

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет
автоматики та енергетики

Кафедра
електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

*методичні вказівки до виконання курсового проекту
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі
спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка"*

Кропивницький
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет
автоматики та енергетики

Кафедра
електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

*методичні вказівки до виконання курсового проекту
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі
спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка"*

Затверджено
на засіданні кафедри
електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту
Протокол № 7 від 13.01.2020 р.

Кропивницький
2020

Енергозберігаючі режими електропостачання: методичні вказівки до виконання курсового проекту для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / [уклад.: П.Г. Плешков, К.Г. Петрова], Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020 – 77 с.

Укладачі: П.Г. Плешков – професор, к.т.н., зав. каф. ЕТС та ЕМ
К.Г. Петрова – к.т.н, доц. каф. ЕТС та ЕМ

Рецензент: С. І.Осадчий – професор, д.т.н., зав.каф. АВП ЦНТУ

© Плешков П.Г., Петрова К.Г., 2020
© Центральноукраїнський
національний технічний університет,
2020

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ	8
2. ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	10
3. СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	13
4. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	15
4.1. Побудова основних енергетичних характеристик агрегатів розрахунково-статистичним методом	15
4.1.2. Визначення середніх значень продуктивності та підведеної потужності агрегату за відповідні інтервали часу.....	16
4.1.3. Визначення основної енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату у вигляді лінійної функції	18
4.1.4. Визначення основної енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату у вигляді нелінійної функції	22
4.1.5. Оцінювання точності вибору рівнянь енергетичної характеристики	27
4.2. Побудова енергетичної діаграми агрегату та вибір енергоефективних режимів його роботи	29
4.2.1 Енергетична діаграма роботи агрегату з прямолінійними характеристиками підведеної потужності	30
4.2.2. Енергетична діаграма роботи агрегату з увігнутими характеристиками підведеної потужності	35
4.2.3. Енергетична діаграма роботи агрегату з опуклими характеристиками підведеної потужності	38
4. 3. Коригування основних енергетичних характеристик агрегату.....	42
4.3.1. Визначення ступеню впливу технологічних параметрів X_1 та X_2 на зміну значення витрати електричної енергії W_1 та встановлення "стандарту" електроспоживання для агрегату.....	43

4.3.2. Аналіз виконання встановленого планового значення витрати електричної енергії	47
4.4. Побудова та функціонування системи контролю і планування споживання енергії.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	58
ДОДАТКИ.....	60
ДОДАТОК А. Титульний аркуш курсового проекту	60
ДОДАТОК Б. Приклад вихідного завдання на курсовий проект	61
ДОДАТОК В. Варіанти завдань курсового проекту	62
ДОДАТОК Г. Приклад побудови енергетичної діаграми роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками та визначення планової питомої витрати електричної енергії	71
ДОДАТОК Д. Приклад побудови енергетичної діаграми обладнання з опуклими характеристиками та визначення планової питомої витрати електричної енергії.....	73

ВСТУП

В умовах недостатньої забезпеченості власними паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР), систематичного зростання цін на вітчизняні та імпортовані енергоресурси, для України все нагальнішим стає необхідність практичного вирішення задач енергозбереження в усіх ланках національної економіки, і перш за все, у промисловості, яка залишається найбільшим споживачем палива та енергії всіх видів [1].

Очевидно, що цілеспрямована діяльність у сфері енергозбереження потребує постійного (в тому числі і оперативного) управління як на державному, регіональному чи галузевому рівні, так і на рівні підприємств та організацій, їх підрозділів і навіть окремих енергоємних технологічних процесів чи установок. Однією з важливих складових процесу такого управління є здійснення систематичного контролю ефективності використання палива та енергії.

Тобто, однією з необхідних умов досягнення помітних практичних результатів енергозбереження є об'єктивне, обґрунтоване вирішення задач кількісного оцінювання, контролю та аналізу ефективності використання ПЕР для різних технологічних і виробничо-господарських об'єктів. Першочерговість цієї задачі підтверджується тим, що тільки на основі коректного її вирішення для всіх галузей і сфер суспільного виробництва можуть бути успішно вирішені практично всі інші, надзвичайно важливі зараз для України задачі управління енергозбереженням, зокрема такі, як [2]:

- створення і правильне застосування системи економічного стимулювання ефективного використання ПЕР, впровадження енергозберігаючого обладнання, технологій та заходів;
- коректне застосування штрафних санкцій за нераціональне, марнотратне використання палива та енергії;

- створення та використання дієвого механізму залучення інвестицій у сферу енергоощадження;
- визначення потенціалу енергозбереження, економічної доцільності та пріоритетності здійснення енергозберігаючих проектів на окремих підприємствах, в галузях суспільного виробництва, в регіонах держави;
- здійснення моніторингу реально досягнутих результатів енергозбереження тощо.

Таким чином, практичне вирішення задач енергозбереження на будь-якому рівні управління державою чи суспільним виробництвом, на будь-якому конкретному технологічному чи виробничому об'єкті перш за все вимагає одержання відповіді на питання: ефективно чи неефективно на цьому об'єкті використовуються ПЕР. А відповідь на це питання повинна базуватися на визначенні певних кількісних показників.

Вивчення студентами дисципліни "Енергозберігаючі режими електропостачання" передбачає як засвоєння ними теоретичних знань, так і набуття базових практичних умінь в області визначення, контролю та аналізу рівня енергетичної ефективності функціонування технологічних та енергетичних установок, зокрема, в таких питаннях як:

- методи визначення показників енергетичної ефективності функціонування технологічних та енергетичних установок і систем, а також критеріїв ефективності використання палива та енергії;
- методи та способи контролю та аналізу ефективності використання палива та енергії у суспільному виробництві.

Курсовий проект належить до форми індивідуальної роботи студентів з вивчення дисципліни, робота над якою виконується впродовж усього семестру в залежності від опрацювання відповідного матеріалу на лекційних та практичних заняттях.

У методичних вказівках використано матеріали з [17].

1. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

Згідно з робочою навчальною програмою з курсу «Енергозберігаючі режими електропостачання» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» для блоку вибіркових дисциплін «Електротехнічні системи електроспоживання» денної форми навчання виконується курсовий проект (КП).

Метою виконання курсового проекту є закріплення та поглиблення теоретичних знань і практичних навиків, отриманих студентами на лекційних та практичних заняттях з дисципліни «Енергозберігаючі режими електропостачання».

Зміст курсового проекту полягає в тому, що студенти на підставі наданих їм індивідуальних вихідних даних повинні організувати контроль ефективності використання енергії для деякого технологічного об'єкту (агрегату, установки, технологічного процесу). В спеціальному розділі проекту студент розробляє перелік заходів із заощадження електричної енергії на технологічному об'єкті.

Пояснювальна записка до курсового проекту повинна мати:

- титульний аркуш;
- завдання на курсовий проект;
- зміст;
- вступ;
- основну частину;
- висновки;
- список літератури (перелік посилань);
- додатки (за необхідності).

Приклад оформлення *титульного аркуша* наведено у додатку А.

У вступі повинна бути розкрита актуальність та доцільність проведення контролю ефективності енерговикористання для виробничо-господарських об'єктів у сучасних умовах.

Основна частина містить виконання усіх завдань з необхідними розрахунками, поясненнями, графіками та обґрунтуванням прийнятих рішень.

У висновках повинні бути відображені підсумки виконання роботи а також має бути виконано загальне оцінювання енергетичної ефективності функціонування технологічних чи енергетичних установок, що розглядаються в курсовому проекті.

Обсяг роботи. Курсовий проект складається з розрахунково-пояснювальної записки обсягом до 50 сторінок формату А4 та графічної частини (можливе оформлення у вигляді презентаційних матеріалів).

Розрахунково-пояснювальна записка складається з наступних розділів:

1. Побудова основних енергетичних характеристик агрегатів розрахунково-статистичним методом.
2. Побудова енергетичної діаграми агрегату та вибір енергоефективних режимів його роботи.
3. Коригування основних енергетичних характеристик агрегату.
4. Побудова та функціонування системи контролю і планування споживання енергії
5. Розроблення заходів із заощадження електричної енергії на технологічному об'єкті (тип установки згідно варіанту).

Варіанти завдань. Номер варіанта визначає викладач, вихідні дані для виконання розрахунків наведені в таблицях (дод. В). Якщо розрахункова робота виконана студентом за даними, що не відповідають визначеному для нього варіанту, розрахункова робота не зараховується, а студент отримує інший варіант завдання.

2. ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Приклад вихідного завдання на КП наведено в дод. Б.

1. За звітними даними щодо фактичного обсягу випущеної продукції агрегатом та його фактичним енергоспоживання (табл. В.1, дод. В) побудувати згладжені енергетичні характеристики агрегату (основну вихідну та основну похідну характеристики).

2. Використовуючи отримані енергетичні характеристики, побудувати енергетичну діаграму агрегату та коротко охарактеризувати можливі режими його роботи для різних значень продуктивності.

3. На підставі заданої планової продуктивності агрегату та планових значень технологічних параметрів (табл. В.2, дод. В) вибрати найбільш енергоефективний режим його роботи (плановий режим).

4. За енергетичною діаграмою агрегату для обраного режиму його роботи визначити планову величину середньокалендарної потужності та витрати енергії, а також планову середньокалендарну питому витрату електричної енергії для агрегату.

5. На підставі вихідних даних, наведених у табл. В.1, дод. В, визначити, який з двох технологічних параметрів (X_1 або X_2) найбільше впливає на електричну потужність, що споживається агрегатом. Визначити рівняння зміни споживаної потужності агрегату в залежності від значень цього параметра, прийнявши, що зв'язок між зазначеними величинами є лінійним.

6. З урахуванням фактичних даних щодо продуктивності агрегату, споживання електричної енергії і фактичних значень технологічних параметрів роботи агрегату (табл. В.2, дод. В), проаналізувати виконання встановленої для нього планової величини питомої витрати електроенергії (якщо фактичний режим роботи агрегату відповідав плановому, а

відхилення фактичних умов його роботи від планових відбулося з причин, незалежних від дій експлуатаційного персоналу).

7. Побудувати і проаналізувати графік зміни у часі обсягу споживання електричної енергії агрегатом за перші 7 діб його роботи (значення W_1 табл. В.1, дод. В).

8. Використовуючи розраховані в розділі І значення відповідних коефіцієнтів парної кореляції, оцінити ступінь впливу наявних чинників (двох параметрів технологічного процесу X_1 і X_2 , а також продуктивності агрегату Q) на зміну обсягу споживання електричної енергії агрегатом (дані табл. В.1, дод. В).

9. Серед зазначених в п.2 чинників вибрати «головний», тобто той, який найбільш суттєво впливає на обсяг споживання електроенергії агрегатом.

10. Прийняти, що «стандарт» енергоспоживання для даного агрегату буде встановлюватися у вигляді рівняння однофакторної лінійної регресії в залежності від вибраного «головного» чинника.

11. Встановити в аналітичному та графічному вигляді «стандарт» енергоспоживання для агрегату (визначити аналітичний вираз відповідного рівняння регресії, побудувати графік визначеної залежності).

12. Визначити значення відхилення фактичних обсягів споживання електроенергії агрегатом впродовж перших 7 діб його роботи (значення W_1 табл. В.1, дод. В) від встановленого «стандарту» енергоспоживання, а також накопичені (кумулятивні) значення зазначених відхилень.

13. Проаналізувати «виконання» встановленого «стандарту» енергоспоживання впродовж перших 7 діб роботи агрегату (побудувати і проаналізувати графік CUSUM за відповідний період).

