси на другий; V_{pi} , V_{xi} - технічні швидкості автосамоскидів при робочому з рудою і холостому без руди ході на i -й ділянці траси; Q_u - 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 дробильну фабрику:

$$m = \frac{A \cdot T_u \cdot K_n}{60 \cdot q \cdot t_n}, \quad (3.32)$$

де A - плановий обсяг постачання руди з кар'єру, т/зміну; K_n - коефіцієнт нерівномірності відкатки; q - вантажопідйомність самоскиду; t_n - плановий оперативний час роботи кар'єру.

Зробимо припущення, що поставка руди з кар'єру до дробильної фабрики розподілені рівномірно у часі, тоді середній період подачі руди з кар'єру на дробильну фабрику буде:

$$T = \frac{t_{зміни}}{m}, \quad (3.33)$$

де $t_{зміни}$ - тривалість зміни.

Цей період подачі може бути розрахований для кожного кар'єру T_1 , T_2 , T_3 .

Цим періодам будуть відповідати резонансні частоти ω_1 , ω_2 , ω_3 спектральної щільності електричної активної потужності, що споживається дробильною фабрикою, враховуючи, що:

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}, \text{ де } i = 1, 2, 3 \quad (3.34)$$

Руда з кар'єрів подається з кар'єрів на дробильну фабрику. Періоди постачання руди на фабрику залежать від плану постачання вантажопідйомності автосамоскидів, довжини маршрутів від кар'єру до дробильної фабрики, технології розробки кар'єрів, організації гірничих робіт, режимів роботи внутрікар'єрного транспорту, кваліфікації та сумлінності робітників гірничо-транспортних комплексів. В результаті кожний кар'єр має свою особисту 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 дробильної фабрики пов'язана з обсягами руди, що подрібнюється співвідношенням:

$$P = Q \cdot q, \quad (3.35)$$

де Q - продуктивність дробильної фабрики, $\frac{m}{\text{год}}$; q - питомі витрати електричної

енергії на дроблення однієї тонни руди $\frac{KВт \cdot \text{год}}{m}$. Випадковий процес зміни

загальної електричної потужності, що споживається дробильною фабрикою, з точки зору енергетичного балансу може бути наданий сумою двох складових: умовносталою складовою та динамічною складовою, що характеризує динаміку електроспоживання. Спектральна щільність динамічної складової загальної активної потужності буде мати вигляд, наведений на рис. 3.11.

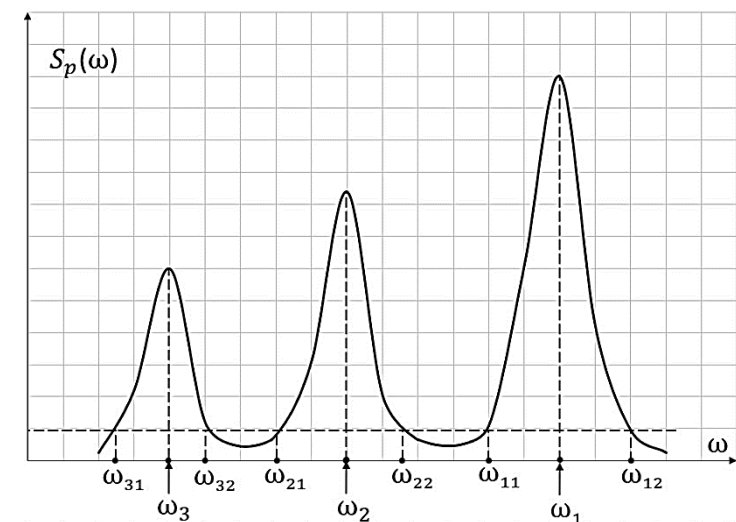


Рис. 3.11. Спектральна щільність динамічної складової загальної активної потужності $S_p(\omega)$:

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

Домінуючі періоди постачання руди з кар'єрів визначається за формулою

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} , \quad (3.36)$$

де $i = 1, 2, 3$ номери кар'єру.

Дисперсії коливань електричної активної потужності дробильної фабрики, що визначаються ритмічністю роботи кожного кар'єру будуть:

для першого кар'єру:

$$D_{P1} = \frac{1}{2\pi_i} \int_{\omega_{i1}}^{\omega_{i2}} S_P(\omega) d\omega , \quad (3.37)$$

для другого кар'єру:

$$D_{P2} = \frac{1}{2\pi_i} \int_{\omega_{21}}^{\omega_{22}} S_P(\omega) d\omega , \quad (3.38)$$

для третього кар'єру:

$$D_{P3} = \frac{1}{2\pi_i} \int_{\omega_{31}}^{\omega_{32}} S_P(\omega) d\omega . \quad (3.39)$$

Згідно із визначенням ритмічності необхідно аналізувати динамічний ряд виробництва руди кожним кар'єром за одиницю часу. Зв'язок між масою руди M , що вироблена за період часу T_c , питомими витратами електроенергії, електричною активною потужністю, що споживається дробильною фабрикою P , та періодом часу спостереження T буде згідно із формулою (3.35):

$$P = \frac{M}{T_c} \cdot q , \quad (3.40)$$

Звідки загальна маса руди що постачається кар'єрами:

$$M = \frac{PT_c}{q} , \quad (3.41)$$

де $M = M_1 + M_2 + M_3$, де M_1, M_2, M_3 - відповідно маси руди, що постачаються першим, другим та третім кар'єрами.

Величини P_i та M_i – є випадковими.

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

$$D_{M_i} = \frac{T_c^2}{q^2} D_{pi} , \quad (3.42)$$

Перевірка розмірностей формули (3.42):

$$[D_{M_i}] = [m^2] ; \left[\frac{T_c^2}{q^2} D_{pi} \right] = \frac{200 \partial^2}{\frac{KBm^2 \cdot 200 \partial^2}{m^2}} \cdot KBm^2 = [m^2], \quad (3.43)$$

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

Для оцінки ритмічності роботи кожного кар'єру використаємо формулу:

$$K_R = 1 - \frac{\delta}{x} , \quad (3.44)$$

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

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

У нашому випадку, згідно із формулою (3.42):

Внутрішньозмінна ритмічність роботи першого кар'єру:

$$K_{R1} = 1 - \frac{\sqrt{D_{M1}}}{M_{П1}} = 1 - \frac{T_c \delta_{P1}}{q M_{П1}} , \quad (3.45)$$

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:

$$K_{R2} = 1 - \frac{\sqrt{D_{M2}}}{M_{П2}} = 1 - \frac{T_c \delta_{P2}}{q M_{П2}} , \quad (3.46)$$

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:

$$K_{R3} = 1 - \frac{\sqrt{D_{M3}}}{M_{П3}} = 1 - \frac{T_c \delta_{P3}}{q M_{П3}} , \quad (3.47)$$

де $M_{П3}$ - план постачання руди за зміну з третього кар'єру, T_c ; δ_{P3} –

середньоквадратичне відхилення активної потужності P_3 .

Аналогічно можливо розраховувати середньодобову, середньотижневу, середньомісячну ритмічність роботи кар'єрів. Ритмічність роботи всього гірничотранспортного комплексу можливо визначити за аналізом спектральної щільності $S_p(\omega)$, рис. 3.11:

$$K_{ПГТК} = 1 - \frac{\sqrt{D_M}}{M_{П}}, \quad (3.48)$$

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

Згідно із виразом (3.37):

$$D_M = \frac{T^2}{q^2} D_p, \quad (3.49)$$

де D_p - дисперсія електричної активної потужності, що споживається корпусом крупношматкового дроблення дробильної фабрики.

Згідно з властивостями спектральної щільності, та рис. 3.11:

$$D_p = \frac{1}{2\pi_i} \int_{\omega_{31}}^{\omega_{32}} S_p(\omega) d\omega. \quad (3.50)$$

Управляти ритмічністю виробничої діяльності гірничотранспортного комплексу та гірничорудного підприємства можливо шляхом впровадження організаційних та економічних заходів, що викладені в роботі [26].

3.4 Економічна оцінка впливу синергетичного ефекту управління ритмічністю виробництва та динамікою електроспоживання на зниження собівартості продукції гірничорудного підприємства

Зниження витрат на електроенергію на гірничорудних підприємствах досягається шляхом управління динамікою електроспоживання. Впровадження заходів по впровадженню цього підходу дає економічний ефект за рахунок економії електроенергії, що знижує вартість електроенергії в структурі виробничої собівартості продукції гірничорудних підприємств. Також зниження виробничої собівартості продукції забезпечується за рахунок підвищення ритмічності

виробництва. Для цього існує комплекс організаційних, технічних та економічних заходів. Реалізація цих заходів дозволяє знизити собівартість продукції гірничорудних підприємств за рахунок підвищення обсягів виробництва, зниження витрат робочого часу, зниження витрат на пеню та штрафи. Проблема полягає в об'єднанні цих двох методів, що дає можливість отримати синергетичний економічний ефект. Ключовим у вирішенні цієї проблеми є одночасне управління динамікою електроспоживання та ритмічністю виробництва, що зв'язані між собою питомими витратами електроенергії на виробництво однієї тонни продукції. Тобто оперативна оцінка ритмічності виробництва можлива за параметрами динаміки електроспоживання. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити методику оцінки спільного синергетичного економічного ефекту.

Обґрунтуємо зв'язок між ритмічністю виробництва та витратами електроенергії. Питомі витрати електроенергії на виробництво однієї тони продукції:

$$q = \frac{E_i}{M_i}, \frac{KBm \cdot 200}{m}, \quad (3.51)$$

де E_i - кількість електроенергії, що витрачається за i -й відрізок часу t_i ; M_i - кількість продукції що вироблена за відрізок часу t_i .

Фактичний обсяг продукції за відрізок часу:

$$M_i = \frac{E_i}{q}. \quad (3.52)$$

Відомо, що електрична енергія, що споживається за i -й відрізок часу t_i :

$$E_i = P_i \cdot t_i, \quad (3.53)$$

де P_i - електрична активна потужність, що споживається за час t_i .

Ритмічність виробництва згідно із [49] можливо розрахувати за формулою:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{i=1}^n M_{\Pi i}} = \frac{\frac{1}{q} \sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n M_{\Pi i}}, \quad (3.54)$$

де $M_{\Pi i}$ - плановий обсяг продукції що повинен бути вироблений за відрізок часу t_i .

Аналіз виразу (3.54) показує, що ритмічність виробництва можливо оцінювати за динамікою електроспоживання електричної енергії, або активної потужності.

Динаміка енергоспоживання оцінюється за спектральною щільністю активної потужності, що споживається виробничим процесом. Наприклад спектральна щільність активної потужності, що споживається дробильною фабрикою гірничо-збагачувального комбінату наведена на рис. 3.12.

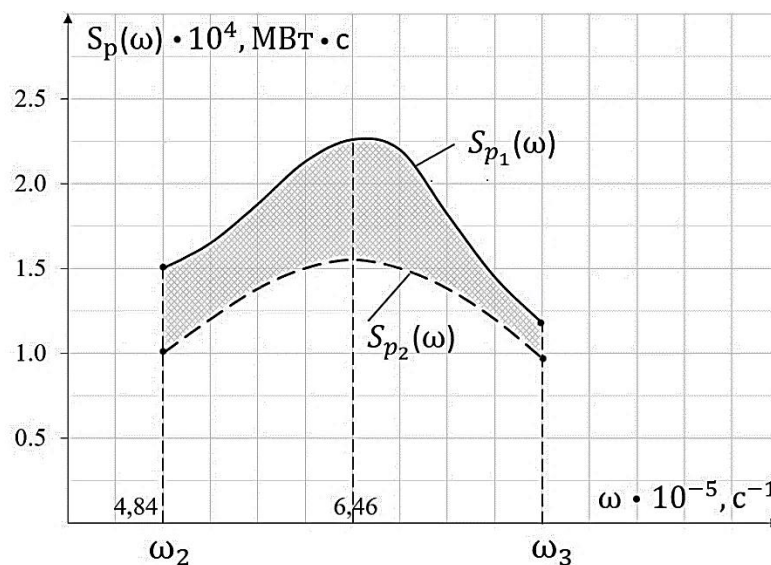


Рис. 3.12. Спектральна щільність активної потужності дробильної фабрики: $S_p(\omega)$ - спектральна щільність; ω - кутова частота; $\omega_3 - \omega_2$ діапазон робочих частот дробильної фабрики; $S_{p1}(\omega)$ - спектральна щільність до впровадження заходів з покращення динаміки електроспоживання; $S_{p2}(\omega)$ - спектральна щільність після впровадження заходів з покращення динаміки електроспоживання

Економічний ефект від впровадження заходів з покращення динаміки електроспоживання буде за період часу T

$$C = KT \left(\frac{1}{2\pi} \int_{\omega_2}^{\omega_3} S_{p1}(\omega) d\omega - \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_2}^{\omega_3} S_{p2}(\omega) d\omega \right), \quad (3.55)$$

де K - тарифний коефіцієнт вартості 1 МВт електроенергії, враховуючи її доставку та розподіл, T - період спостережень, або звітності.

Згідно із сутністю спектральної щільності активної потужності, яка показує

розподіл потужностей складових гармонік сигналу, вираз у круглих дужках показує зменшення коливань активної потужності, що споживається дробарною фабрикою. Це відповідає зменшенню коливань обсягів продукції, що виробляється дробарною фабрикою, та підвищенню ритмічності виробництва.

Таким чином зробимо висновок, що впровадження заходів з покращення динаміки електроспоживання одночасно дає синергетичний економічний ефект за рахунок зниження витрат на електроенергію та за рахунок підвищення ритмічності виробництва.

Заходи з поліпшення динаміки електроспоживання гірничорудних підприємств наведені вище. Схема отримання синергетичного економічного ефекту наведена на рис. 3.13.