14. За допомогою побудованих раніше графіка встановлення «стандарту» енергоспоживання і графіка CUSUM продемонструвати процес щодобового контролю виконання встановленого «стандарту»

енергоспоживання впродовж наступних 7 діб роботи агрегату (значення W2 табл. В.1, дод. В). Проаналізувати отримані результати контролю. Прийняти, що числові значення чинників, які впливають на енергоспоживання агрегату (двох параметрів технологічного процесу X_1 і X_2 , а також продуктивності агрегату Q) впродовж наступних 7 діб дорівнювали значенням цих чинників, що були зареєстровані впродовж відповідних перших 7 діб роботи агрегату.

15. Якщо результати контролю (п.14) підтверджують значне та стійке підвищення ефективності використання енергії агрегатом, скоригувати встановлений для нього раніше «стандарт» енергоспоживання (встановити для агрегату в аналітичному та графічному вигляді новий «стандарт» енергоспоживання).

3. СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Згідно Положення про рейтингову систему оцінювання успішності студентів курсовий проект оцінюється за результатами захисту (табл. 3.1), а також за якістю виконання розрахунків оформлення відповідних текстових та графічних матеріалів (табл. 3.2). Під час захисту роботи студент обґрунтовує прийняті рішення, відповідає на поставлені викладачем запитання.

Таблиця 3.1. Оцінювання за результатами захисту роботи студентом

№ з/п	Результати захисту курсового проекту	Кількість балів
1	глибоке розуміння змісту задач, що вирішуються, вираження власної думки, <i>відмінна відповідь на поставлені питання</i>	18-20 балів
2	глибоке розуміння змісту задач, що вирішуються, вираження власної думки, <i>хороша відповідь на поставлені питання</i>	15-17 балів
3	хороше розуміння змісту задач, що вирішуються, хороше володіння матеріалом роботи, <i>хороша відповідь на поставлені питання</i>	12-16 балів
4	достатнє розуміння змісту задач, що вирішуються, достатнє володіння матеріалом роботи, <i>задовільна відповідь на поставлені питання</i>	5-11 балів
5	недостатнє розуміння змісту задач, що вирішуються, недостатнє володіння матеріалом роботи, <i>незадовільна відповідь на поставлені питання</i>	0 балів

Граничний термін подання роботи до захисту – за тиждень до початку екзаменаційної сесії. У разі, якщо студент подав роботу після вказаного граничного терміну, до отриманих балів після захисту роботи водиться коефіцієнт **0,75**.

Таблиця 3.2. Оцінювання за якість виконання розрахунків та оформлення відповідних текстових та графічних матеріалів

№ з/п	Оформлення розрахункових та графічних матеріалів	Кількість балів
1	робота цілісна, написана логічно побудованими реченнями з коректним застосуванням спеціальної термінології, результати розрахунків проаналізовані, зроблені належні висновки, пояснювальна записка оформлена з використанням можливостей комп'ютерної техніки	до 4 балів
2	робота написана логічно побудованими реченнями з коректним застосуванням спеціальної термінології, результати розрахунків проаналізовані, зроблені належні висновки, пояснювальна записка оформлена належним чином і не потребує змін та доповнень	до 3 балів
3	робота написана достатньо зрозумілою мовою, спеціальна термінологія застосована в цілому коректно, результати розрахунків проаналізовані, зроблені висновки, пояснювальна записка оформлена належним чином, але потребує незначних змін та доповнень	до 2 балів
4	робота написана важко зрозумілою мовою, спеціальна термінологія застосована не завжди коректно, відсутній аналіз результатів розрахунків та необхідні висновки, оформлення пояснювальної записки в цілому є прийнятним, але потребує значних змін та доповнень	до 1 балу
5	необхідні розрахунки виконані не у повному обсязі, відсутній аналіз результатів розрахунків та необхідні висновки, пояснювальна записка належним чином не оформлена належним чином не оформлена	0 балів

Якщо після захисту роботи встановлено, що до неї необхідно внести зміни та доповнення, студент повинен впродовж *тижня* внести необхідні зміни до роботи та повторно подати її до захисту.

4. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

4.1. Побудова основних енергетичних характеристик агрегатів розрахунково-статистичним методом

Контроль ефективності енерговикористання для будь-яких технологічних об'єктів ґрунтується на побудові енергетичних балансів та характеристик. Енергобаланс використовується з цією метою у випадках, коли агрегат працює в постійних виробничих умовах й з постійною продуктивністю. Енергетичні характеристики використовуються в тому випадку, коли агрегат працює в постійних умовах виробництва, але зі змінною продуктивністю.

Енергетична характеристика агрегату – це залежність показників енергоспоживання або енергоефективності від його продуктивності. Основними енергетичними характеристиками є [3–5]:

- залежність підведеної потужності агрегату від його продуктивності $P_{\text{підв}} = f_1(A)$.

- залежність питомої витрати енергії від продуктивності $d = f_2(A)$.

Для побудови енергетичних характеристик агрегатів існує декілька методів: експериментальний, розрахунково-аналітичний, розрахунково-статистичний та комбінований. Метод, який найчастіше може бути практично застосований для побудови енергетичних характеристик агрегатів, – розрахунково-статистичний [3–6, 17].

Послідовність побудови основних енергетичних характеристик агрегату розрахунково-статистичним методом наступна [3–6]:

- 1.Збір необхідних статистичних даних щодо роботи агрегату за відповідний період (витрати енергії, кількість випущеної продукції,

тривалість роботи, значення технологічних параметрів, параметрів кліматичних умов тощо).

Період, впродовж якого збирають вихідні данні (наприклад, місяць, тиждень тощо) необхідно обирати таким чином, щоб режим роботи агрегату за цей час був характерним. В той же час, доцільно, щоб в цей характерний період продуктивність змінювалась у найширшому діапазоні. Збір вихідних даних доцільно здійснювати після технічного обслуговування або планового ремонту агрегату.

2. Розрахунок середньої величини продуктивності та підведеної потужності агрегату за відповідні інтервали часу.

4.1.2. Визначення середніх значень продуктивності та підведеної потужності агрегату за відповідні інтервали часу

Оскільки впродовж будь-якого інтервалу часу агрегат працює зі змінною продуктивністю, його енергетичні характеристики необхідно будувати за середніми (середньогодинними) значеннями відповідних показників.

За вихідними даними визначаємо середню продуктивність та середню підведену потужність агрегату за відповідний проміжок часу ($T_i = 24$ год) та зводимо ці дані у табл. 4.1.

Середньогодинна продуктивність агрегату A впродовж i -го інтервалу часу (i -ї доби) визначаємо за формулою:

$$A_i = \frac{Q_i}{T_i} \quad (4.1)$$

де Q_i – фактичний обсяг виробництва продукції агрегатом, од/добу;

T_i – тривалість роботи агрегату впродовж відповідного інтервалу часу, год/добу.

На прикладі першої доби (табл. 1, дод. Б) за формулою (4.1) визначаємо середньогодинну продуктивність агрегату A_1 :

$$A_1 = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{160}{24} = 6,67 \text{ од./год.}$$

Середньогодинні значення підведеної потужності P_i агрегату впродовж i -го інтервалу часу (i -ї доби) визначаємо за формулою:

$$P_i = \frac{W_i}{T_i} \quad (4.2)$$

де W_i – фактичне споживання електричної енергії, кВт·год/добу.

На прикладі першої доби (табл.1, дод. Б) за формулою (4.2) визначаємо середньогодинне значення підведеної потужності P_1 :

$$P_1 = \frac{W_1}{T_1} = \frac{817}{24} = 34,04 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку середньогодинної продуктивності A_i та середньогодинних значень підведеної потужності P_i для інших інтервалів часу наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Розрахунки енергетичної характеристики агрегату

Номер доби	Q_i , од./доб.	W_i , кВт·год/доб.	A_i , од./год	P_i , кВт
Режим н.х.	0			15,00
1	160	817	6,67	34,04
2	188	983	7,83	40,96
3	245	1101	10,21	45,88
4	322	1156	13,42	48,17
5	375	947	15,63	39,46
6	418	1152	17,42	48,00
7	452	890	18,83	37,08

Графік статистичної залежності середньогодинної підведеної потужності агрегату A від його продуктивності P наведено на рис. 4.1. Оцінимо характер залежності підведеної потужності агрегату та визначимо параметри відповідного рівняння характеристики $P(A)$.

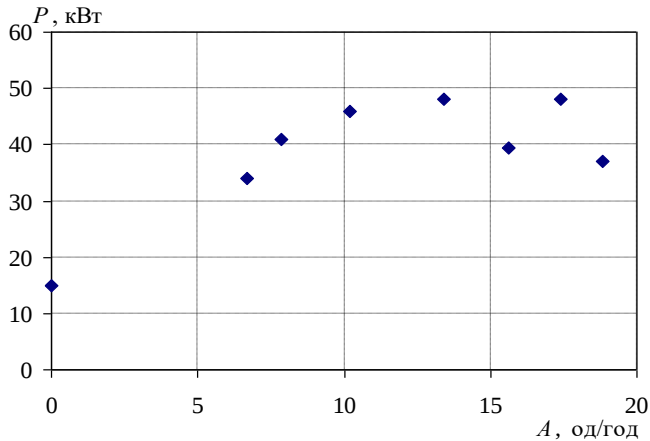


Рисунок 4.1. Графік статистичної залежності середньогодинної підведеної потужності агрегату A від його продуктивності P

4.1.3. Визначення основної енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату у вигляді лінійної функції

Якщо характеристика підведеної потужності лінійна, тоді її можна описати рівнянням:

$$P' = C_0 + C_1 A, \quad (4.3)$$

де C_0 та C_1 – невідомі коефіцієнти рівняння енергетичної характеристики.

Для визначення коефіцієнтів рівняння енергетичної характеристики необхідно скласти відповідну систему рівнянь:

$$\begin{cases} P_1 = C_0 + C_1 A_1, \\ P_2 = C_0 + C_1 A_2, \\ \dots \\ P_i = C_0 + C_1 A_i, \\ \dots \\ P_n = C_0 + C_1 A_n. \end{cases}$$

Для розв'язку наведеної вище системи рівнянь необхідно звести її до нормального вигляду (за методом Гауса):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i = n \cdot C_0 + C_1 \sum_{i=1}^n A_i, \\ \sum_{i=1}^n P_i A_i = C_0 \sum_{i=1}^n A_i + C_1 \sum_{i=1}^n A_i^2. \end{cases} \quad (4.4)$$

Корені системи рівнянь (4.4) - це невідомі коефіцієнти C_0 та C_1 рівняння енергетичної характеристики підведеної потужності (4.1).