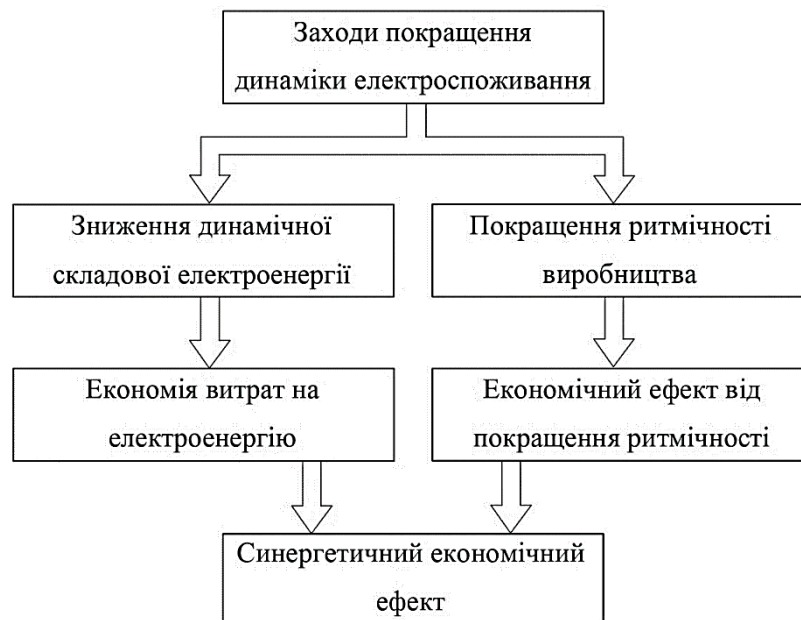


Рис. 3.13. Схема отримання синергетичного економічного ефекту

Розглянемо більш детальніше складові синергетичного економічного ефекту. Удосконалимо методику розрахунку економічного ефекту від покращення ритмічності виробництва, наведену в [42] шляхом введення в формули складових, що визначаються зниженням вартості електроенергії за рахунок поліпшення динаміки електроспоживання.

Синергетичний економічний ефект виникає за рахунок одночасного впливу заходів з поліпшення динаміки електроспоживання на складові зниження

собівартості продукції у зв'язку із поліпшенням ритмічності виробництва.

Дослідженнями, наведеними в [42] встановлено, що неритмічна робота підприємства знижує обсяг продукції у зв'язку із недовикористанням потужностей виробничого обладнання, зростання простоїв.

Синергетичний ефект зниження собівартості продукції за рахунок покращення ритмічності та динаміки електроспоживання підприємства

$$\Delta C = \Delta C_0 + \Delta C_1 + \Delta C_2 + \Delta C_3, \quad (3.56)$$

де ΔC_0 - зниження собівартості продукції за рахунок зниження витрат на електроенергію; ΔC_1 - зниження собівартості за рахунок підвищення обсягів виробництва; ΔC_2 - зниження собівартості за рахунок зменшення витрат робочого часу; ΔC_3 - зниження собівартості за рахунок зменшення пені та штрафів.

Додатковий прибуток за рахунок покращення динаміки електроспоживання та ритмічності виробництва:

$$\Delta \Pi = V''[C - (C - \Delta C)] - V'(C - C), \quad (3.57)$$

де V' та V'' - обсяги випуску продукції відповідно до та після покращення динаміки електроспоживання та ритмічності виробництва; C - ціна продукції виробництва; C - собівартість виробництва однієї тони продукції до покращення динаміки електроспоживання та ритмічності виробництва; ΔC - зниження собівартості продукції.

Висновки

Встановлено взаємозв'язок між ритмічністю виробничих процесів гірничорудних підприємств та ритмічністю їх електроспоживання, що дало можливість оцінювати ритмічність виробничих процесів за динамікою електроспоживання.

Ритмічність електроспоживання гірничорудних підприємств визначається логістичними параметрами постачання сировини, таким як обсяги та періоди постачання, а також графіками електричних навантажень підприємства.

Вартість динамічної складової електроенергії, що споживається гірничорудним підприємством, прямо пропорційна коефіцієнту варіації динамічного ряду активної потужності, що споживається цим підприємством.

Оцінку ритмічності випуску продукції дробильної фабрики можливо розраховувати за показниками динаміки електроспоживання процесом дроблення корисних копалин.

Оцінка виконання плану випуску продукції дробильної фабрики розраховується з використанням позитивних та негативних чисел аритмічності електроспоживання на основі аналізу електричних навантажень підприємства.

Оцінка показників ритмічності виробництва за показниками динаміки електроспоживання підвищує оперативність визначення негативних факторів, що впливають на процес виконання планових завдань та підвищує оперативність їх усунення.

Оцінка ритмічності виробництва за спектральною щільністю активної потужності, що споживається дробарною фабрикою дає можливість оцінити часові параметри постачання сировини гірничотранспортним комплексом, а саме - період та діапазон частот постачання.

Діагностику ритмічності роботи кожного із кар'єрів, що працюють в одному гірничо-транспортному комплексі гірничорудного підприємства можливо виконати по дисперсії коливань електричної активної потужності, що споживається дробарною фабрикою в діапазоні робочих частот, характерних для кожного кар'єру.

Впровадження заходів по покращенню динаміки електроспоживання гірничорудного підприємства забезпечує одержання синергетичного економічного ефекту від економії витрат на електроенергію та покращення ритмічності виробництва.

РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКОНОМІЧНОГО СТИМУЛЮВАННЯ ПЕРСОНАЛУ ТА НОРМУВАННЯ ВИТРАТ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

4.1 Формування фонду економічного стимулювання динаміки енергоспоживання виробничими підрозділами підприємства

Розглянемо схему електропостачання підприємства, що має у своєму складі три основні цехи, що наведені на рис. 4.1.

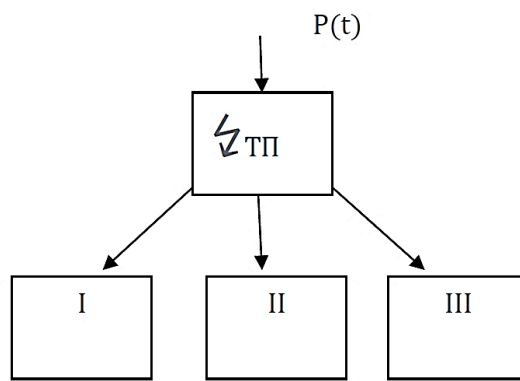


Рис. 4.1. Схема електропостачання підприємства:

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 $P(t)$.

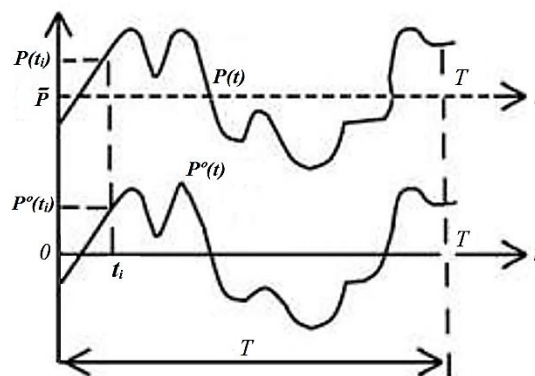


Рис. 4.2. Графік випадкового процесу зміни у часі активної потужності $P(t)$:

$\bar{P}$ - 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

$$P^0(t_i) = P(t) - \bar{P} . \quad (4.1)$$

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

$$P(t) = \bar{P} + P^0(t) , \quad (4.2)$$

або в енергетичному вигляді:

$$E = \bar{E} + Eg , \quad (4.3)$$

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

З теорії випадкових стаціонарних процесів [14] відомо співвідношення:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^\infty S_0(\omega) d\omega = D_{p^0} , \quad (4.4)$$

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

З теорії випадкових процесів [14] відомо, що спектральна щільність потужності або густина потужності визначає розподіл потужності сигналу за частотами. Потужність, яка розподілена в одиночному інтервалі частоти має розмірність енергії, тобто в системі СИ Вт/с-1=Вт*С. 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 $S_0(\omega)$:

$$P_0 = \int_{\omega_0}^{\omega_1} S_0(\omega) d\omega , \quad (4.5)$$

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

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

$$E_g = T \int_{\omega_0}^{\omega_1} S_0(\omega) d\omega . \quad (4.6)$$

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 рис. 4.3.

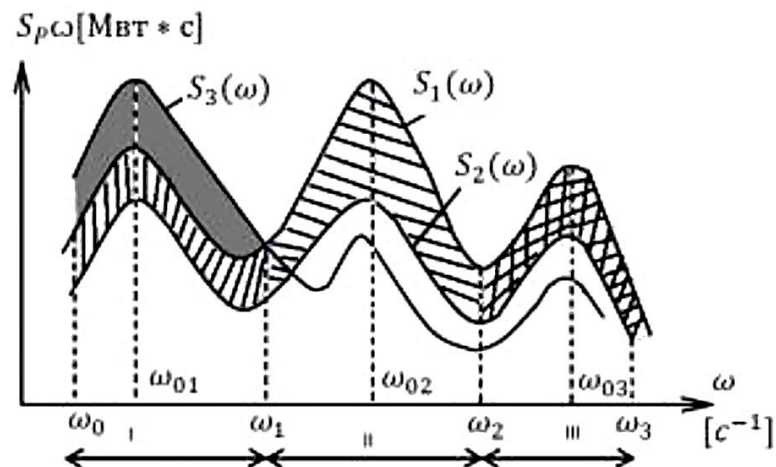


Рис. 4.3. Спектральні щільності активної потужності до і після впровадження заходів з енергозбереження:

$S_1(\omega)$ - 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 включають в себе покращення ритмічності

роботи підприємства та його цехів, покращення логістики 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 впровадженню цих заходів

$$C_{\Pi} = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_0}^{\omega_3} S_1(\omega) d\omega - \int_{\omega_0}^{\omega_3} S_2(\omega) d\omega \right), \quad (4.7)$$

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

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

На рис. 4.4 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:

$$C_1 = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_0}^{\omega_1} S_1(\omega) d\omega - \int_{\omega_0}^{\omega_1} S_2(\omega) d\omega \right), \quad (4.8)$$

Внесок другого цеху:

$$C_2 = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_1}^{\omega_2} S_1(\omega) d\omega - \int_{\omega_1}^{\omega_2} S_2(\omega) d\omega \right), \quad (4.9)$$

Внесок третього цеху:

$$C_3 = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_2}^{\omega_3} S_1(\omega) d\omega - \int_{\omega_2}^{\omega_3} S_2(\omega) d\omega \right), \quad (4.10)$$

$$C_{\Pi} = C_1 + C_2 + C_3, \quad (4.11)$$

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

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

Ситуація неефективного виконання заходів наведена на рис. 4.4 спектральною щільністю $S_3(\omega)$. Аналіз цієї спектральної щільності показує, що цех I недостатньо ефективно впровадив засоби з енергозбереження, що привело до збитків, що розраховуються по формулі

$$S = K_1 K_2 T \left(\int_{\omega_0}^{\omega_1} S_3(\omega) d\omega - \int_{\omega_2}^{\omega_1} S_1(\omega) d\omega \right). \quad (4.12)$$

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.

Зробимо висновки:

- спектральний аналіз активної потужності, що споживається підприємством, дозволяє оцінити економію електроенергії та економічну ефективність заходів з енергозбереження 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.

4.2 Удосконалення системи матеріального заохочення працівників гірничорудних підприємств з урахуванням рівня динаміки енергоспоживання

У відомих літературних джерелах відсутні пропозиції щодо матеріального стимулювання працівників за економію динамічної складової електричної енергії, що споживається підприємством.

Удосконалимо механізм матеріального заохочення працівників гірничорудних підприємств з урахуванням рівня динаміки енергоспоживання з метою енергозбереження.

Удосконалення системи матеріального заохочення працівників з урахуванням динаміки енергоспоживання буде виконуватись з урахуванням особливостей організації та ведення технологічних процесів для окремих підрозділів гірничо-збагачувального комбінату: кар'єру та гірничотранспортного комплексу, дробильної та збагачувальної фабрики, а також виконання планових показників. Система повинна враховувати конкретний внесок в енергозбереження кожного підрозділу, а також показники енергоефективності. Вона повинна бути вбудована в існуючу систему матеріального заохочення, наприклад для підрозділів, що входять до складу гірничодобувного дивізіону групи «Метінвест». Конкретний вклад кожного підрозділу в поліпшення динаміки енергоспоживання визначається шляхом спектрального аналізу активної потужності, що споживається підприємством. Спектральна щільність активної потужності та її аналіз наведено на рис. 4.4.

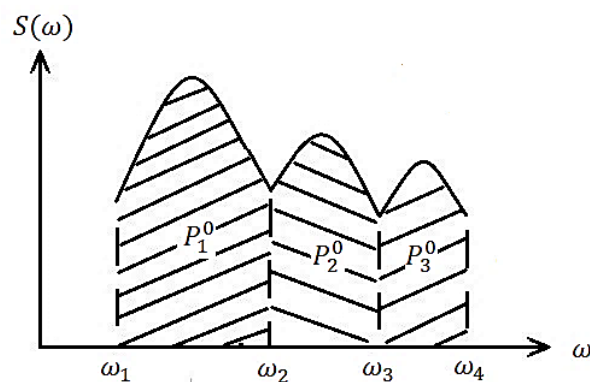


Рис. 4.4 Спектральна щільність динамічної складової потужності, що споживається гірничо-збагачувальним комбінатом:

$S(\omega)$ - спектральна щільність активної потужності;

ω - частота;

$(\omega_2 - \omega_1)$ - діапазон частот роботи гірничотранспортного комплексу;

$(\omega_3 - \omega_2)$ - діапазон частот роботи дробильної фабрики;

$(\omega_4 - \omega_3)$ - діапазон частот роботи збагачувальної фабрики;

P_1^0, P_2^0, P_3^0 - динамічні складові активної потужності, що визначаються динамікою роботи відповідно гірничотранспортного комплексу, дробильної та збагачувальної фабрик. Рівень динаміки енергоспоживання кожним підрозділом визначається числовими значеннями дисперсії коливань P_1^0, P_2^0, P_3^0 .

Згідно із теорією випадкових процесів:

$$P_1^0 = T \int_{\omega_1}^{\omega_2} S(\omega) d\omega, \quad (4.13)$$

$$P_2^0 = T \int_{\omega_2}^{\omega_3} S(\omega) d\omega, \quad (4.14)$$

$$P_3^0 = T \int_{\omega_3}^{\omega_4} S(\omega) d\omega, \quad (4.15)$$

Динамічна складова електричної енергії, що визначається динамікою роботи гірничотранспортного комплексу:

$$E_1^0 = T \int_{\omega_1}^{\omega_2} S(\omega) d\omega, \quad (4.16)$$

де T - термін спостереження, або звітності, наприклад місяць.

Динамічна складова електричної енергії, що визначається динамікою роботи дробильної фабрики

$$E_2^0 = T \int_{\omega_2}^{\omega_3} S(\omega) d\omega. \quad (4.17)$$

Динамічна складова електричної енергії, що визначається динамікою роботи збагачувальної фабрики

$$E_3^0 = T \int_{\omega_3}^{\omega_4} S(\omega) d\omega. \quad (4.18)$$

Динамічна складова електричної енергії, що споживається гірничо-збагачувальним комбінатом

$$E^0 = E_1^0 + E_2^0 + E_3^0. \quad (4.19)$$

Розробимо систему матеріального стимулювання працівників за урахуванням рівня динаміки енергоспоживання на основі системи матеріального стимулювання працівників підприємств, що входять до складу гірничодобувного дивізіону групи «Метінвест».