Для варіанту № 7 зведемо проміжні розрахунки для складання системи (4.4) у табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Результати проміжних розрахунків для визначення коефіцієнтів лінійного рівняння енергетичної характеристики

№ з/п	A_i , од/год	P_i , кВт	$P_i \times A_i$	A_i^2
1	0,00	15,00	0,00	0,00
2	6,67	34,04	226,94	44,44
3	7,83	40,96	320,84	61,36
4	10,21	45,88	468,31	104,21
5	13,42	48,17	646,24	180,01
6	15,63	39,46	616,54	244,14
7	17,42	48,00	836,00	303,34
8	18,83	37,08	698,40	354,69
Σ	90,00	308,58	3813,27	1292,20

Таким чином, система рівнянь (4.4) для визначення коефіцієнтів лінійного рівняння енергетичної характеристики має вигляд:

$$\begin{cases} 8 \cdot P_{HX} + 90 \cdot d_q = 308,58 \\ 90 \cdot P_{HX} + 1292,2 \cdot d_q = 3813,27 \end{cases} \quad (4.5)$$

Для розв'язку системи рівнянь (4.5) скористаємось методом визначників (методом Крамера):

$$\Delta = \begin{vmatrix} 8 & 90 \\ 90 & 1292,2 \end{vmatrix} = 8 \cdot 1292,2 - 90 \cdot 90 = 2237,6.$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 308,58 & 90 \\ 3813,27 & 1292,2 \end{vmatrix} = 308,58 \cdot 1292,2 - 90 \cdot 3813,27 = 55552,776.$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 8 & 308,58 \\ 90 & 3813,27 \end{vmatrix} = 8 \cdot 3813,27 - 90 \cdot 308,58 = 2733,96.$$

$$P_{HX} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{55552,776}{2237,6} = 24,83 \text{ кВт};$$

$$d_q = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{2733,96}{2237,6} = 1,22 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{од.прод.}$$

З урахуванням нових значень P_{HX} та d_q рівняння (4.3) набуде вигляду:

$$P'_i = 24,83 + 1,22 \cdot A_i. \quad (4.6)$$

Для визначення рівняння похідної енергетичної характеристики агрегату необхідно поділити всі частини рівняння характеристики його підведеної потужності на продуктивність. Отже, рівняння похідної енергетичної характеристики агрегату матиме вигляд:

$$d'_i = \frac{C_0}{A_i} + C_1 \quad (4.7)$$

Питома витрата електроенергії в агрегаті відповідно до (4.7):

$$d'_i = \frac{24,83}{A_i} + 1,22. \quad (4.8)$$

Результати розрахунку залежностей $P'_i(A_i)$ та $d'_i(A_i)$ згідно виразів (4.6) та (4.8) зведемо до табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Дані для побудови графіків

№ з/п	A_i , од./год.	P_i , кВт	P'_i , кВт	d'_i , кВт/од.
1	0,00	15,00	24,83	-
2	6,67	34,04	32,96	4,94
3	7,83	40,96	34,39	4,39
4	10,21	45,88	37,28	3,65
5	13,42	48,17	41,20	3,07
6	15,63	39,46	43,89	2,81
7	17,42	48,00	46,08	2,65
8	18,83	37,08	47,81	2,54

Графік енергетичної характеристики згідно (4.6) зображено на рис. 4.2, а графік питомої витрати електроенергії згідно (4.8) – на рис. 4.3.

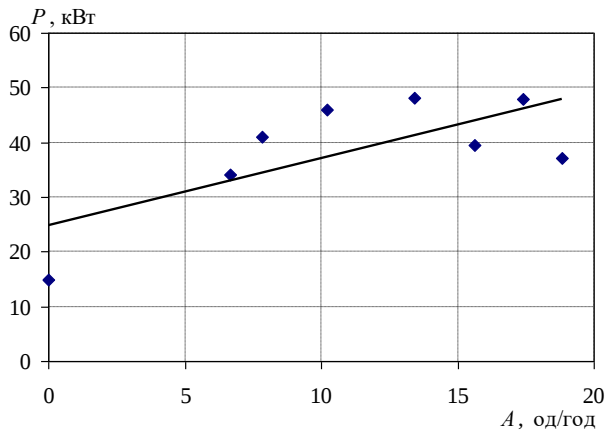


Рисунок 4.2. Графік лінійної енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату

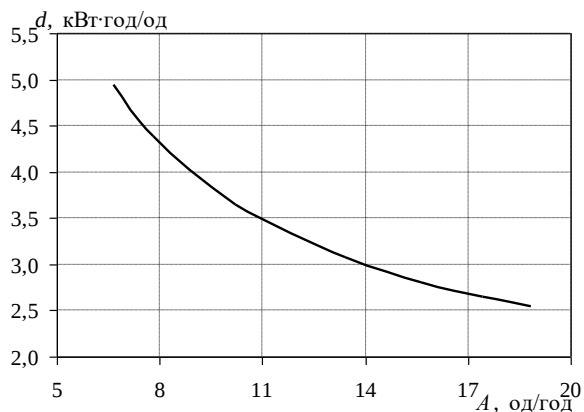


Рисунок 4.3. Графік питомої витрати електроенергії в агрегаті для випадку лінійного рівняння енергетичної характеристики

4.1.4. Визначення основної енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату у вигляді нелінійної функції

Нелінійна енергетична характеристика підведеної потужності агрегату може бути подана, наприклад, у вигляді поліному другого ступеня, який має вигляд:

$$P'' = C_0 + C_1 A + C_2 A^2, \quad (4.8)$$

де C_0, C_1 та C_2 – невідомі коефіцієнти рівняння енергетичної характеристики.

Для визначення невідомих коефіцієнтів рівняння енергетичної характеристики за допомогою методу найменших квадратів необхідно скласти відповідну систему рівнянь:

$$\begin{cases} P_1 = C_0 + C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_1^2, \\ P_2 = C_0 + C_1 \cdot A_2 + C_2 \cdot A_2^2, \\ \dots \\ P_i = C_0 + C_1 \cdot A_i + C_2 \cdot A_i^2, \\ \dots \\ P_n = C_0 + C_1 \cdot A_n + C_2 \cdot A_n^2. \end{cases}$$

Наведена система рівнянь може бути зведена до нормального виду (система 3-х рівнянь з 3-ма невідомими) за методом найменших квадратів. Подамо її у вигляд системи нормальних рівнянь Гауса:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i = n \cdot C_0 + C_1 \cdot \sum_{i=1}^n A_i + C_2 \cdot \sum_{i=1}^n A_i^2, \\ \sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i = C_0 \cdot \sum_{i=1}^n A_i + C_1 \cdot \sum_{i=1}^n A_i^2 + C_2 \cdot \sum_{i=1}^n A_i^3, \\ \sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i^2 = C_0 \cdot \sum_{i=1}^n A_i^2 + C_1 \cdot \sum_{i=1}^n A_i^3 + C_2 \cdot \sum_{i=1}^n A_i^4. \end{cases} \quad (4.9)$$

Для зручності зведемо проміжні розрахунки для складання системи (4.9) у табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Результати проміжних розрахунків для визначення коефіцієнтів нелінійного рівняння енергетичної характеристики

№ з/п	A_i , од/год	P_i , кВт	A_i^2	A_i^3	A_i^4	$P_i A_i$	$P_i A_i^2$
1	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	6,67	34,04	44,44	296,30	1975,31	226,94	1512,96
3	7,83	40,96	61,36	480,66	3765,19	320,84	2513,25
4	10,21	45,88	104,21	1063,81	10859,74	468,31	4780,64
5	13,42	48,17	180,01	2415,09	32402,50	646,24	8670,33
6	15,63	39,46	244,14	3814,70	59604,64	616,54	9633,38
7	17,42	48,00	303,34	5283,18	92015,32	836,00	14560,33
8	18,83	37,08	354,69	6680,08	125808,15	698,40	13153,25
Σ	90,00	308,58	1292,20	20033,82	326430,85	3813,27	54824,15

Отже, система рівнянь для визначення коефіцієнтів нелінійного рівняння енергетичної характеристики має вигляд:

$$\begin{cases} 8 \cdot P_{HX} + 90 \cdot d_1 + 1292,2 \cdot d_2 = 308,58 \\ 90 \cdot P_{HX} + 1292,2 \cdot d_1 + 20033,82 \cdot d_2 = 3813,27 \\ 1292,2 \cdot P_{HX} + 20033,82 \cdot d_1 + 326430,85 \cdot d_2 = 54824,15 \end{cases} \quad (4.10)$$

Для розв'язку системи рівнянь (4.10) скористаємось тим же методом визначників (методом Крамера), що й у випадку системи (4.5):

$$\Delta = \begin{vmatrix} 8 & 90 & 1292,2 \\ 90 & 1292,2 & 20033,82 \\ 1292,2 & 20033,82 & 326430,85 \end{vmatrix} =$$

$$= 8 \cdot (1292,2 \cdot 326430,85 - 20033,82 \cdot 20033,82) - 90 \cdot (90 \cdot 326430,85 - 20033,82 \cdot 1292,2) + 1292,2 \cdot (90 \cdot 20033,82 - 1292,2 \cdot 1292,2) = 21685714,8928.$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 308,58 & 90 & 1292,2 \\ 3813,27 & 1292,2 & 20033,82 \\ 54824,15 & 20033,82 & 326430,85 \end{vmatrix} = 308,58 \cdot 1292,2 \cdot 326430,85 +$$

$$+ 90 \cdot 20033,82 \cdot 54824,15 + 1292,2 \cdot 3813,27 \cdot 20033,82 - 1292,2 \cdot 1292,2 \cdot 54824,15 -$$

$$- 308,58 \cdot 20033,82 \cdot 20033,82 - 90 \cdot 3813,27 \cdot 326430,85 = 130163346953,6946 +$$

$$+ 98850343747,77 + 98716798183,44708 - 91544315239,286 -$$

$$123849799975,45879 - 112029207064,155 = 1919791287574362500 / 62500 =$$

$$307166606,0119.$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 8 & 308,58 & 1292,2 \\ 90 & 3813,27 & 20033,82 \\ 1292,2 & 54824,15 & 326430,85 \end{vmatrix} = 8 \cdot 3813,27 \cdot 326430,85 +$$

$$+ 308,58 \cdot 20033,82 \cdot 1292,2 + 1292,2 \cdot 90 \cdot 54824,15 - 1292,2 \cdot 3813,27 \cdot 1292,2 -$$

$$8 \cdot 20033,82 \cdot 54824,15 - 308,58 \cdot 90 \cdot 326430,85 =$$

$$9958151739,036 + 7988427146,11032 +$$

$$+ 6375938996,7 - 6367325183,7468 - 8786697222,024 - 9065702852,37 =$$

$$=128490779631912500 / 12500 = 102792623.70552.$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 8 & 90 & 308,58 \\ 90 & 1292,2 & 3813,27 \\ 1292,2 & 20033,82 & 54824,15 \end{vmatrix} = 8 \cdot 1292,2 \cdot 54824,15 + 90 \cdot 3813,27 \cdot 1292,2 +$$

$$+ 308,58 \cdot 90 \cdot 20033,82 - 308,58 \cdot 1292,2 \cdot 1292,2 - 8 \cdot 3813,27 \cdot 20033,82 -$$

$$90 \cdot 90 \cdot 54824,15 = 566750133,04 + 443475674,46 + 556383255,804 -$$

$$515260971,6072 - 611154918,3312 - 444075615 = -48530520431250 / 1250 =$$

$$= -3882441,6344.$$

$$P_{HX} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{307166606,0119}{21685714,8928} = 14,164 \text{ кВт};$$

$$d_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{102792623,70552}{21685714,8928} = 4,74 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{од.прод.}$$

$$d_2 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-3882441,6344}{21685714,8938} = -0,179 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{од.прод.}$$

З урахуванням нових значень P_{HX} та d_1 та d_2 нелінійне рівняння енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату набуде вигляду:

$$P_i'' = 14,164 + 4,74 \cdot A_i - 0,179 \cdot A_i^2. \quad (4.11)$$

Питома витрата електроенергії в агрегаті визначається аналогічно (4.6):

$$d_i'' = \frac{14,164}{A_i} + 4,74 - 0,179 \cdot A_i. \quad (4.12)$$

Результати розрахунку залежностей $P_i''(A_i)$ та $d_i''(A_i)$ згідно виразів (4.11) та (4.12) зведемо до табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Дані для побудови графіків $P_i''(A_i)$ та $d_i''(A_i)$

№ з/п	A_i , од./год.	P_i , кВт	P_i'' , кВт	d_i'' , кВт/од.
1	0,00	15,00	14,16	-
2	6,67	34,04	37,81	5,67
3	7,83	40,96	40,31	5,15
4	10,21	45,88	43,90	4,30
5	13,42	48,17	45,54	3,39
6	15,63	39,46	44,53	2,85
7	17,42	48,00	42,42	2,44
8	18,83	37,08	39,94	2,12

Використовуючи отримані значення коефіцієнтів, будуюмо згладжені енергетичні характеристики агрегату: основну вихідну (рис. 4.4) й основну похідну (рис. 4.5) характеристики.

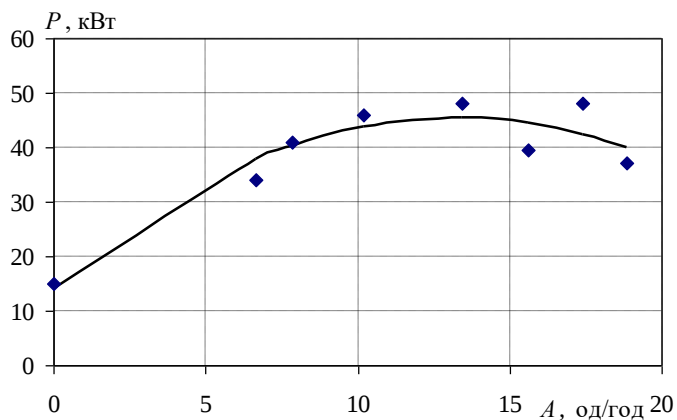


Рисунок 4.4. Графік нелинійної енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату

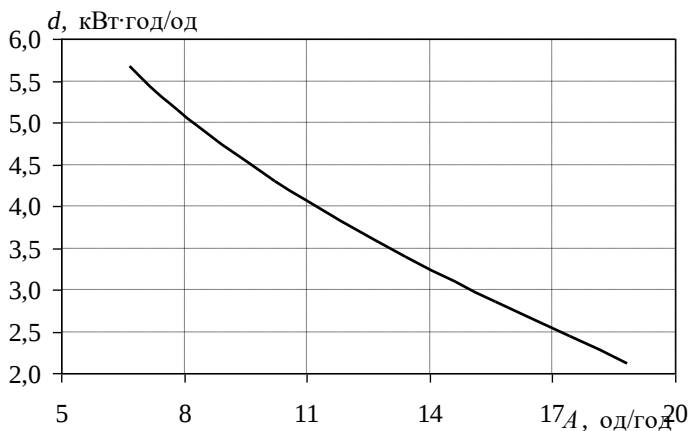


Рисунок 4.5. Графік питомої витрати електроенергії в агрегаті для випадку нелінійного рівняння енергетичної характеристики

4.1.5. Оцінювання точності вибору рівнянь енергетичної характеристики

Для визначення найточніших енергетичних характеристик агрегату необхідно розрахувати залишкову дисперсію для лінійної та нелінійної характеристик його підведеної потужності (P_i' та P_i'') за формулами:

$$D' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - P_i')^2 \quad (4.13)$$

$$D'' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - P_i'')^2 \quad (4.14)$$

де P_i – фактична підведена потужність агрегату, кВт; P_i' та P_i'' – розраховані значення потужності відповідно за лінійною та нелінійною характеристиками, кВт; n – загальна кількість вимірювань.

Проміжні розрахунки для визначення значень залишкових дисперсій для лінійного та нелінійного рівнянь енергетичної характеристики згідно формул (4.13) та (4.14) зведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Проміжні розрахунки для визначення значень залишкових дисперсій для лінійного та нелінійного рівнянь енергетичної характеристики

№ з/п	P_i , кВт	P'_i , кВт	P''_i , кВт	$(P_i - P'_i)^2$	$(P_i - P''_i)^2$
1	15,00	24,83	14,16	96,63	0,70
2	34,04	32,96	37,81	1,16	14,19
3	40,96	34,39	40,31	43,19	0,42
4	45,88	37,28	43,90	73,80	3,91
5	48,17	41,20	45,54	48,56	6,91
6	39,46	43,89	44,53	19,66	25,67
7	48,00	46,08	42,42	3,69	31,12
8	37,08	47,81	39,94	114,99	8,18
Σ				401,68	91,11

$$D' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - P'_i)^2 = \frac{1}{8-1} \cdot 401,68 = 57,38.$$

$$D'' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - P''_i)^2 = \frac{1}{8-1} \cdot 91,11 = 13,01.$$

Як видно із розрахунків, для випадку, коли енергетична характеристика представлена у вигляді нелінійної апроксимуючої характеристики, значення залишкової дисперсії виявилось меншим ($13,01 < 57,38$).

Отже, остаточно приймаємо, що характеристика підведеної потужності агрегату є нелінійною, та запишемо її відповідне рівняння:

$$P''_i = 14,164 + 4,74 \cdot A_i - 0,179 \cdot A_i^2.$$

4.2. Побудова енергетичної діаграми агрегату та вибір енергоефективних режимів його роботи

Обладнання безперервної дії може працювати впродовж деякого періоду часу як безперервно, так і з перервами. Крім того, його навантаження під час роботи може бути як постійним, так і змінним. У разі безперервної роботи обладнання енергетична економічність його роботи є однозначною функцією продуктивності. Для кожного конкретного значення продуктивності енергетична ефективність роботи агрегату може оцінюватися за допомогою його енергетичної характеристики величиною підведеної потужності або питомої витрати енергії.

Під час роботи обладнання з перервами впродовж деякого проміжку часу T_0 за незмінної середньокалендарної продуктивності агрегату A_0 середня підведена потужність P_0 та середня питома витрата енергії d_0 можуть бути різними. Вони можуть змінюватися залежно від характеру зміни навантаження агрегату у часі. Проте енергетичні характеристики обладнання не втрачають свого змісту. На їх основі можна побудувати енергетичні діаграми, що відображають всі можливі режими роботи агрегату й відповідні їм області зміни значень P_0 та d_0 .

Для спрощення спочатку аналізують ефективність використання енергії обладнанням безперервної дії без врахування пускових витрат та додаткових втрат енергії нестационарного процесу, тобто втрат енергії, які виникають під час переходу з одного режиму навантаження агрегату на інший.

Перш за все, необхідно пам'ятати, що енергетична економічність роботи обладнання у різних режимах залежить від форми його характеристики підведеної потужності. Тому необхідно розглядати окремо кожен з груп агрегатів, що відрізняються за формою зазначеної характеристики [3–5].

4.2.1 Енергетична діаграма роботи агрегату з прямолінійними характеристиками підведеної потужності

У випадку безперервної роботи такого обладнання з постійним навантаженням підведену потужність за будь-якого значення продуктивності визначаємо:

$$P = P_{HX} + d_q \quad (4.15)$$

Поділивши обидві частини рівняння (4.15) на продуктивність A , отримаємо рівняння характеристики питомої витрати енергії:

$$d = \frac{P_{HX}}{A} + d_q \quad (4.16)$$

У зазначених умовах витрата енергії за будь-який проміжок часу безперервної роботи обладнання T_n дорівнює:

$$W_n = P \cdot T_n = P_{x.x} \cdot T_n + d_q \cdot Q_n. \quad (4.17)$$

Поділивши обидві частини виразу (4.17) на T_n , отримаємо:

$$P_n = \frac{W_n}{T_n} = P_{x.x} + d_q A_n. \quad (4.18)$$

Потім, поділивши обидві частини останнього рівняння на A_n , отримуємо рівняння характеристики питомої витрати енергії:

$$d_H = \frac{P_{HX}}{A_H} + d_q. \quad (4.19)$$

У рівняннях (4.18) та (4.19), на відміну від залежностей (4.15) і (4.16), фігурують вже не поточні (миттєві), а середньогодинні значення продуктивності обладнання й підведеної потужності, визначені за період

безперервної роботи агрегату. Проте, характер залежності між цими параметрами залишився незмінним, тобто константи в рівняннях підведеної потужності та питомої витрати енергії є однаковими за величиною (рис. 4.6).

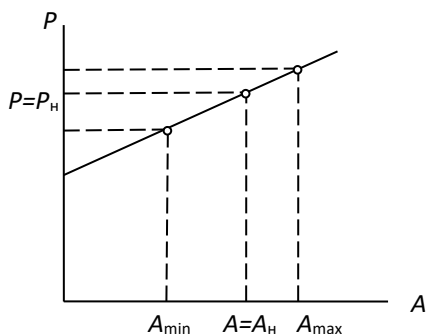


Рисунок 4.6. Співпадіння поточної і середньої підведеної потужності для агрегатів з прямолінійною характеристикою

Отже, можемо зробити наступні висновки:

1. У разі безперервної роботи обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності енергетичні характеристики режиму постійного навантаження агрегату одночасно є й характеристиками режиму його роботи зі змінним навантаженням.

2. Робота такого обладнання з однаковою продуктивністю (миттєвою або середньогодинною) з енергетичної точки зору є однаково ефективною як у постійному, так й у змінному режимах навантаження. Крім того, в останньому випадку – незалежно від характеру зміни навантаження агрегату за час його роботи, якщо у випадку переходу від одного значення навантаження до іншого не виникає додаткових витрат енергії [3–5].

Проте, режим роботи обладнання впродовж деякого календарного проміжку часу може включати не тільки періоди безперервної роботи, але й перерви та простой. У цьому випадку оцінювання енергетичної економічності роботи агрегату базують на середньокалендарних значеннях підведеної потужності та питомої витрати енергії.

Витрату енергії за час T_0 (без врахування пускових витрат), визначають, аналогічно до (4.17):

$$W_o = P_{x.x} T_n + d_q Q, \quad (4.20)$$

Оскільки, у випадках простоїв чи перерв з вимкненням обладнання енергія не витрачається, то характеристика середньокалендарної підведеної потужності і питомої витрати енергії матиме вигляд:

$$\begin{aligned} P_o &= P_{x.x} \frac{T_n}{T_o} + d_q \frac{Q}{T_o} = k_t P_{x.x} + d_q A_o; \\ d_o &= \frac{P_o}{A_o} = \frac{k_t P_{x.x}}{A_o} + d_q. \end{aligned} \quad (4.21)$$

Рівняння (4.21) відрізняються від раніше отриманих тим, що вони містять дві змінні величини: A_o і k_t . Отже, вони описують вже не лінії, а області зміни значень P_o і d_o . Ці області визначаються енергетичними діаграмами обладнання.

Енергетична діаграма роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності має вигляд, наведений на рис. 4.7.

Пряма $P_{x.x}-P_{\max}$ на діаграмі відповідає випадку, коли $k_t=1$, тобто характеризує безперервну роботу обладнання впродовж усього періоду часу T_o , і є характеристикою залежності $P_n=f(A_n)$. У точці $P_{\max}$ цієї прямої агрегат працює з максимальною годинною продуктивністю. Таким чином, робота агрегату по прямій $P_{x.x}-P_{\max}$ характеризується умовами:

$$T_o = T_n; \quad A_o = A_n; \quad k_t = 1; \quad k_n = \text{var}. \quad (4.22)$$

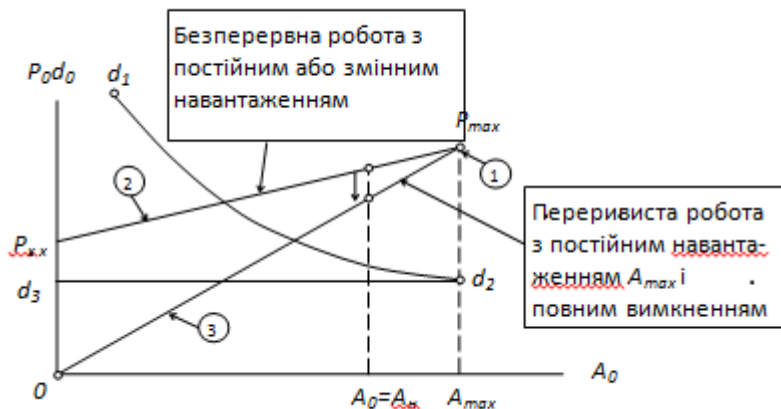


Рисунок 4.7. Енергетична діаграма для обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності

Зазначений прямий на діаграмі питомої витрати енергії відповідає крива $d_1 - d_2$. У точці d_2 , що відповідає умові $A_0 = A_{\max}$, питома витрата енергії має найменшу величину.