Алгоритм роботи запропонованої системи пояснюються за допомогою рис. 4.5.

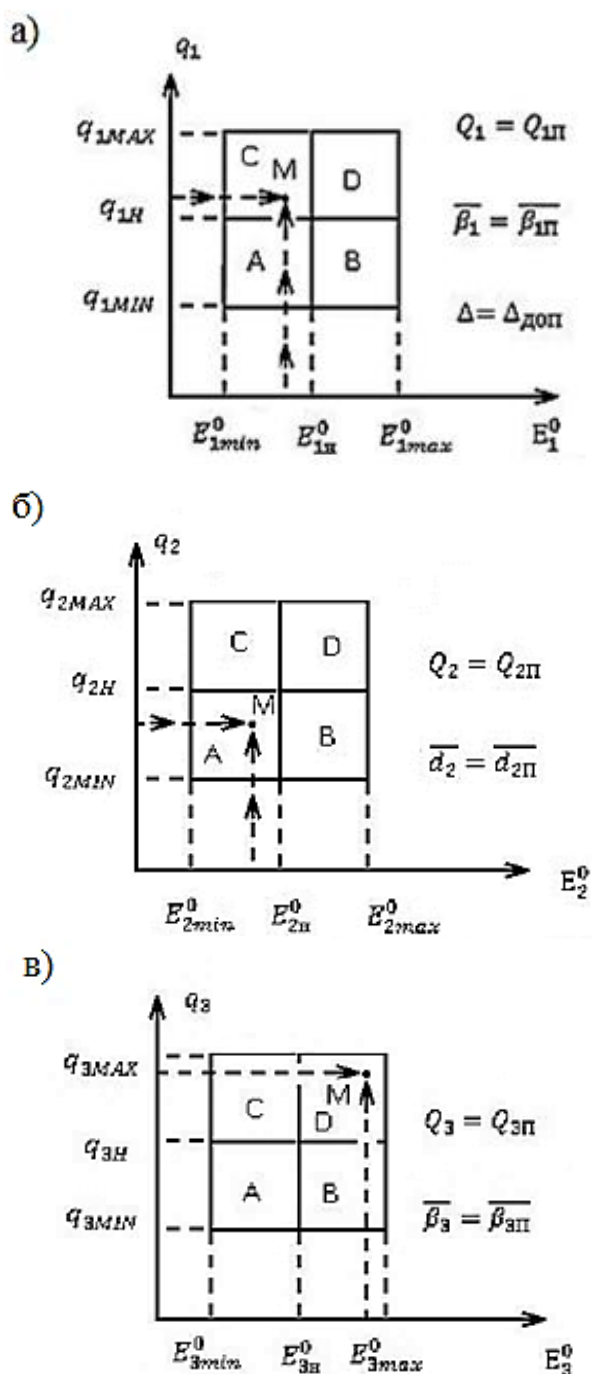


Рис. 4.5. Графічна інтерпретація правил роботи системи матеріального заохочення працівників:

а) для працівників гірничотранспортного комплексу;

б) для працівників дробильної фабрики;

в) для працівників збагачувальної фабрики.

q_1 - питомі витрати на електроенергію у гірничотранспортному комплексі;

E_1^0 - динамічна складова електричної енергії, що визначається динамікою роботи гірничотранспортного комплексу;

$Q_{1П}$ - плановий обсяг постачання руди на дробильну фабрику;

$\bar{\beta}_1$ - плановий показник якості руди (масова частка заліза в руді);

$\Delta_{доп}$ - допустимі питомі витрати дизельного палива на тонну руди;

q_2 - питомі витрати електроенергії на дроблення тонни руди;

E_2^0 - динамічна складова електричної енергії, що визначається динамікою роботи дробильної фабрики;

$Q_{2П}$ - плановий обсяг дробленої руди, що постачається на збагачувальну фабрику;

$d_{2П}$ - планова середня крупність руди;

q_3 - питомі витрати електроенергії на збагачення тонни руди;

E_3^0 - динамічна складова електричної енергії, що визначається динамікою роботи збагачувальної фабрики;

$Q_{3П}$ - плановий випуск залізорудного концентрату;

$\beta_{3П}$ - плановий вміст заліза в концентраті;

$E_{ін}^0$, $E_{ін\min}^0$, $E_{ін\max}^0$, де $i=1,2,3$ - відповідно номінальні, мінімальні та максимальні допустимі значення динамічної складової електричної енергії;

$q_{і\min}$, $q_{і\max}$, де $i=1,2,3$ - відповідно номінальні, мінімальні та максимально допустимі значення питомих витрат на електроенергію

За звітній період, наприклад місяць, квартал, рік визначаються середні, арифметичні значення динамічної складової електричної енергії та питомих витрат електроенергії. Пара цих значень відповідає точці M на рис. 4.5.

Результати роботи працівників по виконанню завдань з енергоефективності та динаміки енергоспоживання для працівників кожного підрозділу визначається належністю точки M до множин або зон А, В, С, D. В залежності від цього визначається розмір доплат до базової ставки. В положенні підприємства про матеріальне стимулювання працівників показник виконання планових завдань за обсягом та якістю товарної продукції запропоновано поділити на складові:

- виконання планових показників - 20% до базової ставки для робітників та 10% до базової ставки керівників та спеціалістів;
- виконання показників за рівнем енергоефективності та динаміки енергоспоживання:
 - низький рівень коливань енергоспоживання при планових питомих витратах електроенергії (зона А) - 10% до базової ставки робітників та 5% до базової ставки керівників та спеціалістів;
 - середній рівень коливань електроспоживання при планових питомих витратах електроенергії (зона В) - 5% до базової ставки для робітників та 3% до базової ставки для керівників та спеціалістів;
 - максимально допустимий рівень питомих витрат на електроенергію та низький рівень коливання електроспоживання (зона С) - 2% до базової ставки робітників та 1% до базової ставки для керівників та спеціалістів;
 - високий допустимий рівень питомих витрат на електроенергію та високий рівень коливання електроспоживання (зона D) - 0% для усіх категорій робітників.

Алгоритм матеріального заохочення можна виразити за допомогою теорії множин:

$$\left. \begin{array}{ll} M_i \in A, & \text{доплата } 5\% - 10\% \\ M_i \in B, & \text{доплата } 3\% - 5\% \\ M_i \in C, & \text{доплата } 1\% - 2\% \\ M_i \in D, & \text{доплата } 0\% \end{array} \right\}. \quad (4.20)$$

Номінальні питомі витрати електроенергії $q_{\text{ін}}$ визначаються за технологічними картами. Визначення меж допустимих значень виконується за

результатами статистичної обробки результатів спостереження. Враховуючи, що енергетичні та технологічні параметри розподілені за нормальними законами, то можливо використати правило трьох сігм:

$$q_{i\max} = q_{ni} + 3\sigma_i$$

$$q_{i\min} = q_{ni} - 3\sigma_i$$

де σ_i - середньо-квадратичне відхилення i -го параметра, де $i = 1, 2, 3$.

Аналогічно експериментально визначаються межі допустимих значень $E_{i\max}^0$ та $E_{i\min}^0$ динамічних складових електричної енергії, що визначаються роботою підрозділів гірничорудного підприємства.

Розглянемо удосконалення системи матеріального заохочення оперативно-диспетчерського персоналу збагачувальної фабрики з урахуванням рівня динаміки електроспоживання.

Рудозбагачувальна фабрика складається з низки паралельно працюючих технологічних ліній збагачення. Розглянемо засади управління завантаженням рудою бункерів рудозбагачувальної фабрики в режимі енергосбереження, з використанням методів матеріального стимулювання оперативно-диспетчерського персоналу.

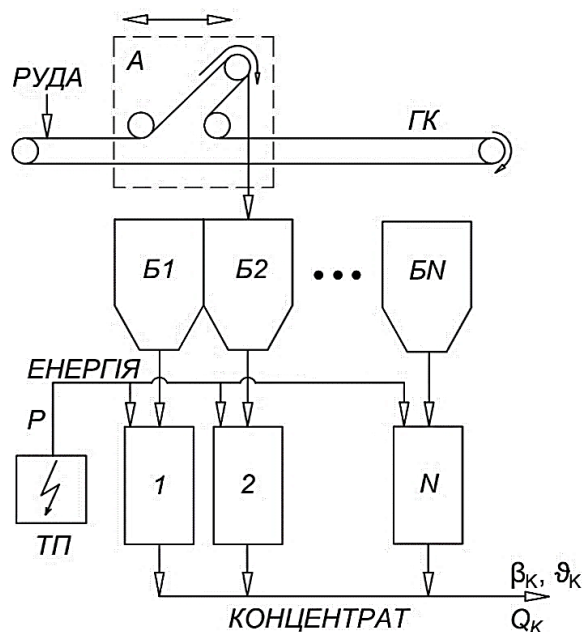


Рис. 4.6. Схема рудозбагачувальної фабрики:

A - автостелла; $ГК$ - головний конвеєр; $Б1...БN$ - бункера з рудою; $1, 2 \dots N$ -

технологічні лінії збагачення; $ТП$ - трансформаторна електропідстанція; P - електрична активна потужність; β_k - масова частка заліза в концентраті; Q_k - продуктивність фабрики за концентратом; ϑ_k - втрати заліза у відходах

Автостелла A завантажує рудою бункери рудозбагачувальної фабрики з періодом завантаження T . Для витримування заданого періоду T , моніторингу, контролю та управління процесом завантаження треба розробити методи матеріального стимулювання оперативно-диспетчерського персоналу за підтримку оптимального режиму завантаження бункерів з метою економії електроенергії. Розглянемо спектральні щільності динамічної складовою активної потужності, що споживається рудозбагачувальною фабрикою для різних режимів роботи.

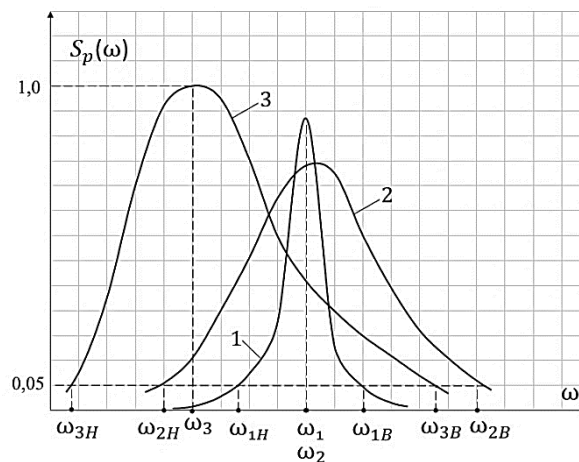


Рис. 4.7. Спектральні щільності $S_p(\omega)$ динамічної складової активної потужності, що споживається рудозбагачувальною фабрикою:

1 - спектральна щільність $S_{p1}(\omega)$, що відповідає відмінному режиму роботи системи завантаження бункерів збагачувальної фабрики; 2 - базова спектральна щільність $S_{p2}(\omega)$, що відповідає запланованому режиму роботи оперативно-диспетчерського персоналу по виконанню алгоритму завантаження бункерів; спектральна щільність $S_{p3}(\omega)$, що відповідає незадовільному режиму роботи оперативно-диспетчерського персоналу по виконанню планового режиму завантаження бункерів; ω_1 , ω_2 - резонансні частоти, що відповідають заданому або плановому періоду завантаження бункерів; ω_{in} , ω_{ie} - відповідно нижні та верхні межі суттєвих частот спектральних щільностей, де $i = 1, 2, 3$

Відомо, що кутова частота $\omega = 2\pi f$ де f - частота коливань; $f = \frac{1}{T}$, де T - період коливань.

Резонансні частоти ω_1, ω_2 , відповідають плановому періоду завантаження бункерів

$$\omega_1 = \omega_2 = \frac{2\pi}{T_{\Pi}} . \quad (4.21)$$

Динамічна складова електричної енергії що споживається збагачувальною фабрикою при відмінному виконанні оперативним персоналом режиму завантаження бункерів

$$E_1 = \frac{T_c}{2\pi} \int_{\omega_{1н}}^{\omega_{1г}} S_{p1}(\omega) d\omega , \quad (4.22)$$

де T_c - час спостереження, або звітності (змінна, доба, місяць).

Динамічна складова електричної енергії, що споживається збагачувальною фабрикою при плановому режимі завантаження бункерів

$$E_2 = \frac{T_c}{2\pi} \int_{\omega_{2н}}^{\omega_{2г}} S_{p2}(\omega) d\omega . \quad (4.23)$$

Динамічна складова електричної енергії, що споживається збагачувальною фабрикою при незадовільному режимі завантаження бункерів

$$E_3 = \frac{T_c}{2\pi} \int_{\omega_{3н}}^{\omega_{3г}} S_{p3}(\omega) d\omega . \quad (4.24)$$

Зрозуміло, що $E_1 < E_2 < E_3$.

Розробимо систему матеріального стимулювання оперативно-диспетчерського персоналу збагачувальної фабрики за економію електроенергії при завантаженні бункерів рудою. В системі необхідно враховувати результати економії динамічної складової електроенергії та напруженість роботи оперативно-диспетчерського персоналу, що визначається середньою кількістю працюючих секцій $\bar{N}$ впродовж розрахункового, або звітного періоду, наприклад місяць. Кількість працюючих секцій змінюється у зв'язку із планом виробництва концентрату, відмовами обладнання, відсутністю електроенергії та інше.

Середня кількість працюючих технологічних ліній за звітний період T (місяць)

$$\bar{N} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K N_i, \quad (4.25)$$

де K - кількість робочих змін за звітний період (місяць); N_i - кількість працюючих технологічних ліній під час i - зміни.

Нарахування премії за економію динамічної складової електроенергії, що споживається збагачувальною фабрикою здійснюється за алгоритмом, схема якого наведена на рис. 4.8.

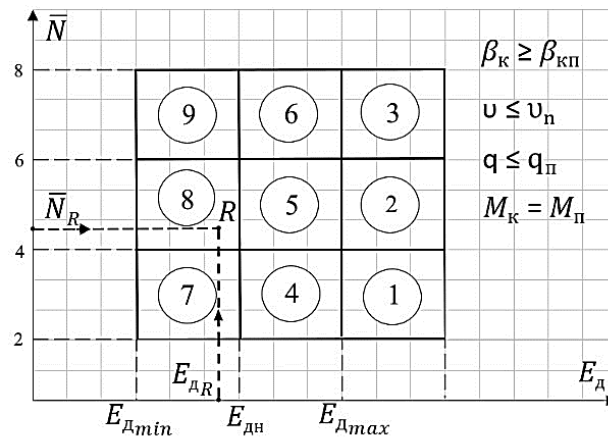


Рис. 4.8. Схема визначення премії за економію динамічної складової електроенергії, що споживається збагачувальною фабрикою:

$\beta_{кп}$ - планове значення масової частки заліза в концентраті; $v_{п}$ - планове значення витрат заліза у відходах; $q_{п}$ - планове, або нормативне значення питомих витрат електроенергії; $M_{к}$ - плановий обсяг виробництва концентрату; $E_{д min}$, $E_{д н}$, $E_{д max}$ - відповідно мінімально, номінально та максимально допустимі витрати динамічної складової електричної енергії

①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨ умовні зони результатів роботи оперативно-диспетчерського персоналу за звітний період, наприклад місяць.

При виконанні планових показників $\beta_{кп}$, $v_{п}$, $q_{п}$, $M_{п}$, наведених на рис. 4.8 оперативно-диспетчерському персоналу призначається премія у розмірі 15% до базової ставки.

Згідно із досягнутими результатами роботи по економії динамічної складової електричної енергії та напруженості роботи оперативно-диспетчерському персоналу збагачувальної фабрики додатково призначається премія у розмірі:

$$П = \frac{B \cdot 15\%}{100\%} \cdot N_3, \quad (4.26)$$

де N_3 - номер умовної зони результатів роботи; B - базова ставка.

В кінці місяця визначаються підсумки результатів роботи оперативно-диспетчерського персоналу у вигляді координат точки R , наприклад $R(E_{DR}; \overline{N_R})$ $R(E_{DR}; \overline{N_R})$, що відповідає зоні 8 дивіться рис. 2.29.

Відповідний розмір премії буде:

$$П = \frac{8 \cdot 15\%}{100\%} \cdot B = 1,25. \quad (4.27)$$

Тобто 20% додатково від базової ставки. Загальна премія оперативно-диспетчерському персоналу буде складати у цьому випадку 35% від базового окладу.

У випадку, коли фактичні витрати динамічної складової електроенергії $E_D > E_{D_{\max}}$ $E_D > E_{D_{\max}}$, то на працівників накладається штраф або їм взагалі не виплачується премія.

Наприклад в зоні 3 не виплачується премія за економію динамічної складової електричної енергії, а в зонах 1, 2 накладається штраф.

4.3 Удосконалення нормування витрат на електроенергію на гірничорудних підприємствах, з урахуванням динаміки електроспоживання

Нормування витрат електричної енергії це встановлення планової міри виробничого споживання. По кожному підприємству з урахуванням конкретних умов виробництва розробляються технологічні та загальновиробничі норми витрат електричної енергії.

Основою для розробки питомих норм витрат електроенергії на одиницю продукції є закони України, Постанови Кабінету міністрів, постанови державної інспекції по нагляду в електроенергетиці.

Використання технічно та економічно обґрунтованих норм витрат

електроенергії дозволяє найбільш ефективно використовувати електроенергію та забезпечити її економію.

В Україні створено національне агентство по енергозбереженню, яке щорічно затверджує ГЗК питомі норми витрат електричної енергії на одиницю продукції. У разі перевищення цієї норми на ГЗК накладається штраф на суму вартості перевитраченої електроенергії.

У гірничорудній промисловості діє комплекс нормативних документів з визначення норм енергоспоживання [3, 4]. Мета нормування витрат електричної енергії зазначена в підвищенні енергоефективності виробництва та енергозбереженні.

Основним методом розробки норм витрат електричної енергії по підприємству в цілому та технологічним процесам є розрахунково-статистичний метод, що базується на аналізі фактичних витрат електричної енергії, обсягу продукції та факторів, які впливають на витрати електроенергії.

Недоліками цих методів є неврахування динаміки енергоспоживання. Вони орієнтовані на умовно-стале споживання електроенергії у часі. Але технологічні процеси гірничотранспортного комплексу, дроблення та збагачення руди пов'язані з видобутком, транспортуванням, перевантаженням та переробкою мільйонів тонн руди зі змінними фізико-механічними властивостями. Технологічні процеси та відповідні процеси електроспоживання є випадковими коливальними процесами. Частина електричної енергії, що витрачається на статистичну динаміку технологічних процесів складає 30-40 відсотків, а іноді і більше від загальної кількості електроенергії, що споживається технологічним обладнанням.

З метою підвищення енергоефективності виробництва на ГЗК необхідно враховувати динаміку енергоспоживання при нормуванні витрат електричної енергії.

В роботі [37] підкреслюється, що одним із головних напрямів стратегії розвитку підприємств є нормування енергоспоживання, тому що воно сприяє ефективному енерговикористанню. Зроблено висновок, що існуючі методики нормування витрат електроенергії потрібно удосконалювати.

В результаті аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що в існуючих методах розрахунку норми споживання в гірничорудній промисловості не враховується динаміка електроспоживання.

Існуючі методики розрахунку норм витрат електроенергії базуються на детермінованих аналітичних методах та методах математичної статистики і враховують середні показники електроенергії, що споживається за певний період часу. Але технологічні процеси та процеси електроспоживання на ГЗК мають динамічний характер, тому існує невирішена проблема удосконалення методики нормування витрат електроенергії шляхом використання методів статистичної динаміки.

Метою наших досліджень є підвищення ефективності використання електричної енергії на гірничорудних підприємствах на основі удосконалення нормування витрат на електроенергію з урахуванням динаміки електроспоживання.

Розглянемо процеси динаміки енергоспоживання та зробимо оцінку динамічної складової електричної енергії для обґрунтування необхідності врахування цієї складової при нормування витрат електроенергії.

На рис. 4.9 наведено узагальнену схему електроспоживання виробничого підприємства з переробки сировини, що постачається залізничним транспортом. Це може бути насамперед дробильна фабрика, що працює з гірничотранспортним комплексом.

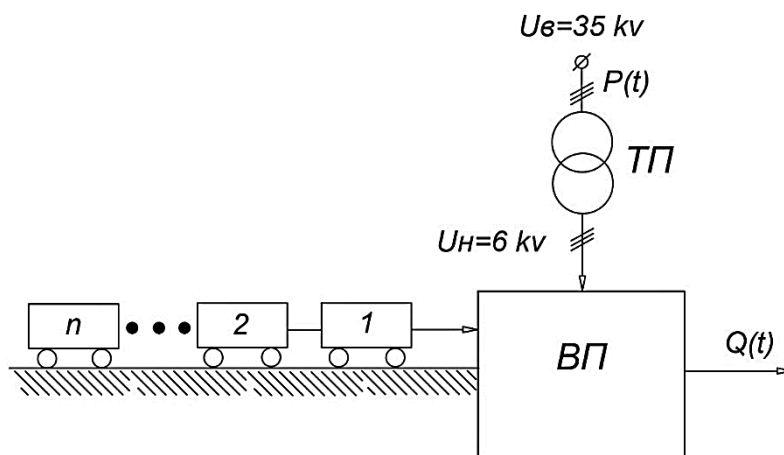


Рис. 4.9. Схема електроспоживання переробного підприємства:

ВП - виробниче підприємство; *ТП* - трансформаторна підстанція; U_v , U_n - висока

та низька напруга живлення; $1, 2, \dots n$ - номери транспортних ємностей, наприклад залізничних вагонів; $Q(t)$ - продуктивність виробничого підприємства; $P(t)$ - зміна у часі електричної активної потужності, що споживається підприємством

Розглянемо різні типи динаміки електроспоживання підприємствами. На рис. 4.10 наведено графіки електроспоживання підприємства у яких графік електроспоживання являє собою невинну, безрозривну функцію часу, або випадковий процес типу «нерегулярної качки».

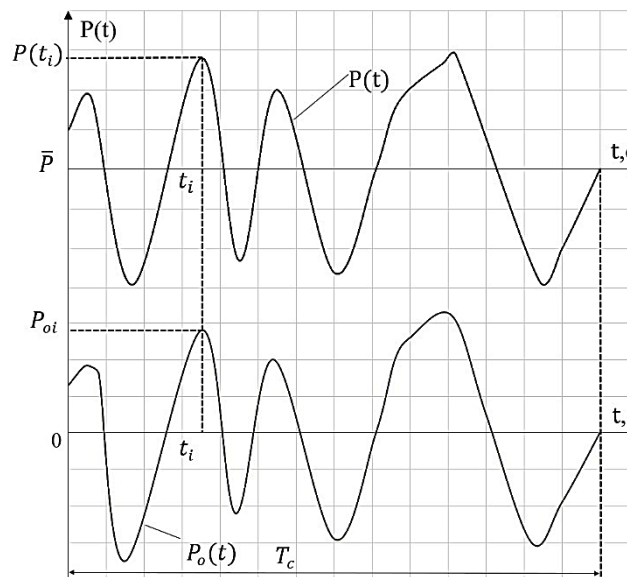


Рис. 4.10. Графік безперервного, безрозривного електроспоживання:

T_c - час спостереження; P_i - значення активної потужності в момент часу t_i ; $\bar{P}$ - середнє значення (математичне очікування) активної потужності $P(t)$ за час спостереження t_c ; P_{oi} - центроване значення активної потужності в момент часу t_i ; $P_0(t)$ - центрований стаціонарний випадковий процес з математичним очікуванням, що дорівнює нулю

$$P_0(t_i) = P(t_i) - \bar{P}. \quad (4.28)$$

Електрична потужність, що споживається підприємством має дві складові: умовно постійну $\bar{P}$ та динамічну $P_0(t)$.

Електрична енергія, що споживається підприємством E також складається з

двох частин: умовно постійна E_n та динамічна E_0 , що витрачається на динаміку електроспоживання.

Умовно постійна складова електричної енергії

$$E_n = \bar{P} \cdot T . \quad (4.29)$$

Динамічна складова електроенергії, що визначає динаміку електроспоживання

$$E_0 = T \cdot \int_{\omega_n}^{\omega_e} \overset{0}{S}(\omega) d\omega , \quad (4.30)$$

де $\overset{0}{S}(\omega)$ - спектральна щільність випадкового процесу $P_0(t)$; ω_n та ω_e - відповідно нижня та верхня суттєві частоти спектральної щільності.

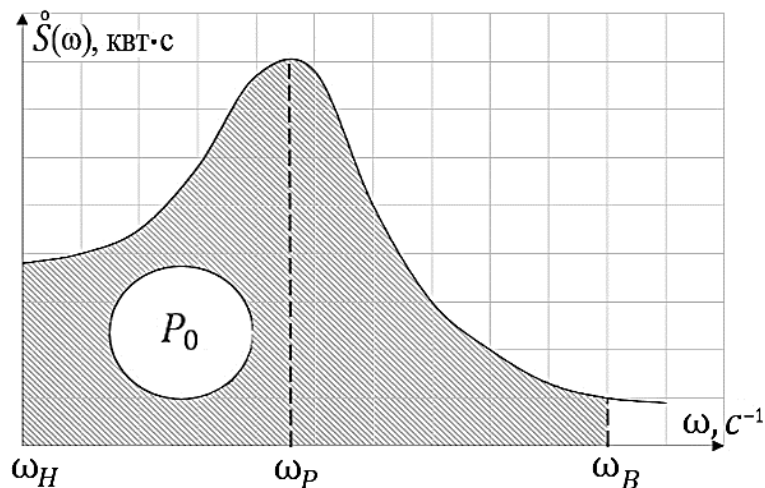


Рис. 4.11. Графік спектральної щільності центрованого випадкового процесу $P_0(t)$:

P_0 - активна потужність центрованого випадкового процесу $P_0(t)$

Згідно із теорією випадкових процесів

$$\overset{0}{S}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right\} , \quad (4.31)$$

де α та β - параметри автокореляційної функції $R(\tau)$ випадкового процесу $P_0(t)$. Автокореляційна функція визначається експериментально шляхом математичної обробки результатів спостереження за коливаннями активної потужності $P(t)$.

$$R(\tau) = e^{-\alpha(\tau)} \cos \rho \tau, \quad (4.32)$$

де τ - параметр зсуву автокореляційної функції.

Розглянемо графік електричних навантажень підприємства, що працює у три зміни, наприклад - вугільної або рудної шахти:

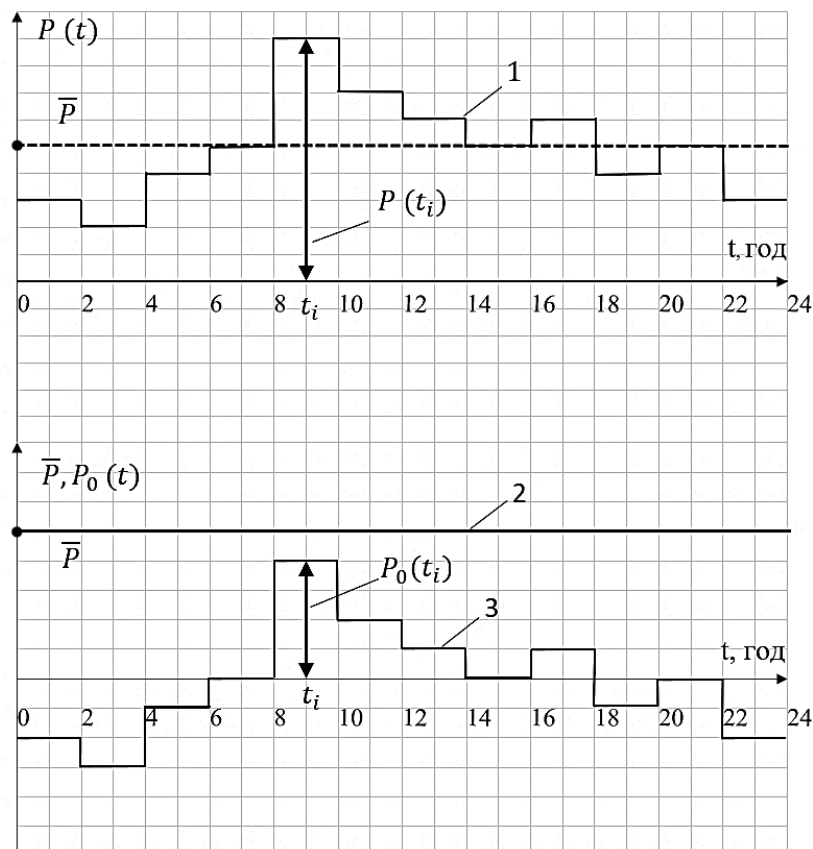


Рис. 4.12. Графік електричних навантажень підприємства:

1 - графік електричних навантажень; 2 - умовна стала складова електричних навантажень; 3 - центрована динамічна складова електричних навантажень

$$P_0(t) = P(t) - \bar{P}. \quad (4.33)$$

Спектральна щільність процесу коливань активної потужності згідно із [14] буде:

$$S^0(\omega) = \frac{D}{\pi \omega^2} (1 - \cos \omega). \quad (4.34)$$

Відповідно з (4.22) та (4.23) визначаємо:

$$E_n = \bar{P} \cdot T_c, \quad (4.35)$$

де $T_c = 24$ години.

$$E_0 = T \cdot \int_{\omega_H}^{\omega_B} S(\omega) d\omega . \quad (4.36)$$

Повні витрати електроенергії за добу:

$$E = E_{\pi} + E_0 . \quad (4.37)$$

Необхідність враховувати при нормування витрат на електроенергію, динаміку енергоспоживання, особливо проявляється на прикладі переробних підприємств з дискретним у часі постачанням сировини транспортними засобами, а саме залізничним або автомобільним транспортом. Розглянемо наприклад дробильну фабрику, що працює разом з гірничотранспортним комплексом. Ця схема розповсюджена на гірничорудних підприємствах та у промисловості будівельних матеріалів. Діограма роботи щоклової дробарки, що працює на дробарній фабриці і задає режим електроспоживання має вигляд наведений на рис. 4.13.