Пряма $0-P_{\max}$ відповідає переривчастому режиму роботи обладнання з постійною годинною продуктивністю, що дорівнює $A_{\max}$, і з повним вимкненням агрегату на час перерв. Цей режим роботи обладнання характеризується умовами:

$$T_o = \frac{T_n}{k_t}; A_o = k_t A_n = k_t A_{\max}; k_n = 1; k_t = \text{var}. \quad (4.23)$$

На діаграмі (рис. 4.7) питомої витрати енергії цьому режиму відповідає пряма d_3-d_2 . Прямі $P_{x,x}-P_{\max}$ і $0-P_{\max}$ є обмежувачами прямими енергетичної діаграми обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності і визначають собою найбільш характерні режими роботи таких агрегатів [3–5, 17].

Розглянута енергетична діаграма дозволяє зробити такі висновки стосовно режимів роботи обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності:

1. За відсутності обмежень щодо програми випуску продукції таке обладнання з точки зору витрати енергії доцільніше експлуатувати в режимі безперервної роботи з постійним навантаженням, що дорівнює $A_{\max}$, за якої забезпечується найменша величина питомої витрати енергії.

2. Якщо за умовами програми випуску продукції обладнання не може бути максимально навантажене впродовж всього календарного періоду часу T_0 (тобто $A_0 < A_{\max}$) і в той же час виробництво не допускає переривчастого режиму роботи агрегату, то з точки зору витрати енергії однаково, якщо обладнання буде працювати безперервно з постійною зниженою продуктивністю A_0 або якщо воно працюватиме зі змінним навантаженням, забезпечуючи потрібну середньогодинну продуктивність $A_n = A_0$. В обох випадках робота агрегату відбуватиметься за однією і тією ж характеристикою (пряма $P_{x,x}-P_{\max}$). Проте, вибираючи між постійним та змінним режимами навантаження, перевагу завжди слід віддавати режиму роботи агрегату з постійним навантаженням. Це пов'язано як з додатковими втратами енергії, що можуть виникати при роботі зі змінним навантаженням, так і з метою забезпечення нормального технічного стану обладнання і зручності його експлуатації.

3. Якщо у тих самих умовах неповного завантаження обладнання випуском продукції виробництво допускає роботу агрегату з перервами, то з точки зору витрати енергії доцільно переходити на переривчастий режим роботи, чергуючи періоди роботи з максимальною годинною продуктивністю з перервами в роботі з повним вимкнення агрегату. У цьому випадку робота обладнання відбуватиметься за прямою $0-P_{\max}$ на діаграмі підведеної потужності і за лінією d_3-d_2 на діаграмі питомої витрати енергії.

Приклад побудови енергетичної діаграми роботи агрегату з прямолінійними характеристиками підведеної потужності наведено в дод. Г.

4.2.2. Енергетична діаграма роботи агрегату з увігнутими характеристиками підведеної потужності

У випадку змінного режиму навантаження агрегатів або у разі їх роботи з перервами оцінювати енергетичну ефективність за енергетичними характеристиками, що відповідають режиму безперервної роботи з постійною продуктивністю, не можна. За однакової кількості виробленої продукції показники енергоекономічності роботи такого обладнання зі змінним та постійним навантаженням не співпадають (рис. 4.8). Середнє значення підведеної потужності P_n за період безперервної роботи обладнання зі змінним навантаженням не співпадає з миттєвим значенням підведеної потужності P для режиму роботи агрегату з постійною продуктивністю A , яка дорівнює середньогодинному її значенню A_n .

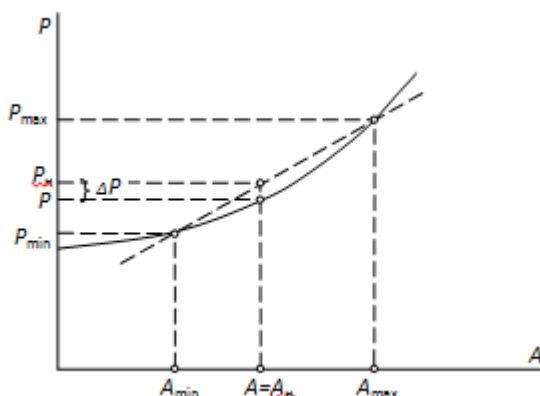


Рисунок 4.8. Неспадіння поточної та середньогодинної підведеної потужності для агрегатів з увігнутою характеристикою

Різниця між значеннями P_n і P характеризує додаткові втрати енергії змінного режиму навантаження у порівнянні з режимом постійного навантаження, які залежать від ступеня кривизни характеристики підведеної потужності і від діапазону зміни годинної продуктивності агрегату за час його безперервної роботи. Енергетична діаграма обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності може бути представлена у вигляді рис. 4.9. Заштрихована область відповідає безперервній роботі агрегату з різними режимами навантаження на протязі календарного періоду часу T_0 . Точка $P_{\max}$ відповідає роботі обладнання у постійному режимі навантаження за максимальної годинної продуктивності $A_{\max}$. Проте, найменша питома витрата енергії за безперервної роботи агрегату буде в точці b , яка відповідає роботі обладнання у постійному режимі навантаження з економічною продуктивністю $A_{\text{ек}}$.



Рисунок 4.9. Енергетична діаграма для обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності

Крива $P_{x,x}-b-P_{\max}$ характеризує режим постійного навантаження обладнання, найбільш вигідний в умовах безперервної роботи. Пряма $P_{x,x}-P_{\max}$ відповідає найменш економічному з енергетичної точки зору режиму безперервної роботи агрегату, що характеризується чергуванням періодів роботи за максимальної годинної продуктивності з холостими ходами.

Переривчасті режими роботи агрегату характеризуються на діаграмі прямими $0-P_{\max}$ і $0-b$. Перша з них відповідає режиму чергування періодів роботи агрегату за максимальної годинної продуктивності $A_{\max}$ з повним вимкненням обладнання на час перерв, а друга - режиму чергування перерв з повним вимкненням агрегату з періодами роботи обладнання за економічної годинної продуктивності $A_{\text{ек}}$. Останній режим є найекономічнішим з точки зору витрати енергії, оскільки йому за заданої середньокалендарної продуктивності A_0 відповідає найменша величина середньокалендарної підведеної потужності P_0 , а отже, і найменша величина середньокалендарної питомої витрати енергії d_0 . Розглянута енергетична діаграма (рис. 4.9) дозволяє зробити такі висновки щодо енергетичної економічності роботи обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності:

1. Якщо за умовами виробничої програми такому обладнанню може бути задана середньокалендарна продуктивність, яка дорівнює або є більшою, ніж його економічна продуктивність (тобто $A_0 \geq A_{\text{ек}}$), то з точки зору витрати енергії обладнання повинно працювати в режимі безперервної роботи з заданою постійною годинною продуктивністю.

2. Якщо виробнича програма не забезпечує середньокалендарного навантаження обладнання на величину його економічної годинної продуктивності (тобто $A_0 < A_{\text{ек}}$), то з точки зору витрати енергії найбільш доцільно переходити на переривчастий режим роботи агрегату з чергуванням періодів роботи за постійного навантаження, яке дорівнює економічній годинній продуктивності $A_{\text{ек}}$, з повним вимкненням обладнання.

3. Якщо у тих самих умовах навантаження обладнання випуском продукції ($A_0 < A_{\text{ек}}$) виробництво не допускає переривчастого режиму роботи агрегату, то з точки зору витрати енергії обладнання слід експлуатувати в режимі безперервної роботи з постійним навантаженням, що дорівнює заданій середньокалендарній продуктивності A_0 [3–5, 17].

4.2.3. Енергетична діаграма роботи агрегату з опуклими характеристиками підведеної потужності

Для обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності під час роботи зі змінним навантаженням середньогодинна величина підведеної потужності і середньогодинна питома витрата енергії при заданій середньогодинній продуктивності A_n також не дорівнюють підведеній потужності і питомій витраті енергії під час роботи агрегату з постійною годинною продуктивністю $A = A_n$ (рис. 4.10). Різниця між вказаними значеннями підведеної потужності характеризує в даному випадку не додаткові витрати, а економію енергії при змінному режимі навантаження у порівнянні з режимом роботи з постійним навантаженням.

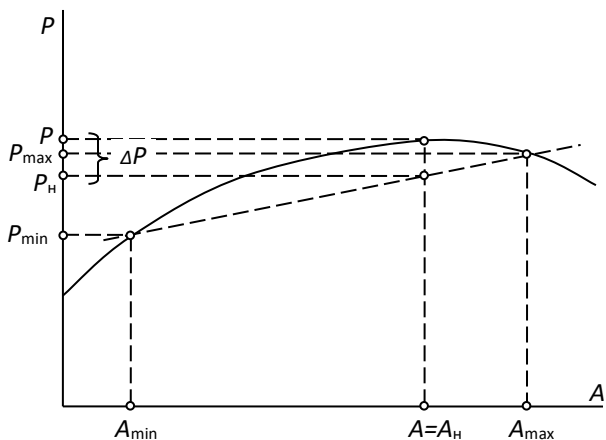


Рисунок 4.10. Неспівпадіння поточної і середньої підведеної потужності для агрегатів з опуклою характеристикою

Графік залежності потужності P від навантаження A . На графіку показані три типи роботи:

- 1. Безперервна робота в постійному режимі навантаження (штрихована область під кривою).
- 2. Безперервна робота з чергуванням постійного навантаження A_{max} і холостих ходів (лінійний сегмент від $P_{хол}$ до P_{max}).
- 3. Переривчаста робота з чергуванням постійного навантаження A_{max} і повного вимкнення (лінійний сегмент від 0 до P_{max}).

Пряма $P_{x,x}-P_{\max}$ характеризує безперервну роботу агрегату з чергуванням корисної роботи за максимальної годинної продуктивності $A_{\max}$ з холостими ходами обладнання. Цей режим в умовах безперервної роботи агрегату за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності з точки

зору споживання енергії є більш економічним, ніж робота з постійним навантаженням, що дорівнює тій самій середньокалендарній продуктивності A_0 .

Пряма $0-P_{\max}$ відповідає переривчастому режиму роботи обладнання з чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності $A_{\max}$ і перерв з повним вимкненням агрегату. Цей режим з енергетичної точки зору є найбільш економічним за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності, меншої, ніж його максимальна годинна продуктивність.

На підставі енергетичної діаграми обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності можна зробити такі висновки:

1. Безперервна робота агрегату з постійним навантаженням з точки зору витрати енергії вигідна тільки тоді, коли виробнича програма дозволяє навантажити обладнання на величину його максимальної годинної продуктивності $A_{\max}$ впродовж усього календарного періоду часу T_0 .

2. Для безперервної роботи обладнання, прийнятій виходячи з умов виробництва, та заданій неповній середньокалендарній продуктивності агрегату $A_0 < A_{\max}$, з точки зору витрати енергії найдоцільніше експлуатувати його в режимі чергування періодів роботи за максимальної годинної продуктивності з холостими ходами або з роботою за мінімальної годинної продуктивності обладнання.

3. У тих самих умовах неповного завантаження обладнання випуском продукції ($A_0 < A_{\max}$), але допустимості переривчастої роботи, з енергетичної точки зору найбільш економічно переходити на переривчастий режим роботи агрегату з чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності і перерв з повним вимкненням обладнання [3–5].

Таким чином незважаючи на різні можливі режими роботи обладнання безперервної дії доцільними з енергетичної точки зору є такі чотири режими:

1. Безперервна робота з постійним навантаженням агрегату. Цей режим є допустимим для обладнання з прямолінійними і увігнутими характеристиками за будь-якого заданого значення його середньокалендарної продуктивності, а для обладнання з опуклими характеристиками – тільки за постійного навантаження, яка дорівнює максимальній годинній продуктивності агрегату.

2. Безперервна робота зі змінним навантаженням. Цей режим є допустимим тільки для обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності.

3. Переривчастий режим, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності агрегату з холостими ходами обладнання або роботою з мінімальною годинною продуктивністю. Цей режим є допустимим в умовах обов'язкової безперервної роботи для обладнання з прямолінійними та опуклими характеристиками підведеної потужності і є недопустимим для агрегатів з увігнутими характеристиками.