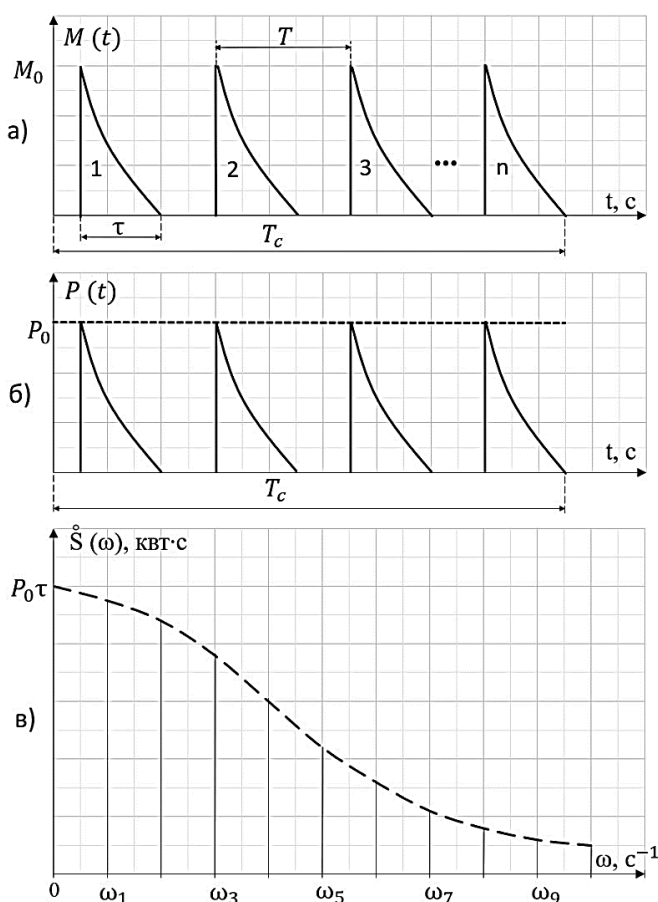


Рис. 4.13. Діаграма електроспоживання щоклової дробарки:

На рис. 4.13а наведено графік постачання сировини на дробильну фабрику:

$M(t)$ - діаграма розвантаження сировини; M_0 - маса сировини в залізничному вагоні або самоскиді; T - період розвантаження сировини; τ - час переробки сировини; T_c - час спостереження; $1, 2, \dots, n$ - номери вагонів або самоскидів

На рис. 4.13б наведено графік зміни активної потужності, що споживається дробаркою враховуючи залежність активної потужності від маси сировини, що знаходиться в дробарці:

$$P = \frac{q \cdot M}{\tau}, \quad (4.38)$$

де q - питомі витрати електроенергії на дроблення одиниці маси сировини.

Спектральна щільність $S(\omega)$ процесу електроспоживання електричної потужності наведена на рис. 4.13в та являє собою решотчасту функцію

$$S(\omega) = \frac{P_0}{\sqrt{\frac{1}{\tau^2} + \omega_k^2}}, \quad (4.39)$$

де $k = 1, 2, \dots, m$ - номери суттєвих гармонік;

ω_k - частота k -ї гармоніки:

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{T}.$$

Відповідно до закону Релея енергія періодичного сигналу дорівнює сумі енергій гармонічних складових частотного спектра

$$E = E_0 + \sum_{k=1}^{10} E_k. \quad (4.40)$$

Умовно постійна складова електричної енергії при $\omega = 0$:

$$E_0 = P_0 \cdot \tau, \quad (4.41)$$

Динамічна складова електричної енергії

$$E_D = \sum_{k=1}^{10} E_k, \quad (4.42)$$

З графіка рис. 4.13в робимо висновок: $E_D \gg E_0$, тобто динамічна складова електроенергії, що споживається дробаркою значно більше умовно постійної складової.

Розглянемо процес переробки сировини підприємством з дискретним виробничим циклом, що моделюється періодичною послідовністю прямокутних імпульсів, наведених на рис. 4.14.

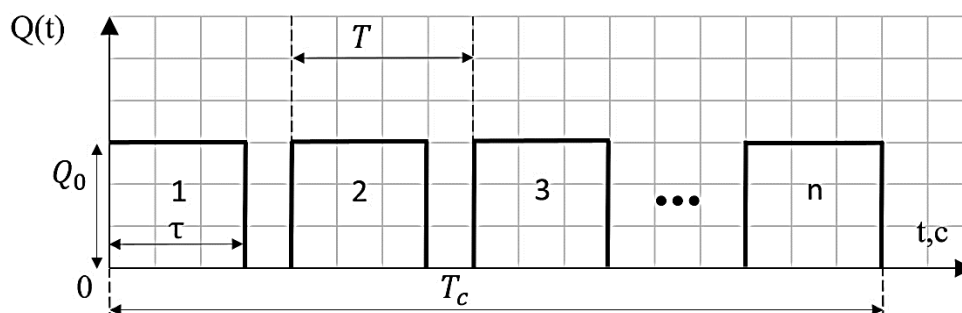


Рис. 4.14. Модель переробки сировини підприємством з дискретним виробничим циклом:

$Q(t)$ - процес зміни продуктивності підприємства; Q_0 – продуктивність підприємства в одиницю часу; τ - час переробки сировини; M - кількість переробленої сировини за час τ ; T - період виробничого циклу; T_c - час спостереження

Кількість переробленої сировини за один цикл

$$M = Q_0 \cdot \tau . \quad (4.43)$$

Питомі витрати електроенергії на одиницю маси продукції

$$q = \frac{E}{M} , \quad (4.44)$$

де E - витрати електричної енергії.

Активна потужність, що споживається підприємством

$$P(t) = Q_0(t)q , \quad (4.45)$$

Графік активної потужності, що споживається підприємством наведено на рис. 4.15.

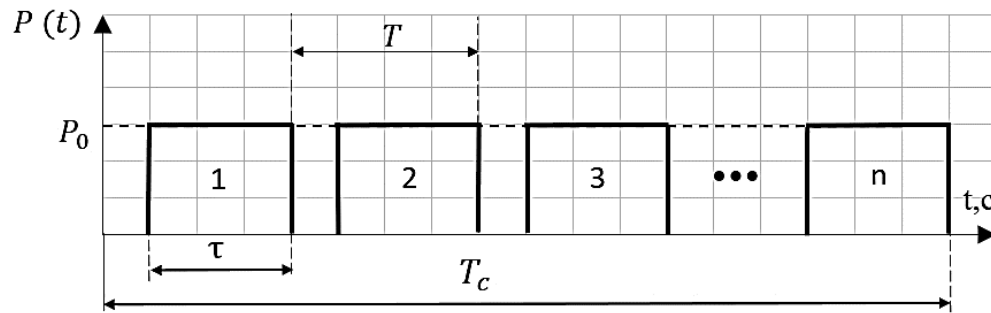


Рис. 4.15. Графік активної потужності, що споживається підприємством:

P_0 - активна потужність, що споживається під час одного виробничого циклу

Динаміка енергоспоживання може бути наведена нормованим енергетичним спектром активної потужності.

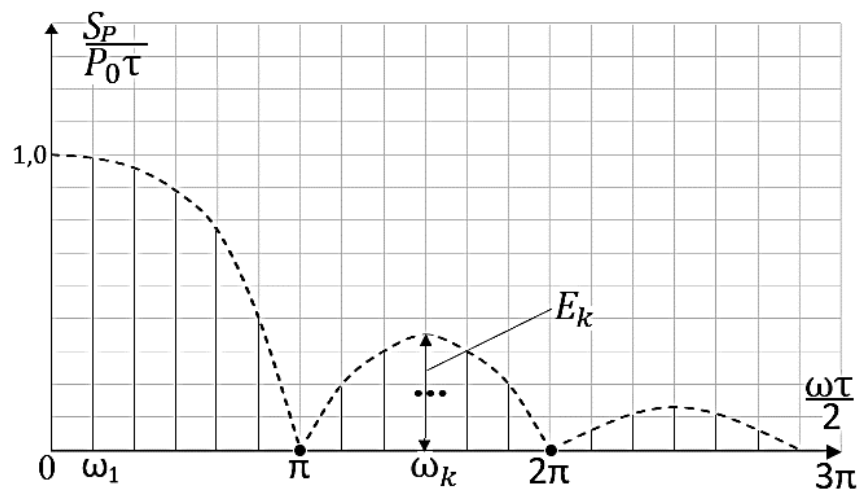


Рис. 4.16. Нормований енергетичний спектр активної потужності, що споживається підприємством:

E_k - енергія k -ої гармоніки; ω_k - частота k -ої гармоніки $\omega_k = \frac{2\pi k}{T}$, де $k = 1, 2, \dots$

Спектр позначений пунктиром процесу $P(t)$ згідно із [32] є спектром одиничного імпульсу:

$$S(\omega) = A\tau \frac{\left| \sin \frac{\omega\tau}{2} \right|}{\frac{\omega\tau}{2}}. \quad (4.47)$$

Надалі, приймаючи до уваги

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} = A\tau \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} = 1, \quad (4.48)$$

бачимо, що при нульовій частоті стала складова електричної енергії дорівнює площині прямокутного імпульсу:

$$E_{\Pi} = S_0(0) = P_0\tau. \quad (4.49)$$

Динамічна складова електричної енергії

$$E_{\mathcal{D}} = \sum_{k=1}^m E_k, \quad (4.50)$$

де m - кількість суттєвих гармонік.

З рис.4.13 видно, що $E_{\mathcal{D}} \gg E_{\Pi}$.

З розглянутого можливо зробити висновок, що динамічна складова електроенергії, що споживається підприємством є суттєвою, а іноді і домінуючою складовою. Тому вона підлягає нормуванню у складі загальних витрат на електроенергію.

У загальному випадку процес електроспоживання для підприємств з поточно-циклічною або поточно-дискретною технологією з точки зору теорії випадкових процесів [14] є дискретним випадковим процесом, де період імпульсів T , ширина імпульсу τ , амплітуда P - є випадковими величинами. У цьому випадку спектр активної потужності має дві складові - безперервну та дискретну, кожна з яких має свою енергію.

З теорії випадкових процесів [14] відомо співвідношення:

$$\frac{E_H}{E_{\mathcal{D}}} = \left[\frac{\delta_p}{M(p)} \right]^2, \quad (4.51)$$

де E_H - енергія безперервної частини спектру; $E_{\mathcal{D}}$ - енергія дискретної частини спектру; δ_p - середньоквадратичні відхилення активної потужності; $M(p)$ - математичне очікування активної потужності.

Для більшості технологічних процесів середньоквадратичне відхилення складає 15-20% від математичного очікування $M(p)$.

Зробимо оцінку співвідношення енергій E_H та E_D . Нехай $M(p) = 1$, тоді $\delta = 0,15$

$$\text{Тоді } \frac{E_H}{E_D} = \frac{0,15^2}{1} ; E_D = \frac{E_H}{0,15^2} = \frac{E_H}{0,0225} .$$

Звідки: $E_D \approx 44E_H$, тобто і в цьому випадку $E_D \gg E_H$.

Загальна кількість електроенергії, що споживається підприємством:

$$E \approx E_H + E_D, \quad (4.52)$$

До теперішнього часу на підприємствах нормується загальна кількість спожитої електроенергії E та питомі витрати q на одиницю продукції M

$$q = \frac{E}{M} . \quad (4.53)$$

Нормування умовно постійних витрат на електроенергію $E_{ПН}$ дає можливість оцінювати ефективність впровадження заходів першого напрямку та керувати реалізацію цих заходів. А нормування динамічної складової витрат на електроенергію $E_{ДН}$ дає можливість оцінювати ефективність та керувати впровадження заходів другого напрямку.

Це не виключає нормування загальних витрат електроенергії E_H , тому, що:

$$E_H = E_{ПН} + E_{ДН} , \quad (4.54)$$

Розглянемо сутність методу нормування витрат електроенергії.

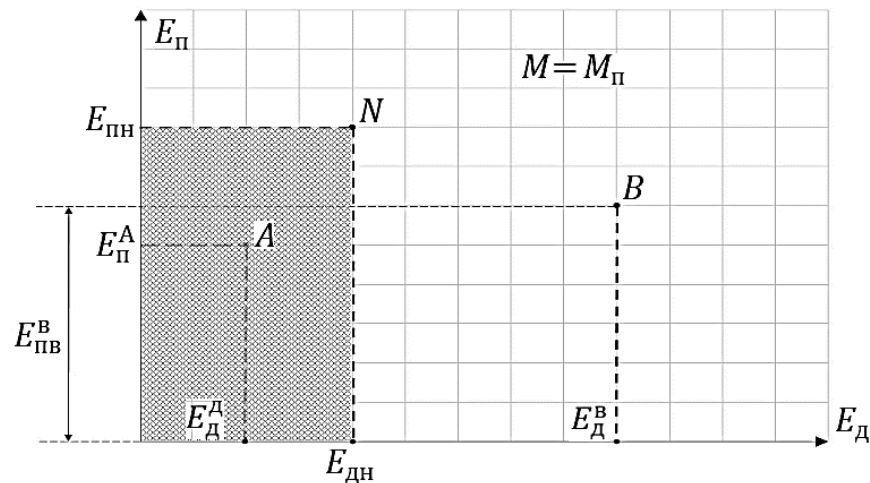


Рис. 4.17. Нормування витрат електроенергії:

$E_{П}$ - умовно постійна складова витрат електроенергії; $E_{Д}$ - динамічна складова витрат електроенергії; точка N відповідає нормативним значенням витрат електроенергії; $E_{ПН}$ - нормативне значення умовно постійної складової витрат

електроенергії; $E_{дн}$ - нормативне значення динамічної складової витрат електроенергії; точка А відповідає заштрихованій нормативній зоні витрат електроенергії; точка В відповідає режиму роботи з витратами електроенергії $E_d > E_{дн}$; M - обсяг виробленої продукції; $M_{пл}$ - плановий обсяг виробленої продукції

У цій методиці задаються норматив загальних витрат електроенергії, нормативні значення витрат електроенергії $E_{пл}$ та $E_{дн}$, а також планове значення обсягу виробленої продукції.