4. Переривчастий режим, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи за максимальної або економічної годинної продуктивності агрегату і перерви у роботі з повним вимкненням обладнання.

У всіх розглянутих режимах, окрім безперервної роботи обладнання із змінним навантаженням, питома витрата енергії є постійною величиною за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності агрегату. Таким чином, встановивши конкретний режим роботи обладнання, легко визначити за його енергетичною характеристикою норму питомої витрати енергії, яка точно відповідає вибраному режиму і заданій середньокалендарній продуктивності агрегату.

Якщо за умовами виробництва годинна продуктивність обладнання не може бути незмінною, необхідно передбачити деякий діапазон можливого її коливання відносно встановленої середньої величини. У цьому випадку

енергетична характеристика або діаграма агрегату дозволяє встановити відповідний діапазон допустимої зміни середньої питомої витрати енергії. В цей же час норму питомої витрати енергії задають середнім значенням у визначеному діапазоні.

Приклад побудови енергетичної діаграми роботи агрегату з опуклими характеристиками підведеної потужності наведено в дод. Д.

4. 3. Коригування основних енергетичних характеристик агрегату

Енергетична характеристика агрегату або установки відповідає конкретним виробничим умовам. У такому разі, перш ніж використовувати побудовані енергетичні характеристики агрегату, необхідно знати, яким умовам виробництва вони відповідають. Під час здійснення контролю рівня ефективності енерговикористання у випадку, коли фактичні (експлуатаційні) умови роботи агрегату відрізняються від планових (характеристичних), до побудованих енергетичних характеристик обов'язково необхідно вносити відповідні поправки, тобто коригувати їх.

Коригування енергетичних характеристик здійснюють у наступній послідовності:

1. Встановлюють, які показники виробничих умов можуть впливати на споживання та ефективність використання енергії агрегатом (методи експертного оцінювання, технологічна документація, особистий виробничий досвід працівників виробничо-господарських об'єктів тощо).

2. Визначають, які параметри умов виробництва досить сильно впливають на споживання енергії або потужності. Одним з способів визначення наявності чи відсутності зв'язку між показниками, які характеризують умови виробництва, та обсягами енергоспоживання, є кореляційний аналіз.

4.3.1. Визначення ступеню впливу технологічних параметрів X_1 та X_2 на зміну значення витрати електричної енергії W_1 та встановлення "стандарту" електроспоживання для агрегату

Щільність зв'язку між будь-якими двома випадковими величинами x та y визначають за допомогою коефіцієнта кореляції:

$$r_{xy} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (4.24)$$

де $\bar{x}, \bar{y}$ – середні значення відповідних випадкових величин;

σ_x, σ_y – середньоквадратичні відхилення поточних значень цих випадкових величин від їх середніх значень:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.25)$$

Коефіцієнт кореляції може набувати числових значень від -1 до 1. Значення коефіцієнта кореляції +1 означає, що між випадковими величинами x та y існує лінійна функціональна залежність і всі точки функції належать прямій, яка відображає зростання y у разі зростання x .

Визначимо, який з двох параметрів (X_1 чи X_2) має більший вплив на зміну значення витрати електричної енергії W_1 по агрегату.

Результати проміжних розрахунків для визначення середньоквадратичних відхилень $\sigma_{X1}, \sigma_{X2}, \sigma_P$ та коефіцієнтів кореляції R_{PX1}, R_{PX2} зведені у табл. 4.8. та 4.9.

Розраховуємо значення середньоквадратичних відхилень за формулою (4.25):

$$\sigma_{X1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_{i1} - X_{CP1})^2} = \sqrt{\frac{1}{7-1} \cdot 46188} = 87,74 \cdot$$

$$\sigma_{X2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_{i2} - X_{CP2})^2} = \sqrt{\frac{1}{7-1} \cdot 2835,71} = 21,74 \cdot$$

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i - P_{CP})^2} = \sqrt{\frac{1}{7-1} \cdot 184,07} = 5,54 \cdot$$

Таблиця 4.8. Результати проміжних розрахунків для визначення середньоквадратичного відхилення σ_{X1} , σ_P та коефіцієнта кореляції R_{PX1}

№ доби	X_1	P_i , кВт	$X_{i1} - X_{CP1}$	$(X_{i1} - X_{CP1})^2$	$P_i - P_{CP}$	$(P_i - P_{CP})^2$	$(X_1 - X_{CP1})^2 \times (P_i - P_{CP})^2$
1	105	34,04	-119,00	14161	-7,90	62,39	939,96
2	141	40,96	-83,00	6889	-0,98	0,96	81,52
3	183	45,88	-41,00	1681	3,93	15,48	-161,32
4	222	48,17	-2,00	4	6,23	38,77	-12,45
5	264	39,46	40,00	1600	-2,48	6,16	-99,29
6	306	48,00	82,00	6724	6,06	36,72	496,88
7	347	37,08	123,00	15129	-4,86	23,59	-597,43
Σ	1568	41,94		46188		184,07	647,88
Сер. знач.	224	293,58					

Таблиця 4.9. Результати проміжних розрахунків для визначення середньоквадратичного відхилення σ_{X2} , σ_P та коефіцієнта кореляції R_{PX2}

№ доби	X_2	P_i , кВт	$X_2 - X_{CP2}$	$(X_2 - X_{CP2})^2$	$P_i - P_{CP}$	$(P_i - P_{CP})^2$	$(X_2 - X_{CP2})^2 \times (P_i - P_{CP})^2$
1	125	34,04	31,43	987,76	-7,90	62,39	-248,25
2	110	40,96	16,43	269,90	-0,98	0,96	-16,14
3	105	45,88	11,43	130,61	3,93	15,48	44,97
4	95	48,17	1,43	2,04	6,23	38,77	8,89
5	85	39,46	-8,57	73,47	-2,48	6,16	21,28
6	70	48,00	-23,57	555,61	6,06	36,72	-142,83
7	65	37,08	-28,57	816,33	-4,86	23,59	138,78
Σ	655	41,94		2835,71		184,07	-193,30
Сер. знач.	93,57	293,58					

Визначаємо значення коефіцієнтів кореляції відповідно до (4.24):

$$R_{PX_1} = \frac{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i - P_{CP}) \cdot (X_{i1} - X_{CP1})}{\sigma_P \cdot \sigma_{X_1}} = \frac{\frac{1}{7-1} \cdot 647,88}{5,54 \cdot 87,74} = 0,222,$$

$$R_{PX_2} = \frac{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i - P_{CP}) \cdot (X_{i2} - X_{CP2})}{\sigma_P \cdot \sigma_{X_2}} = \frac{\frac{1}{7-1} \cdot (-193,3)}{5,54 \cdot 21,74} = -0,268.$$

В обох випадках кореляційний зв'язок виявився слабким, проте у першому випадку він дещо сильніший, ніж у другому.

Отже, технологічні параметри несуттєво впливають на значення витрати електричної енергії по агрегату. Однак, параметр X_2 має більший вплив, тому встановлюємо "стандарт" електроспоживання як однофакторну лінійну регресію в залежності від даного параметру:

$$P = a + b \cdot X_2,$$

де a , b – коефіцієнти, що визначають за формулами:

$$a = P_{CP} - b \cdot X_{CP2} = 41,94 - (-0,068) \cdot 93,57 = 48,319.$$

$$b = R_{PX_1} \cdot \frac{\sigma_P}{\sigma_{X_1}} = -0,268 \cdot \frac{5,54}{21,74} = -0,068.$$

Тобто, однофакторне лінійне рівняння регресії, що описує вплив технологічного параметру X_2 на зміну значення витрати електроенергії в агрегаті має вигляд:

$$P = 48,319 - 0,068 \cdot X_2 \quad (4.26)$$

Результати підстановки даних для X_2 з табл.Б.1 вихідних даних (дод. Б) наведені в табл. 4.10, а на рис. 4.12 наведено планову зміну споживання електричної енергії за лінійним законом.

Таблиця 4.10. Розрахункові дані для побудови залежності $P = f(X_2)$

№ доби	1	2	3	4	5	6	7
X_{i2}	125	110	105	95	85	70	65
P_{i2} , кВт	39,80	40,82	41,16	41,84	42,52	43,55	43,89

Необхідно зазначити, що для залежності (4.26) значення коефіцієнту детермінованості склало $r_2 = 0,27$.

Значення похибок між експериментальними даними і даними, отриманими із рівняння регресії (4.26) наведені в табл. 4.11.

Як видно з результатів розрахунку, наведених в табл. 4.11, відносна похибка δ між експериментальними даними та даними, отриманими із використанням регресійного рівняння (4.26) не перевищує 20 %. Тому, рівняння (4.26) доцільно використовувати лише для наближених інженерних розрахунків.

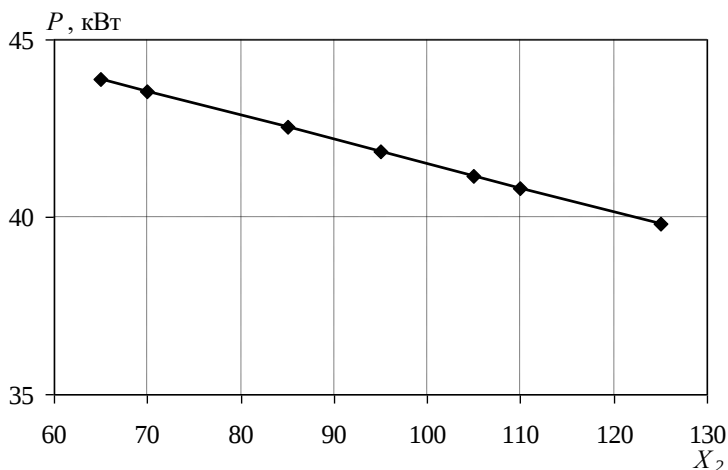


Рисунок 4.12. Планова зміна споживання електричної енергії в залежності від X_2 за лінійним законом

Таблиця 4.11. Результати розрахунку похибки однофакторного лінійного рівняння регресії

№ доби	X_2	$P_i^{\text{експ}}$, кВт	$P_i^{\text{розн}}$, кВт	$\delta = \frac{P_i^{\text{розн}} - P_i^{\text{експ}}}{P_i^{\text{експ}}} \cdot 100\%$
1	125	34,04	39,80	-16,910

№ добы	X_2	$P_i^{\text{експ}}$, кВт	$P_i^{\text{розр}}$, кВт	$\delta = \frac{P_i^{\text{розр}} - P_i^{\text{експ}}}{P_i^{\text{експ}}} \cdot 100\%$
2	110	40,96	40,82	0,336
3	105	45,88	41,16	10,275
4	95	48,17	41,84	13,129
5	85	39,46	42,52	-7,771
6	70	48,00	43,55	9,276
7	65	37,08	43,89	-18,350

4.3.2. Аналіз виконання встановленого планового значення витрати електричної енергії

Контроль та аналіз рівня ефективності енерговикористання на основі питомих витрат енергії здійснюється з використанням відповідних енергетичних характеристик агрегату.

Контроль енергоефективності обладнання шляхом простого порівняння планових і фактичних питомих витрат енергії можна та доцільно здійснювати лише в одному випадку, якщо фактична продуктивність агрегату дорівнює його плановій продуктивності, і фактичні умови його роботи повністю відповідають плановим умовам.

З урахуванням фактичних даних щодо продуктивності агрегату, витрати електричної енергії та фактичних значень технологічних параметрів роботи агрегату (табл. Б.1 дод. Б) проаналізуємо виконання встановленого для нього планового значення питомої витрати електричної енергії.

Визначаємо фактичне значення продуктивності:

$$A_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{24} = \frac{412}{24} = 17,17 \text{ од/год.}$$

Фактичне значення питомої витрати енергії становить:

$$d_{\phi} = \frac{W_{\phi}}{Q_{\phi}} = \frac{1276}{412} = 3,1 \text{ кВт}\cdot\text{год/од.}$$

З метою визначення ступеню впливу деякого параметра виробничих умов x на енергоспоживання агрегату, розраховують значення зміни споживаної потужності, на яку має бути скоригована його планова енергетична характеристика:

$$\Delta P = P_1 - P_0. \quad (4.27)$$

Для спрощення розрахунку зміни значення питомої витрати електричної енергії агрегатом робимо припущення, що значення зміни його споживаної потужності ΔP була визначена за середнього значення продуктивності A_{CP} , тоді:

$$\Delta d = \frac{\Delta P}{A_{CP}}. \quad (4.28)$$

Визначені таким чином планові зміни значення споживаної потужності та питомої витрати електричної енергії необхідно врахувати під час графічного коригування енергетичних характеристик агрегату.

Запишемо рівняння регресії (4.26), прийнявши замість X_2 його середнє значення X_{CP2} :

$$P_0 = 48,319 - 0,068 \cdot X_{CP2} = 48,319 - 0,068 \cdot 93,57 = 41,94 \text{ кВт}$$

Якщо параметр X_2 буде збільшено на 35 % (згідно завдання), то знайдемо нове (скореговане) рівняння регресії та рівняння для визначення питомої витрати електричної енергії:

$$P_1 = 48,319 - 0,068 \cdot (93,57 + 93,57 \cdot 0,35) = 39,71 \text{ кВт}$$

Значення зміни споживання потужності у разі збільшення технологічного параметру на 35 % згідно виразу (4.27):

$$\Delta P = P_1 - P_0 = 39,71 - 41,94 = -2,23 \text{ кВт}$$

Тобто, споживання електричної потужності у разі збільшення параметра X_2 на 35% зменшилось на 2,23 кВт (рис. 4.13).

Зміна величини питомої витрати електричної енергії агрегатом враховуючи раніше прийняте припущення згідно (4.28):

$$\Delta d = \frac{\Delta P}{A_{CP}} = \frac{-2,23}{12,86} = -0,174 \text{ кВт·год/од.}$$

Тобто, графік зміни питомої витрати електричної енергії агрегатом зміститься вниз на значення $\Delta d = 0,174$.

Графічне відображення коригування енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату та коригування енергетичної характеристики питомої витрати енергії агрегату наведені на рис. 4.14 та 4.15 відповідно.

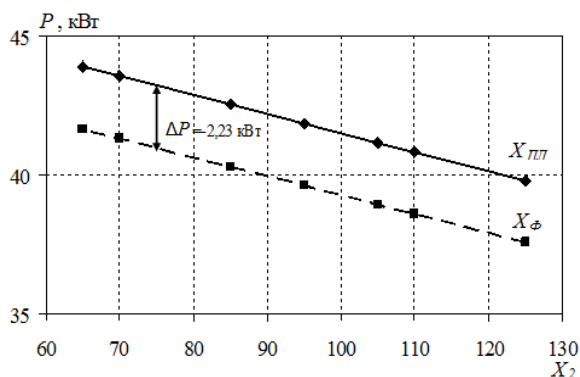


Рисунок 4.13. Порівняння планового та фактичного значення споживання електричної енергії у разі збільшення технологічного параметра X_2 на 35%

Як видно з побудованих графіків, зміна параметра X_2 на 35% спричиняє достатній вплив на значення витрат електричної енергії та питомої витрати енергії.

Оскільки $d_{\phi} > d_{пл}$, то встановлена норма була виконана.

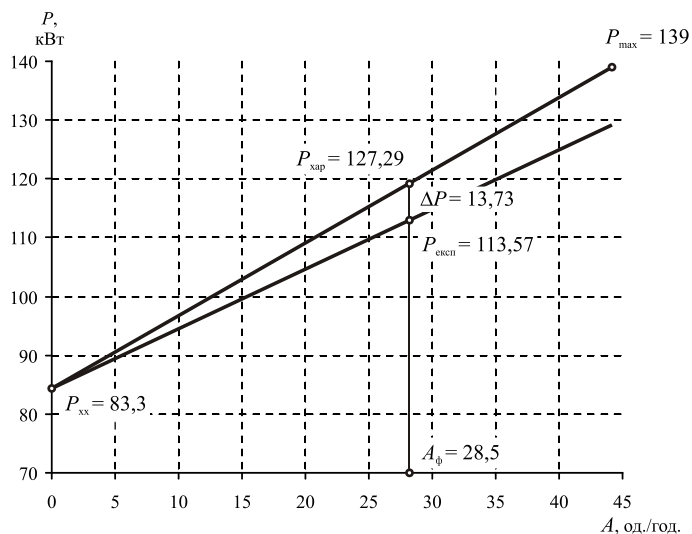


Рисунок 4.14. Коригування енергетичної характеристики підведеної потужності агрегату (ілюстрації до вар. 6)

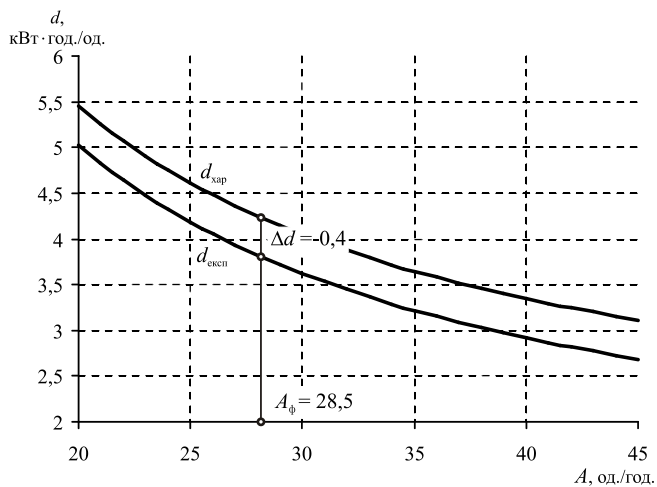


Рисунок 4.15. Коригування енергетичної характеристики питомої витрати енергії агрегату (ілюстрації до вар. 6)

Нормальне значення питомої витрати енергії $d_{НОРМ}$ визначають за фактичною продуктивністю з урахуванням змінених виробничих умов (пунктирна крива на рис. 4.14):

$$d_{НОРМ} = \frac{P_1}{A_\phi} = \frac{39,71}{17,17} = 2,31 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{од.}$$

Виходячи із рівняння планового значення питомої витрати електричної енергії та заданого у табл. Б. 2 дод.Б фактичного значення Q_ϕ , визначимо скориговану планову $W_{СК ПЛ}$ та нормальну $W_{НОРМ}$ витрати енергії:

$$W_{СК ПЛ} = d_{ПЛ} \cdot Q_\phi = 2,76 \cdot 412 = 1137,12 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{добу.}$$

$$W_{НОРМ} = d_{НОРМ} \cdot Q_\phi = 2,31 \cdot 412 = 951,72 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{добу.}$$

Визначимо загальне заощадження електричної енергії або перевитрату енергії, враховуючи задану у завданні W_ϕ :

$$\Delta W = W_{СК ПЛ} - W_\phi = 1137,12 - 1276 = -138,88 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{добу.}$$

Тобто, у випадку зміни технологічних параметрів ми отримали перевитрату електричної енергії, що становить 138,88 кВт·год/добу за заданого Q_ϕ .

Визначимо значення заощадженої електричної енергії або перевитрату енергії, отриману з причин, що не залежать від дій персоналу:

$$\Delta W_{НЕ ЗАЛ} = W_{НОРМ} - W_{СК ПЛ} = 951,72 - 1137,12 = -185,4 \text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{добу.}$$

Отримуємо значення перевитрат енергії у 185,4 кВт·год/добу. Це може бути обумовлене неналежним підтриманням якості сировини або матеріалів, параметрів технологічного процесу чи зовнішніх умов виробництва на об'єкті.

Визначаємо значення заощадженої електричної енергії або перевитрату енергії, отриману з причин, що залежать від дій персоналу:

$$\Delta W_{\text{ЗЛЛ}} = W_{\text{НОРМ}} - W_{\phi} = 951,72 - 1276 = -324,28 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}.$$

Отримуємо перевитрату енергії, отриману з причин, що залежать від дій персоналу 324,88 кВт·год/добу.

Загальна перевитрата енергії на об'єкті досліджень:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{НЕ ЗЛЛ}} + \Delta W_{\text{ЗЛЛ}} = -185,4 - 324,28 = -509,68 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}.$$

Аналогічно на графіку визначаємо:

$$\Delta d_{\text{НЕ ЗЛЛ}} = d_{\text{НОРМ}} - d_{\text{СК ПЛ}} = 2,31 - 2,76 = -0,45 \text{ кВт}\cdot\text{год/од}.$$

$$\Delta d_{\text{ЗЛЛ}} = d_{\text{НОРМ}} - d_{\phi} = 2,31 - 3,1 = -0,79 \text{ кВт}\cdot\text{год/од}.$$

Отже, на об'єкті за добу отримана перевитрата енергії в розмірі 509,68 кВт·год/добу: з причин, що не залежать від дій персоналу була допущена перевитрата, що становить 185,4 кВт·год/добу, а з причин, що залежать від дій персоналу перевитрата становила 324,88 кВт·год/добу.

В зв'язку з цим пропонуємо наступні заходи зі зменшення витрати електроенергії на об'єкті:

- належне підтримання якості сировини або матеріалів, параметрів технологічного процесу чи зовнішніх умов виробництва;
- контроль виконання співробітниками своїх обов'язків, пов'язаних з реалізацією запланованих заходів енергозбереження на об'єкті.

4.4. Побудова та функціонування системи контролю і планування споживання енергії

Згідно з традиційним підходом до застосування системи контролю і планування знаходження фактичних значень споживання енергії нижче лінії встановленого «стандарту», свідчить про його виконання, а також про те, що на об'єкті впродовж відповідного періоду контролю досягнуто відповідне енергоощадження (тобто за допомогою впровадженого на об'єкті енергоощадних заходів дійсно досягнуто бажаного результату).

Поява фактичних значень енергоспоживання, що перевищують лінію «стандарту», підтверджує те, що за відповідний період часу (тиждень) встановлений «стандарт» не був виконаний, тобто запланованого енергоощадження на об'єкті не було досягнуто.

Однак, у разі встановлення на будь-якому об'єкті складніших «стандартів» енергоспоживання, що є лінійними або нелінійними багатофакторними рівняннями регресії, застосовувати графічний спосіб контролю рівня ефективності використання палива чи енергії вже неможливо. У такому випадку для контролю досягнутих результатів енергозбереження в традиційних системах Контролю і планування використовують спеціальний графік, який в зарубіжній практиці називають графіком кумулятивної суми (CUSUM). Цей графік (рис. 4.15, б) характеризує тенденцію зміни у часі (накопичення) результатів енергоощадження, фактично досягнутих на об'єкті [12–14].

Побудова графіка кумулятивної суми ґрунтується на поступовому визначенні та накопиченні відхилень, які виникають між фактичними та прогнозними (отриманими на основі відповідного «стандарту») обсягами енергоспоживання на об'єкті. У такому випадку значення відхилення фактичного обсягу споживання енергії відносно встановленого для об'єкта «стандарту» енергоспоживання для деякого i -го періоду контролю становить:

$$\Delta W_i = W_{\text{ФАКТ}i} - W_{\text{ПР}i}, \quad (3.6)$$

де $W_{\text{ФАКТ}i}$ – фактичний обсяг споживання енергії за відповідний період;

$W_{\text{ПР}i}$ – прогнозне значення енергоспоживання за той же період, визначена за встановленим «стандартом».

Визначимо значення відхилень фактичних обсягів споживання електричної енергії агрегатом впродовж перших 7 діб його роботи (значення

W_1 з вихідних даних) від встановленого "стандарту" енергоспоживання (табл. 4.12).