Умовою відповідності роботи підприємства нормативам витрат електроенергії є попадання робочої точки А в заштриховану область. Наприклад в точці А

$$E_H > E_{пл} + E_{дн} . \quad (4.55)$$

У цьому випадку підприємство отримує економічний ефект

$$\Delta^+ = k [E_H - (E_{пл} + E_{дн})] , \quad (4.56)$$

де k - тарифний коефіцієнт вартості 1МВт електроенергії

$$k = k_1 + k_2 + k_3 , \quad (4.57)$$

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.

Економічний ефект може бути направлений на розвиток або інші потреби підприємства та преміювання працівників за енергозбереження. У випадку зверхнормованого перевищення витрат електроенергії, що відповідає точці В на рис. 4.17

$$E_H < E_{пл} + E_{дн} , \quad (4.58)$$

У цьому випадку на підприємство накладається штраф, і воно несе збитки у сумі вартості перевищеного проти нормативу обсягу витраченої електроенергії

$$\Delta^- = k [(E_{пл} + E_{дн}) - E_H] . \quad (4.59)$$

Цей штраф у повному обсязі виплачується державі або власнику електричної мережі.

Розглянемо випадок нормування питомих витрат електроенергії згідно із рис.

4.18.

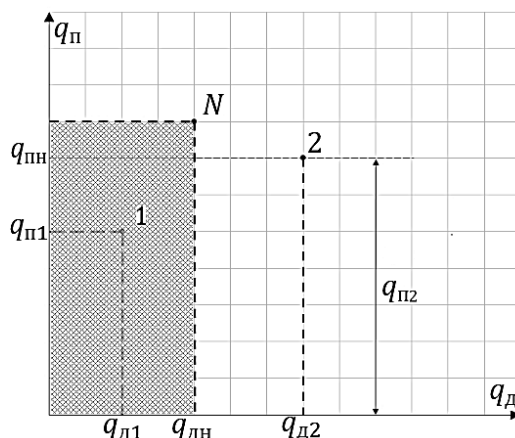


Рис. 4.18. Нормування питомих витрат на електроенергію:

$q_{\text{п}}$ - умовно-постійна складова питомих витрат електроенергії; $q_{\text{д}}$ - динамічна складова питомих витрат на електроенергію; $q_{\text{пн}}$ - нормовані значення умовно-постійної складової питомих витрат електроенергії; q - нормоване значення динамічної складової питомих витрат електроенергії; точка 1 відповідає нормативним питомим витратам електроенергії; точка 2 відповідає понаднормативним питомим витратам електроенергії

У цій методиці задаються нормативні значення питомих витрат електроенергії $q_{\text{н}}$, нормативні значення умовно-постійної складової питомих витрат електроенергії $q_{\text{пн}}$ і нормативні значення динамічної складової питомих витрат електроенергії $q_{\text{дн}}$.

Основні співвідношення: питомі витрати електроенергії q :

$$q = \frac{E}{M} = \frac{E_{\text{п}} + E_{\text{д}}}{M} = \frac{E_{\text{п}}}{M} + \frac{E_{\text{д}}}{M} = q_{\text{п}} + q_{\text{д}}, \quad (4.60)$$

де E - загальні витрати електроенергії; M - обсяг виробленої продукції.

$$E = (q_{\text{п}} + q_{\text{д}}) \cdot M. \quad (4.61)$$

Нормативне значення загальних витрат електроенергії

$$E_{\text{н}} = (q_{\text{пн}} + q_{\text{дн}}) \cdot M. \quad (4.62)$$

Нормативне значення питомих витрат електроенергії

$$q_{\text{н}} \leq q_{\text{пн}} + q_{\text{дн}}. \quad (4.63)$$

Розглянемо режим електроспоживання, що відповідає нормам питомих витрат електроенергії. Цей режим відповідає точці 1 на рис. 4.18.

Економія витрат на електроенергію у цьому випадку складає

$$\Delta^+ = k \left[E_H - (q_{П1} + q_{Д1}) \cdot M \right], \quad (4.64)$$

де k - тарифний коефіцієнт.

Ці гроші можуть бути направлені на розвиток підприємства та матеріальне заохочення працівників.

У точці 2 на рис. 4.16 режим електроспоживання підприємства не відповідає нормам витрат електроенергії. В результаті цього економічні втрати підприємства будуть

$$\Delta^- = k \left[(q_{П2} + q_{Д2}) \cdot M - E_H \right]. \quad (4.65)$$

У цьому випадку на підприємство накладається штраф у повному обсязі втрат. Штраф виплачується або державі, або компанії власнику електромережі.

Висновки

Удосконалено механізм матеріального стимулювання працівників гірничорудних підприємств що одночасно враховує виконання планових показників по обсягу і якості продукції, енергоефективності і енергозбереження з урахуванням рівня динаміки енергоспоживання та конкретного вкладу працівників кожного підрозділу в зниження витрат на динамічну складову електричної енергії, що споживається підприємством.

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.

Доведена необхідність враховувати при нормування витрат електроенергії не тільки загальні показники витрат, але й умовно-постійну та динамічну складову витрат електроенергії, що дозволяє оперативно оцінювати ефективність та керувати процесом впровадження заходів по енергозбереженню та енергоефективності.

Одержані аналітичні залежності умовно сталої та динамічної складових загальних та питомих витрат електроенергії на підприємствах дозволяє поділити індивідуальні та групові, загальні та питомі норми витрат електроенергії на три складові: норми загальних витрат, норми умовно-постійних витрат та норми витрат на динаміку електроспоживання, що дозволяє удосконалити методику нормування витрат на електроенергію на гірничорудних підприємствах.

ВИСНОВКИ ПО ДИСЕРТАЦІЇ

В дисертації вирішена наукова проблема зниження витрат на електроенергію у виробничій собівартості продукції гірничорудних підприємств на основі управління логістикою рудопостачання та удосконалення економічного стимулювання енергозбереження.

Мета дослідження досягнута повністю в результаті вирішення слідуючих поставлених задач:

- Виконана економічна оцінка управління динамікою електроспоживання та логістики рудопостачання з позицій задач енергозбереження.
- Розроблені методи управління ритмічністю виробництва на гірничорудних підприємствах за динамікою витрат електроенергії та виконана їх економічна оцінка.
- Удосконаленні методи економічного стимулювання персоналу гірничорудних підприємств та нормування витрат електроенергії з урахуванням динаміки електроспоживання.

В результаті виконання дисертаційного дослідження одержані слідуючи основні наукові та практичні результати.

Наукові результати:

1. Вперше запропоновано додатково вести моніторинг та облік вартості динамічної складової електроенергії на підприємстві в частотних діапазонах її коливань, характерних для виробничих циклів підрозділів підприємства, що на відміну від моніторингу та обліку загальних витрат електроенергії у часі дозволяє оцінювати витрати на динамічну складову електроенергії окремих виробничих підрозділів підприємства, удосконалити і персоніфікувати систему економічного стимулювання енергозбереження з урахуванням конкретного вкладу кожного виробничого підрозділу підприємства в покращення динаміки електроспоживання та знизити витрати на електроенергію у виробничій собівартості продукції.

2. Встановлено, що вартість динамічної складової електроенергії, що споживається за певний період часу, прямо пропорційна коефіцієнту варіації динамічного ряду електричної активної потужності, що споживається

підприємством за цей період та коефіцієнту аритмічності виробництва.

3. Вирішена задача оптимізації логістики рудопостачання руди гірничотранспортним комплексом на дробильну фабрику за критерієм мінімальних витрат на електроенергію на основі удосконалення однопродуктової моделі управління запасами, що відрізняється заміною коефіцієнта вартості зберігання однієї тони руди протягом одиниці часу на коефіцієнт вартості електроенергії, що витрачається на дроблення однієї тони руди протягом одиниці часу. Це дає можливість оптимізувати логістичні параметри постачання руди - період постачання, обсяг поставки, число поставок за зміну і знизити вартість електроенергії в собівартості зробленої руди.

4. Доведено, що коефіцієнт ритмічності виробництва продукції на енергоємних підприємствах, за певний відрізок часу прямо пропорційний фактичному споживанню електроенергії за цей відрізок часу та обернено пропорційний питомим витратами електроенергії та плановому випуску продукції, за цей період часу, що дозволяє вирішувати задачі економічної діагностики організації та планування випуску продукції за динамікою електроспоживання.

5. Вперше одержані аналітичні залежності сталої та динамічної складової витрат на електроенергію на гірничорудних підприємствах від логістичних параметрів постачання сировини: періоду та обсягів постачання, продуктивності та енергоефективності обладнання, що дозволило поділити індивідуальні та групові норми витрат електроенергії на три складові: норми загальних витрат, норми умовно постійних витрат, норми витрат на динаміку електроспоживання та удосконалити на цій основі нормування витрат на електроенергію на гірничорудному підприємстві.

6. Встановлено функціональний зв'язок між ритмічністю виробничих процесів та динамікою їх електроспоживання, що дало можливість оперативно оцінювати показники ритмічності виробничих процесів за динамікою електроспоживання. Встановлено, що ритмічність виробничого процесу розраховується за графіками електричних навантажень підприємства. Одержані нові формули для оперативного розрахунку показників ритмічності та виконання

виробничих планів за величинами активної потужності, що споживається підприємством.

Практичні результати.

1. Розроблені конкретні заходи по економії динамічної складової електроенергії, що споживається гірничотранспортним комплексом, дробарною та збагачувальною фабрикою.

2. Розроблена методика адресного формування фонду матеріального стимулювання виробничих підрозділів гірничорудного підприємства за виконання заходів по енергозбереженню на основі аналізу динаміки електроспоживання.

3. Удосконалена методика адресного економічного стимулювання персоналу гірничотранспортного комплексу, дробильної та збагачувальної фабрики за енергозбереження, що враховує конкретний вклад працівників кожного виробничого підрозділу з виконання планів енергоефективності та енергозбереження з урахуванням рівня динаміки електроспоживання, що дозволяє підвищити мотивацію персоналу в ефективному впровадженні розроблених заходів по енергозбереженню та знизити витрати електроенергії в собівартості продукції.

4. Розроблена методика визначення оптимальних логістичних параметрів рудопостачання гірничотранспортним комплексом на дробильну фабрику, а саме оптимальних партії та періоду постачання в умовах багатозонального тарифу на електроенергію, що дозволяє мінімізувати витрати на електроенергію та оперативно управляти логістикою рудопостачання руди з кар'єрів гірничорудного підприємства та знизити витрати на електроенергію в собівартості продукції.

5. Розроблена методика визначення ритмічності та виконання плану виробництва продукції дробильних фабрик шляхом аналізу внутрішньо змінних погодинних діаграм електричного навантаження, що дозволяє оперативно оцінити процес виконання плану і ритмічність виробництва в процесі виробництва до моменту відвантаження готової продукції.

6. Розроблені практичні рекомендації по удосконаленню методики нормування витрат на електроенергію з урахуванням динаміки електроспоживання

дозволяють розробляти більш обґрунтовані економічні та організаційні заходи по енергозбереженню та знизити витрати на електроенергію в структурі виробничої собівартості продукції гірничорудних підприємств.

7. Розроблена методика оперативної оцінки та управління ритмічністю виробничого процесу у часі за динамікою електроспоживання дозволяє отримати синергетичний економічний ефект зниження виробничої собівартості продукції за рахунок покращення ритмічності виробництва та за рахунок зниження витрат на динамічну складову електричної енергії.

Мета дисертаційного дослідження досягнута, всі поставлені задачі вирішені. Результати дослідження можуть бути використані на гірничорудних підприємствах України при розробці та реалізації програм енергозбереження та зниження витрат електроенергії в структурі виробничої собівартості продукції.

Напрямки подальших досліджень полягають у розповсюдженні наукових та практичних результатів дисертації на підприємства інших галузей промисловості та сільського господарства, що мають дискретно-поточний, або циклічний характер виробництва та відповідно динаміку електроспоживання.

Список використаних літературних джерел:

1. Конституція України. Відомості Верховної Ради України. - 1996. - №30.
2. Закон України «Про енергозбереження» // Відомості Верховної ради України. - 1994. - №30.- С. 894 - 904.
3. ДСТУ 4110:2002. Енергоощадливість. Методика аналізу та розрахування питомих витрат енергоресурсів. (Держспоживстандарт України). Київ, 2003. 35 с.
4. Методика нормування витрат електричної енергії на виробництво продукції підприємствами з відкритим засобом видобутку залізної руди та її переробку: Наказ Мінпромполітики від 02 березня 2006 р. №83. Київ, 2006. 42 с.
5. Братковська К. О Оцінка доцільності застосування прогресивних норм питомих енерговитрат / Ю. Г. Качан, К. О. Братковська // Енергетика: економіка, технології, екологія. - К.; Національний технічний університет України «КПІ», 2018 - №1. - с. 93-96.
6. Бабак В. П. Марченко Б. Г., Фриз М. Є. Теорія ймовірностей, випадкові процеси та математична статистика: підручник. Київ: Техніка, 2004. 288 с.
7. Бельтюков Є. А., Швагірева В. С. Ефективне енерговикористання - стратегія розвитку підприємства. Вісник соціально-економічних досліджень. 2013. Вип. 4 [51]. С. 23 - 27.
8. Белкіна І. А. Моделювання впливу обсягів партій поставок руди на собівартість- концентрату. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2012. № 3. С. 52 - 55.
9. Белкіна І. А, Лепа Р. М., Є. В. Кочура. Економіко-математичне моделювання впливу режимів рудоподачі на ефективність використання економічного потенціалу гірничо-збагачувального підприємства- монографія. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. 123 с.
10. Варава Л. Н., Добровольський В. В. Становлення енергоменеджменту на гірничо-збагачувальних комбінатах. Економічний вісник Національного гірничого університету. 2011. №3. С. 33 - 38.
11. Варава Л. Н. Стратегическое управление горнодобывающими

предприятиями: [Моногр.] Варава Л. Н. - Донецк: НАН України, Інститут економіки пром-сти, 2006. - 355 с.

12. Гаренко А. А., Кочура Є. В. Формування собівартості продукції дробильних фабрик в умовах багатозонного загального тарифу на електроенергію: монографія. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. 146 с.

13. Геєць В. М. (2016). Розвиток та взаємодія економічної та енергетичної політики в Україні. Вісник НАН України. (2), 46 - 54.

14. Гихман И. И., Скороход А. В. Введение в теорию случайных процессов. Киев: изд-во, 1976, 569 с.

15. Гордієнко О. С. (2012). Енергозбереження на транспортних підприємствах. Технологічний аудит та резерви виробництва. 2012. №5, с. 12 - 14.

16. Грядущий Б. А. Энергосбережение в угольной промышленности. Всеукраинский научно-технический журнал. Энергосбережение. 2011. №4. С. 14 - 21.

17. Доценко С. А., Жуков Ю. П., Еременко А. А., Чаплик Е. М. Экономия электроэнергии при управлении углесток в шахте. Уголь Украины. (2014). №7, с. 13 - 15.

18. Дремін А. А. Стратегия энергосбережения при добыче и переработке железных руд. Горный журнал. 2006. №12. С. 45 - 47.

19. Жовтянський В. А. Результативність і проблемні питання енергозбереження в Україні // Управління енерговикористанням. - К.: Альянс за збереження енергії. - 2001. - С. 35 - 46.

20. Іполітова І. Я., Сорокотяженко К. С. (2015). Формування організаційно-економічного механізму енергозбереження на підприємстві. Глобальні та національні проблеми економіки. (8), 406 – 411.

21. Исследование влияния колеблемости качественных параметров рудопотоков карьера на эффективность обогащения железных руд / В. А. Пивень и др. Metallургическая и горнорудная промышленность. 2007. №2 [241]. С 67 - 71.

22. Іщенко М. І. Економічна взаємодія підприємств гірничозбагачувального комплексу: [Монографія] / Іщенко М. І.; [за наук. ред. проф. В. І. Прокопенка.]. -

Д.: Видавничий дім «Андрій», 2007. - 288 с.

23. Кашубіна Ю. Б. (2011). Система показників оцінки ритмічної операційної діяльності підприємства. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. (5[70]), 147 - 150.

24. Кашубіна Ю. Б. Управління ритмічністю операційної діяльності гірничодобувного підприємства. Економіка: проблеми теорії та практики. 2010. Вип. 259. Т. V. С. 1315 -1321.

25. Кривошеєва А. О. Управління втратами залізорудної сировини як чинник підвищення економічної ефективності гірничо-збагачувального виробництва: дис. ... кандидата екон. Наук: 08.06.01 / Кривошеєва Анастасія Олександрівна. - Дніпропетровськ, 2002. - 166 с.

26. Качан Ю. Г., Шрам О. А. Оцінка маневрових можливостей електронавантажень промислових підприємств. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2022. Вип 2 (58). с. 17-23.

27. Кочура Д. В. Зниження витрат на електроенергію в процесах рудопідготовки на основі закономірностей формування енергетичних спектрів / Д. В. Кочура, О. Ю. Чуріканова // Економічний вісник Дніпровської політехніки. - 2022. - №4 (80). С. 123 - 129.

28. Кравець В. Г. Економіко-технологічні передумови формування програми енергозбереження на гірничорудних підприємствах / В. Г. Кравець, О. А. Темченко, Г. В. Темченко, Я. Тайєб-Тамаша // Вісник НТГУ «КП» Серія «Гірництво». - 2015. - Вип. 27. - с. 66 - 76.

29. Лір В. Е., Письменна У. С. (2010). Економічний механізм реалізації політики енергоефективності в Україні. Київ. 208.

30. Максимов С. В. Дослідження енергомісткості витрат гірничорудних підприємств / С. В. Максимов, Г. В. Темченко // Економічний вісник НГУ. - 2012 - №2. - с. 52 - 56.

31. Марюта О. М. Інформаційний системний аналіз виробничо-економічних об'єктів. Дніпропетровськ: ДДУ, 1995. 230 с.

32. Матвійчук Н. М. Фінансове стимулювання енергозбереження в Україні.

Науковий вісник НЛТУ України. (2015). №7, с. 94 - 100.

33. Михайлов А. М. Эффективность энергосбережения при циклично-поточной технологии на железорудных карьерах / А. М. Михайлов, А. Г. Темченко, А. А. Темченко // Горная электромеханика и автоматика. Научно-технический сборник НГАУ. Днепропетровск. - 2000. - вып. 65. - С. 41 - 46.

34. Михайловська Н. В., Кондратюк О. В. (2021). Стимулювання енергозбереження на підприємствах за допомогою системи управління енергоефективністю. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету, 1 (55), с. 42 - 47.

35. Неміш В. Д. Сутність, оцінка та напрями підвищення ефективності механізму енергозбереження АПК. Інноваційна економіка. (2013). (7[45]), 46 - 53.

36. Новожилов М. Г., Ройзен Я. Ш., Эрперт А. М. Качество рудного сырья черной металлургии. Недра, 1977. 415 с.

37. Праховнік А. В., Іншеков Є. М. Ефективне енерговикористання в Україні: основні проблеми та шляхи їх вирішення // Управління енерговикористанням. - К.: Альянс за збереження енергії. - 2001. - С. 19 - 34.

38. Подковира О. В., Гончаренко І. В. Оцінка економічної ефективності енергозберігаючих заходів на гірничих підприємствах. Економіка промисловості. 2021. №1 (83). с. 70 - 79.

39. Пивень В. А., Младецкий И. К., Панченко В. В. Установление зависимости колеблемости качество железорудного концентрата от колеблемости качества исходной руды. Збагачення корисних копалин. 2008. №34 (75). С. 20 - 25.

40. 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.

41. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України / за ред. В. М. Беленького, В. В. Прокопенко, А. В. Праховніка. Луганськ: Місячне сяйво, 2009. 696 с.

42. Ритмичность производства на горном предприятии / Ю. И. Жернаков и др. Недра, 1974. 72 с.

43. Сергеев И. В., Молодцова Л. Д., Чередниченко Ю. В. Влияние ритмичности работы предприятия на качество добываемой руды. Горный журнал. 1973. №10 С. 13 - 14.

44. Севастьянов Р. В. (2013). Проблеми та перспективи енергозбереження на промислових підприємствах. Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності. (1[2]), 107 - 110.

45. Сінчук О. М. Споживання електричної енергії та вплив на цей процес системи чинників формування факторного простору в умовах залізорудних підприємств / О. М. Сінчук, І. О. Сінчук, О. М. Ялова, М. А. Баулі на // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - 2014. - Вип. 27. - с. 339 - 349.

46. Сотник І. М. Економічне стимулювання ресурсозбереження у контексті сталого розвитку / І. М. Сотник // Економіст. – 2010. - №12. - С. 72 - 75.

47. Суходоля О. М. Методологічні засади прийняття управлінських рішень у сфері енергоефективності. Науковий вісник Академії муніципального управління. 2010. Вип. 3. С. 17 - 24.

48. Суходоля О. М. Розвиток нормативно-правової бази енергозбереження та створення механізмів фінансового забезпечення енергозберігаючих проектів / О. М. Суходоля // Вісник соціально-економічних досліджень: зб, наук, праць. - 2007.- Випуск 27. - С. 224 -231.

49. Таха Х. Введение в исследование операций: в 2 кн. / пер. с англ. Мир, 1985. Кн. 2. 496 с.

50. Темченко А. Г. Сучасний стан електроспоживання та енергозбереження на гірничо-збагачувальних підприємствах / А. Г. Темченко, О. Б. Короленко, Б. А. Ртищев // Вісник Криворізького технічного університету. - 2006. - Вип. 11. - с. 208 - 212.

51. Темченко О. А. Сучасні підходи до вирішення проблем диспетчеризації на залізорудних кар'єрах / О. А. Темченко. Збагачення корисних копалин. Випуск

34. Дніпро. - 2008 р. - с. 174 - 179.

52. Темченко О. А., Тютюнник Ю. М. (2015). Визначення ключових факторів розвитку підприємств гірничо-металургійного комплексу України. Економічний вісник Національного гірничого університету. №1, 89 - 97.

53. Турило А. М., Кашубіна Ю. Б. Теоретично-методичні підходи щодо сутності та оцінки ритмічної діяльності підприємства. Вісник Криворізького технічного університету. 2011. Вип. 27. С. 311 - 315.

54. Шулешко А. В. Організація обліку енерговитрат на підприємствах гірничорудної галузі / А. В. Шулешко, О. А, Шулешко // Вісник Криворізького економічного університету КНУ, - 2013. - №2. - с. 118 – 122.

55. Kals, J.; Würtenberger, K. (2012), IT-unterstütztes Energiemanagement in: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik HMD, *Heft* (285), 73-81.

56. Everett J. E. Simulation model of an iron ore operation to Enable Informed Planning/ J. E. Everett // *Interdisciplinary Journal of Information. Knowledge, and Management.* – 2010. - №5. - 101-114.

57. Lane G.R., J.H.K. Hudson, Bondi, E. (2014). Implementation of an economic model at Gold Fields Limited. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 106 (12), 807-812.

58. Diachenko, G. G., & Aziukovskyi, O. O. (2020). Review of methods for energy-efficiency improvement in induction machines. *Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk*, (1), 80-88.

59. Bazaluk, O., Ashcheulova, O., Mamaikin, O., Khorolskyi, A., Lozynskyi, V., & Saik, P. (2022). Innovative activities in the sphere of mining process management. *Frontiers in Environmental Science*, (10), 878-977.

60. "Draft Plan for the Recovery of Ukraine" by the National Council for the Recovery of Ukraine from the War. URL:

<https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>

(Accessed 03.05.2023). (Ukr).

61 S. Sun, M. Dong and B. Liang, Distributed Real-Time Power Balancing in Renewable-Integrated Power Grids With Storage and Flexible Loads. *IEEE Transactions*

on *Smart Grid* Sept. 2016. Vol. 7. No. 5. Pp. 2337-2349. DOI: 10.1109/TSG.2015.2445794.

62. O. Gomis-Bellmunt, S. D, Tavakoli, V. A. Lacerda. E. Prieto-Araujo. Grid-Forming Loads: Can the Loads Be in Charge of Forming the Grid in Modern Power Systems? *IEEE Transactions on Smart Grid*. March 2023. Vol. 14. No. 2. Pp. 1042-1055, DOI: 10.1109/TSG.2022.3202646.

63. Basit A, Ahmad T, Yar Ali A, Ullah K, Mufti G, Hansen AD, Flexible Modern Power System: Real-Time Power Balancing through Load and Wind Power. *Energies*. 2019; 12(9):1710. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12091710>

65. Sun Yalu, Ding Kun, Du Wenlu, Yang Changhai, Li Yalong. Power-balancing compensation mechanism and method for controllable load reduction. *Frontiers in Energy Research*. 2023. DOI: 10.1037624.10.3389/fenrg/2022/1037624/

66. S. Panda, S. Mohanty, P. K. Rout, B. K. Sahu, M. Bajaj, H. M. Zawbaa, S. Kamel. Residential Demand Side Management model, optimization and future perspective: A review. *Energy Reports*, 2022. Vol. 8. Pp. 3727- 3766. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.300>.

Додаток 1

Таблиці експериментальних даних, результатів моделювання та розрахунків

Таблиця 2.1

Результати моделювання електроспоживання збагачувальної фабрики

№	A, %	τ, год	T, год	E, кВт·год
1	2	3	4	5
1	4	4	12	$8,51 \cdot 10^4$
2	4	3	12	$6,94 \cdot 10^4$
3	4	2	12	$4 \cdot 10^4$
4	4	1	12	$2,54 \cdot 10^4$
5	4	4	16	$1,46 \cdot 10^5$
6	4	3	16	$1,14 \cdot 10^5$
7	4	2	16	$7,88 \cdot 10^4$
8	4	1	16	$4,02 \cdot 10^4$
9	4	4	4	$2,7 \cdot 10^{14}$
10	4	3	4	155,93
11	4	2	4	220,512
12	4	1	4	155,93
13	4	4	8	6106
14	4	3	8	$5,642 \cdot 10^3$
15	4	2	8	$4,3 \cdot 10^3$
16	4	1	8	$2,34 \cdot 10^3$

Таблиця 2.2

Результати розрахунків показників ефективності заходів забезпечення ритмічності роботи та динаміки енергоспоживання підрозділами гірничо-збагачувального комплексу

	ΔP, МВТ	ΔE, МВТ·ч	ΔC _е , грн.	ΔC _п , грн.	ΔC _р , грн.	ΔC, грн.
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

Таблиця 3.1

Результати моніторингу постачання руди та витрат електроенергії на дробильній фабриці

Години зміни	q , Т	E , кВт·год	Години зміни	q , Т	E , кВт·год
1	1750	3237	5	3200	5950
2	3250	6040	6	2800	5152
3	3040	5650	7	2140	4055
4	2570	4857	8	1700	2975

Таблиця 3.2

Експериментальні дані для розрахунку ритмічності роботи ГТК за показниками обсягу виробництва

Показник	Години робочої зміни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Плановий обсяг V_n , Т	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Фактичний обсяг V_ϕ , Т	1750	3250	3040	2570	3200	2800	2140	1700
Відносне відхилення $\Delta V = \frac{V_\phi - V_n}{V_n}$	-0,417	0,083	0,013	-0,143	0,067	-0,067	-0,287	-0,43

Таблиця 3.3

Експериментальні дані для розрахунку ритмічності роботи ГТК за показниками динаміки електроспоживання

Показник електроспоживання	Години робочої зміни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Планове електроспоживання E_n , кВт·год	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500
Фактичне електроспоживання E_f , кВт·год	3237	6040	5550	4857	5950	5152	4055	2975
Відносне відхилення $\Delta E = \frac{E_f - E_n}{E_n}$	-0,411	0,098	0,009	-0,117	0,082	-0,063	-0,263	-0,459

Таблиця 3.4.

Результати подового моніторингу роботи дробильної фабрики.

Доба	q , Т	E , кВт·год	Доби	q , Т	E , кВт·год
1	82730	153000	6	95430	176500
2	88400	163500	7	93700	173300
3	92390	170900	8	90150	166800
4	90640	167700	9	94100	174000
5	89250	165100	10	89890	166300

Таблиця 3.5

Розрахунок міждодової ритмічності роботи ГТК за показниками обсягу виробництва

Показники обсягів виробництва	Доби робочої декади									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Плановий обсяг V_n, T	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000
Фактичний обсяг V_ϕ, T	82730	88400	92390	90640	89250	95430	93700	90150	94100	89890
Відносне відхилення $\Delta V = \frac{V_\phi - V_n}{V_n}$	-0,08	-0,018	0,027	0,007	-0,008	0,06	0,041	0,001	0,045	-0,0012

Таблиця 3.6

Розрахунок міждодової ритмічності роботи ГТК за показниками динаміки електроспоживання

Показники електроспо- живання	№ доби робочої декади									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Планове електроспо- живання E_n, T	166500	166500	166500	166500	166500	166500	166500	166500	166500	166500
Фактичне електроспо- живання E_ϕ, T	153000	163500	170900	167700	165100	176500	173300	166800	174000	166300
Відносне відхилення $\Delta E = \frac{E_\phi - E_n}{E_n}$	-0,081	-0,018	0,0264	0,007	-0,0084	0,06	0,04	0,0018	0,046	-0,001

Додаток 2

Довідки про впровадження (використання) результатів дисертації:

МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ



MINISTRY
OF EDUCATION AND SCIENCE
OF UKRAINE

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ
ГІРНИЧОРУДНИЙ ІНСТИТУТ
КРИВОРІЗЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
(НДГРІ)

пр.Гагаріна, 57, м.Кривий Ріг,
Дніпропетровська обл., 50086, Україна,
тел./факс: (056) 409-74-01,
E-mail: nigri@nigri.dp.ua, nigri@cabletv.dp.ua,
ідентифікаційний код 37664469
<https://nigri.dp.ua/>

SCIENTIFIC-RESEARCH
MINING INSTITUTE
OF KRYVYI RIH
NATIONAL
UNIVERSITY
(NDGRI)

Gagarin Ave., 57, Kryvyi Rih,
Dnipropetrovska obl., 50086, Ukraine,
tel./fax: (056) 409-74-01
E-mail: nigri@nigri.dp.ua; nigri@cabletv.dp.ua
identification code 37664469
<https://nigri.dp.ua/>

ДОВІДКА

про можливість впровадження (використання) результатів дисертації

Тема дисертації:

Удосконалення економічного стимулювання енергозбереження та логістики рудо постачання з метою зниження собівартості продукції гірничорудних підприємств

Автор: Кочура Денис Віталійович

Основні результати дисертації

Дисертація присвячена актуальній проблемі зниження витрат на електроенергію у собівартості продукції гірничорудних підприємств шляхом удосконалення економічного стимулювання енергозбереження. Основні результати включають:

1. **Аналіз динаміки електроспоживання:** досліджено закономірності динаміки електроспоживання кар'єрів, дробильних та збагачувальних фабрик, виявлено статичну та динамічну складові витрат електроенергії.
2. **Економічні методи управління:** запропоновано методи управління динамікою електроспоживання через оптимізацію режимів роботи обладнання, логістики постачання сировини та вдосконалення матеріального стимулювання персоналу.
3. **Практичні заходи:** розроблено організаційно-технічні заходи для зниження витрат електроенергії, такі як мінімізація простоїв обладнання, оптимізація періодів постачання сировини та впровадження системи нормування витрат електроенергії з урахуванням динаміки споживання.

Можливість використання результатів

Результати дисертації можуть бути використані:

1. **В умовах гірничорудних підприємств:**
 - Для зниження собівартості продукції за рахунок ефективного управління електроспоживанням.
 - Для впровадження системи матеріального стимулювання персоналу, спрямованої на енергозбереження.
 - Для оптимізації режимів роботи обладнання та логістичних процесів.
2. **У науковій діяльності:**
 - Як основа для подальших досліджень у галузі енергоефективності та управління виробничими процесами.
 - Для розробки нових методик аналізу та прогнозування електроспоживання.
3. **У навчальному процесі:**
 - Як навчальний матеріал для студентів та аспірантів спеціальностей, пов'язаних з гірничою справою, економікою та енергетикою.

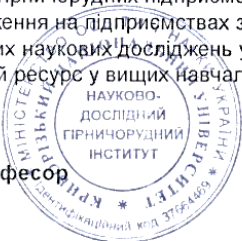
Висновки

Дисертація містить науково обґрунтовані та практично застосовні результати, які можуть значно покращити ефективність роботи гірничорудних підприємств. Рекомендується до використання:

- Для впровадження на підприємствах з метою зниження енерговитрат.
- Для подальших наукових досліджень у галузі енергозбереження.
- Як навчальний ресурс у вищих навчальних закладах.

Дата: 31.03.2025

Директор
докт. техн. наук, професор



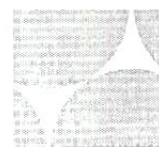
[Handwritten signature]

Вадим ЩОКІН

Довідка складена на підставі аналізу дисертації та її потенційного впливу на галузь.

Вих. № _____ від « ____ » _____ 201__р.

Вх. № _____ від « ____ » _____ 201__р.

**ІНТЕРПАЙП****Довідка**

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта

Кочури Деніса Віталійовича

Наукові і практичні результати дисертаційної роботи на тему „Удосконалення економічного стимулювання енергозбереження та логістики рудопостачання з метою зниження собівартості продукції гірничорудних підприємств" мають загальний характер та можуть бути використані на інших підприємствах що мають виробничі цикли випуску продукції. Ці результати використовуються для удосконалення системи матеріального стимулювання працівників ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»

Заступник Голови Правління
ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»



Гета Володимир

Узгоджено:

Керівник економічного відділу

Кириченко Оксана

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ІНТЕРПАЙП НИЖНЬОДНІПРОВСЬКИЙ ТРУБОПРОКАТНИЙ ЗАВОД»

Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Столетова, буд. 21, 49081. Тел.: +38 (0562) 35 92 50, Факс: +38 (0562) 35 83 89

www.interpipe.biz e-mail: info@ntrp.interpipe.biz

Р/р 2600930000321 в ПАТ «БАНК КРЕДИТ ДНІПРО», м. Дніпропетровськ, МФО 305749, ЄДРПОУ 05393116



ПрАТ «НЗТО»
ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ»
пр. Трубників, 56, м. Нікополь, Дніпропетровська область, Україна, 53201
Розрахунковий рахунок UA 783204780000026009924433109
у АБ «УКРГАЗБАНК», м. Київ
код ЄДРПОУ 31760880



ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспіранта кафедри «Економіка та економічна кібернетика»
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
Кочури Дениса Віталійовича
на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за темою:

«Удосконалення економічного стимулювання енергозбереження та логістики
рудопостачання з метою зниження собівартості продукції гірничорудних
підприємств»

Цією довідкою ми засвідчуємо, що на металургійному підприємстві
ПрАТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ», у
впродовж 2021-2025 рр., проводилась науково-дослідна робота за програмою
дисертаційного дослідження здобувача наукового ступеня доктора філософії
Кочури Д. В. на тему «Удосконалення економічного стимулювання
енергозбереження та логістики рудопостачання з метою зниження собівартості
продукції гірничорудних підприємств».

За програмою дисертанта Кочури Д. В., на підприємстві
ПрАТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ», були
успішно впроваджені та впроваджуються наступні результати дисертаційної роботи:

1. удосконалена методика матеріального стимулювання працівників з
урахуванням динаміки електроспоживання та ритмічності виробництва;
2. методика економічної діагностики ритмічності та плану випуску
продукції за графіками електричних навантажень виробничих підрозділів;

3. оптимізаційна модель управління виробничою логістикою за критерієм мінімуму витрат;

4 удосконалена методика нормування витрат електроенергії з урахуванням питомих витрат електроенергії та динаміки електроспоживання.

Теоретичні й практичні аспекти досліджуваної проблеми були висвітлені у публікаціях і доповідях на наукових конференціях, круглих столах, пройшли успішно апробацію на практиці.

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи можуть бути використані на машинобудівних, трубних та інших підприємствах.

Матеріали дисертаційної роботи є актуальними, мають вагомe теоретичне та практичне значення щодо зниження собівартості продукції підприємств гірничо-металургічного комплексу України.

Довідка про провадження результатів дисертаційного дослідження Кочури Дениса Віталійовича обговорена та схвалена на засіданні технічної ради підприємства (Протокол № 6 від 11.04.2025 р.)

Голова правління
ПрАТ «НЗТО»



Дмитро ШАРФ

т/ф +38 (096) 735-61-16 приймальня
room

+38 (096) 735-61-16 waiting

e-mail: nzto@nzto.com.ua
www.nzto.net.ua



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

просп. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна
 тел./tel.: +38 (056) 744 62 19, +38 (098) 001 25 25; факс/fax: +38 (056) 744 62 11;
 e-mail: rector@nmu.org.ua, nmu@nmu.org.ua, http://nmu.org.ua; код ЄДРПОУ 02070743

26.03.2015 № *13-45-35*

на № _____

ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційної роботи
 Кочури Дениса Віталійовича**

Наукові результати, отримані в результаті написання дисертаційної роботи на здобуття науковою ступеня доктора філософії зі спеціальності 051 - «Економіка» на тему «Удосконалення економічного стимулювання енергозбереження та логістики рудопостачання з метою зниження собівартості продукції гірничорудних підприємств», використовуються в навчальному процесі кафедри економіки та економічної кібернетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при вдосконаленні робочих програм та навчально-методичного забезпечення наступних дисциплін: «Економіка підприємства», «Економіка праці та соціально-трудові відносини», зокрема при створенні комплексів завдань та планів практичних занять.

Перший проректор



Артем ПАВЛИЧЕНКО

В.о. завідувача кафедри
 економіки та
 економічної кібернетики

Оксана ПРИХОДЧЕНКО

Додаток 3

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Наукові праці в яких опубліковані основні результати дисертації.**Статті у наукових фахових виданнях України в т. ч. внесених до міжнародних наукометричних баз*

1. Кочура Д. В. Економічна оцінка динаміки енергоспоживання виробничими підрозділами підприємства / Д. В. Кочура // Економічний вісник Дніпровської політехніки. -2023. - №1 (81). С. 145-149.

<https://doi.org/10.33271/ebdut/81.145>

2. Кочура Д. В. Економічна оцінка впливу погодних умов на динаміку електроспоживання гірничо-збагачувального комбінату / Д. В. Кочура // Економічний вісник Дніпровської політехніки. -2023. - №2 (82). С. 170-175.

<https://doi.org/10.33271/ebdut/82.170>

3. Кочура Д. В. Удосконалення системи матеріального заохочення працівників гірничорудних підприємств з урахуванням рівня динаміки енергоспоживання / Д. В. Кочура // Економічний вісник Дніпровської політехніки. -2023. - №4 (84). С. 167-172.

<https://doi.org/10.33271/ebdut/84.167>

4. Кочура Д. В. Економіка ритмічності електроспоживання на гірничорудних підприємствах / Д. В. Кочура // Журнал "Наукові Перспективи" Серія: Економіка". -2023. - №12 (42). С. 364-374.

[https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-12\(42\)-364-374](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-12(42)-364-374)

5. Кочура Д. В. Методика оперативної діагностики ритмічності роботи кар'єрів гірничорудного підприємства за динамікою електроспоживання / Д. В. Кочура // Науково-виробничий журнал "Інноваційна економіка ". -2023. - №3 (95). С. 57-62.

<https://doi.org/10.37332/2309-1533.2023.3.7>

6. Кочура Д. В. Оптимізація витрат електроенергії на дробильних фабриках в умовах багатозонального тарифу на електроенергію/ Д. В. Кочура // Електронний журнал "Економіка та суспільство". -2023. - №56.

<https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-86>

7. Кочура Д. В. Економічна оцінка синергетичного ефекту управління динамікою електроспоживання гірничорудного підприємства/ Д. В. Кочура // Електронний журнал "Економіка та суспільство". -2024. - №59.

<https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-105>

8. Кочура Д. В. Економіко-математичне моделювання динаміки енергоспоживання збагачувальної фабрики/ Д. В. Кочура, Демиденко М. А. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. -2024. - №74(1).

<https://doi.org/10.32782/2523-4803/74-1-3>

9. Кочура Д. В. Оцінка виконання плану та ритмічності випуску продукції дробильної фабрики за показниками динаміки електроспоживання / Д. В. Кочура // Науковий журнал «Український журнал прикладної економіки та техніки» -2024 - №1(9). С. 189-194.

<https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-31>

10. Кочура Д. В. Економіка динаміки енергоспоживання дробильних фабрик / Д. В. Кочура // Електронний журнал «Ефективна економіка». -2024. - №3.

<http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.3.96>

11. Кочура Д. В. Удосконалення нормування витрат на електроенергію на гірничорудних підприємствах, з урахуванням динаміки електроспоживання / Д. В. Кочура // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка». - 2024. - №1(61). С. 164-174

[https://doi.org/10.24144/2409-6857.2024.1\(63\).164-174](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2024.1(63).164-174)

12. Кочура Д. В. Чуріканова О. Ю. Зниження витрат на електроенергію в собівартості продукції на основі удосконалення економічного стимулювання енергозбереження на гірничорудних підприємствах: монографія. Дніпро. «Ліра», 2024. 177 с.

Матеріали конференцій

1. Кочура Д. В. (с. 1723-1728) Економічне стимулювання динаміки енергоспоживання гірничорудних підприємств.

X Міжнародна науково-практична конференція

«MODERN PROBLEMS OF SCIENCE, EDUCATION AND SOCIETY»

4-6.12.2023 року

Київ, Україна

<https://sci-conf.com.ua/x-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-problems-of-science-education-and-society-4-6-12-2023-kiyiv-ukrayina-arhiv/>

2. Кочура Д. В. (с. 62-66) "Оптимізація логістики постачання сировини на енергоємні підприємства за економічним критерієм."

Збірник наукових матеріалів СХХХVIII Міжнародної інтернет -конференції «НОВІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ НАУКИ ТА ТЕХНІКИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОЇ КРИЗИ» 9 лютого 2024 р., м. Вінниця

https://el-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/03/Vinnytsia_09022024.pdf

3. Кочура Д. В. "Оцінка ритмічності виробництва продукції за графіком електричних навантажень підприємства."

ІННОВАЦІЙНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ТЕОРІЯ, МЕТОДОЛОГІЯ, ПРАКТИКА

МАТЕРІАЛИ VIII Міжнародної науково-практичної конференції

28-29 лютого 2024 р. м. Київ

<https://novaosvita.com/wp-content/uploads/2024/03/InnTheoryMethPract-Kyiv-Feb2024.pdf>