Таблиця 4.12. Розрахунок значень відхилення фактичних обсягів споживання електроенергії агрегатом впродовж перших 7 днів від встановленого "стандарту" енергоспоживання

№ доби	$W_1 = W_{\text{ФАКТ}},$ кВт·год/добу	$W_{\text{ПР}},$ кВт·год/добу	$\Delta W_i = W_{\text{ФАКТ}i} - W_{\text{ПР}i}$
1	817	955,15	-138,15
2	983	979,69	3,31
3	1101	987,87	113,13
4	1156	1004,23	151,77
5	947	1020,59	-73,59
6	1152	1045,13	106,87
7	890	1053,31	-163,31

Значення кумулятивної суми відхилень фактичної витрати енергії ΔW_i на k -му кроці контролю виконання встановленого «стандарту» енергоспоживання потрібно розраховується за формулою:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k, \quad (4.29)$$

де $\Delta W_{\Sigma k}$ – сумарне відхилення споживання енергії від його «стандартних» значень, отриманих впродовж минулих k періодів контролю; ΔW_i – відхилення енергоспоживання від «стандартного» на i -му кроці контролю; $\Delta W_{\Sigma k-1}$ – сумарне відхилення фактичних обсягів споживання енергії від «стандартних», отримане протягом минулих $k-1$ періодів контролю; ΔW_k – відхилення енергоспоживання від його «стандартного» значення на k -му кроці контролю.

Методику побудови графіка кумулятивної суми [13; 14; 16] можна проілюструвати за допомогою рис. 4.16. Таким чином, графік кумулятивної суми має вигляд ламаної лінії (рис. 4.16), точки зламів якої відповідають розрахованим значенням $\Delta W_{\Sigma k}$ (4.29). У такому разі контроль результатів впровадження будь-якого заходу з енергоощадження з використанням графіка кумулятивної суми також здійснюється візуально, на основі аналізу загальної тенденції зміни у часі величини кумулятивної суми.

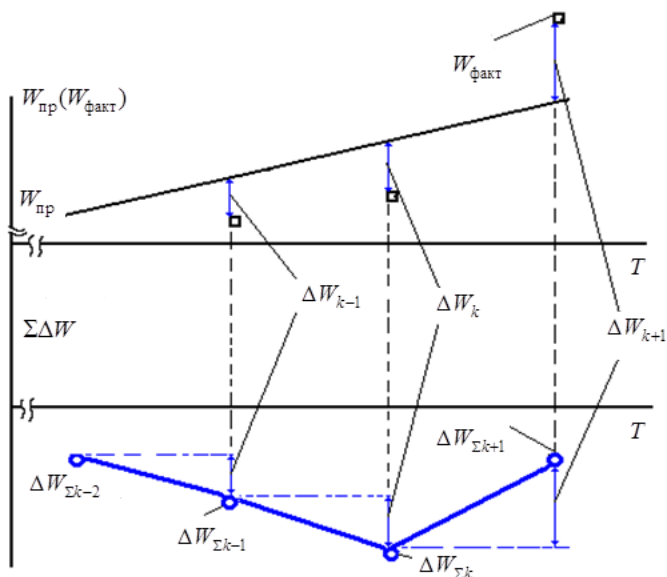


Рисунок 4.16. Приклад побудови графіка кумулятивної суми

Від’ємна величина $\Delta W_{\Sigma k}$, знайдена на кожному кроці контролю, свідчить про те, що встановлений «стандарт» енергоспоживання виконується, а також на об’єкті протягом відповідного періоду контролю досягнуто заплановане енергозбереження. Очевидно, що за такого, позитивного результату контролю втручатися персоналу в роботу об’єкта не потрібно, і в системі Контролю та планування може виконуватися наступний крок контролю енергоефективності.

Поява ж додатного значення величини $\Delta W_{\Sigma k}$ на будь-якому кроці контролю свідчить про те, що за відповідний період часу встановлений «стандарт» не був виконаний, тобто заплановане енергозбереження на об'єкті не було досягнуте. За такого від'ємного результату контролю потрібне обов'язкове оперативне втручання в роботу об'єкта персоналу, завданням якого є виявлення та усунення причин невиконання встановленого «стандарту» споживання енергії. Як показує практика, основними з таких причин можуть бути людський фактор (тобто невиконання співробітниками своїх обов'язків, пов'язаних з реалізацією запланованого заходу енергозбереження на об'єкті), поява деяких об'єктивних причин, що призвели до невиконання «стандарту» енергоспоживання або до зменшення обсягу енергозбереження (наприклад, зміна якості сировини або матеріалів, параметрів технологічного процесу чи зовнішніх умов виробництва).

Однією з причин невиконання встановленого «стандарту» споживання енергії може бути недосконалість самого «стандарту», у якому, починаючи з деякого часу, можуть не враховуватися стабільні об'єктивні зміни, що відбулися на об'єкті. Тобто однією з можливих дій персоналу у випадку появи від'ємного результату контролю рівня ефективності енерговикористання може бути встановлення нового «стандарту» електроспоживання для об'єкта.

Періодично встановлювати новий «стандарт» енергоспоживання можливо і доцільно також у разі позитивних результатів контролю за умови, що на об'єкті впродовж тривалого часу спостерігають стабільне енергозбереження, тобто за допомогою реалізованого на об'єкті заходу енергозбереження систематично досягають очікуваного результату. У такому разі графік кумулятивної суми має стійку тенденцію до зниження.

У цьому випадку новий «стандарт» споживання енергії встановлюють на підставі фактичних обсягів енергоспоживання, досягнутих на об'єкті в

результаті впровадження відповідного заходу енергозбереження. Після цього на об'єкті виявляється і реалізується наступний захід енергозбереження і процес контролю результатів його впровадження здійснюється вже за новим «стандартом».

Таким чином, у системі контролю і планування забезпечується підтримка на заданому рівні ефективності енерговикористання на об'єкті, а також поступове підвищення цього рівня. За аналогією до нормування питомих витрат енергії такий процес можна назвати поступовою «нормалізацією» енергоспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Соловей О.І. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін. – М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
2. Енергетична ефективність систем електропостачання: монографія / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – 2-ге вид., переробл. і допов. – Дніпро: НТУ «ДП», 2018. – 148 с.
3. Канюк Г.І., Пугачова Т.М., Без'язичний В.Ф., Близниченко О.М., Шматков Д.І. Основи енерго- і ресурсозбереження: навчальний посібник. – Харків: друкарня “Мадрид”, 2016. – 230 с.
4. Серебренніков Б.С. Управління режимом електроспоживання промислових споживачів з використанням технологічного ресурсу / Б.С. Серебренніков, К.Г. Петрова // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – № 1. – С. 70 – 76.
5. Енергозбереження: навчальний посібник. Краснянський М.Ю. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. – 136 с.
6. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти: колективна монографія / Кол. авторів; за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава: ПП “Астрія”, 2019. – 603 с.
7. Pooley John. Quick Start Guide to Energy Monitoring & Targeting (M&T) [Електронний ресурс] / John Pooley // Effective Energy Management Guide. – 2005. – Режим доступу : <http://www.oursouthwest.com/SusBus/susbus9/m&tguide.pdf>.
8. Computer Based Monitoring And Targeting On A Hot Rolling Mill // Energy Efficiency Enquiries Bureau, ETSU, Harwell, Oxfordshire, OX11. Best Practice Programme. – 1992. – 26 p.
9. Waste avoidance methods / Energy Efficiency Office. Best Practice Programme. Fuel Efficiency Booklet 13. Crown copyright. – 1995. – 18 p.
10. Monitoring and Targeting in large companies // Energy Efficiency Enquiries Bureau, ETSU, Harwell, Oxfordshire, OX11. Good Practice Guide 112. – 1998. – 45p.
11. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) / Phil Jones // Fundamental Series. – 2004. – №7. – P.29–32.
12. Організаційно-економічний механізм енергозбереження : монографія / Ю. В. Дзядикович, В. Я. Брич, В. В. Джеджула [та ін.]. Тернопіль : ТНЕУ, 2018. 154 с. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22371>
13. Контроль ефективності енерговикористання в системі

енергетичного менеджменту / В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, Д. О. Іванько // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2013. - № 6. - С. 67-77. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vknutd_2013_6_10

14. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. – Режим доступу :zakon1.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc

15. Dzyadykevych Y. V. The Directions in Increasing Energy Security of Ukraine // The Advanced Science Journal. – ISSUE 9. – 2014. p. 123-127.

16. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір «Методика побудови оптимальних розрахункових моделей балансів споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів» / В.Ф.Находов, О.В. Бориченко. – № 38503 ; заявл. 14.04.2011 ; зареєстр. 26.05.2011, Бюл. №25.

17. Контроль ефективності енерговикористання, Методи контролю ефективності енерговикористання [Текст] : метод. вказівки до виконання розрахункової роботи для студ. усіх форм навчання напрямів підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»; 6.050601 «Теплоенергетика»; 7.05070103; 8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання» / Уклад.: В. Ф. Находов, О. В. Бориченко. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 60 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. Титульний аркуш курсового проекту

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з курсу: *«Енергозберігаючі режими електропостачання»*

на тему: *«Контроль ефективності використання електричної енергії в агрегатах з розробленим заходом із заощадження електричної енергії»*

Студента У курсу групи ЕЕ-17-М
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації «Електротехнічні системи
електроспоживання»

Керівник

к.т.н., доц. Петрова К.Г.

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка:

ECTS

Члени комісії

_____ *Плещиков П.Г.*
(підпис)

_____ *Петрова К.Г.*
(підпис)

_____ *Савеленко І.В.*
(підпис)

м. Кропивницький – 20__ рік

ДОДАТОК Б. Приклад вихідного завдання на курсовий проект

Варіант № 7

Тема курсового проекту:

"Контроль ефективності використання електричної енергії в агрегатах з розробленням заходів із заощадження електричної енергії в індукційних установках"

Звітні дані про фактичний обсяг випуску продукції (Q), фактичне споживання електроенергії по агрегату (W_1) і відповідні значення технологічних параметрів (X_1 і X_2) наведено в табл.Б.1. Планові значення продуктивності агрегату та технологічних параметрів наведено в табл.Б.2.

Таблиця Б.1. Дослідні дані агрегату за тиждень

№ варіанта	$P_{нх}$, кВт	Номер доби	1	2	3	4	5	6	7
7	15	Q , од./добу	160	188	245	322	375	418	452
		W_1 , кВт·год./добу	817	983	1101	1156	947	1152	890
		W_2 , кВт·год./добу	598	764	882	937	728	933	671
		Параметр X_1	105	141	183	222	264	306	347
		Параметр X_2	125	110	105	95	85	70	65

Таблиця Б.2. Планові значення продуктивності агрегату та технологічних параметрів

Показники	Q , од.прод./добу	X	W_1 , кВт·год./добу
Планові	390 (перерви неприпустимі)	X характ.	-
Змінені за об'єктивними причинами	412	Збільшено на 35%	-
Фактичні	412	Збільшено на 35%	1276

ДОДАТОК В. Варіанти завдань курсового проекту

Таблиця В.1. Звітні дані щодо фактичного обсягу випущеної продукції агрегатом та його фактичне електроспоживання

№ ва ріа нт а	P_{xx} кВт	Номер добы	1	2	3	4	5	6	7
1	39	Q,од/доб	720	960	1200	1440	1680	1920	2160
		W1,кВт год за добу	3153	4203	6231	7832	9217	15069	17693
		W2, кВт год за добу	2430	3480	5508	7109	8494	14346	16970
		X1	111	153	135	124	186	213	237
		X2	51	55	47	43	38	32	26
2	76	Q,од/доб	423	499	723	1024	757	913	797
		W1,кВт год за добу	2511	2799	2367	2751	3015	2967	2367
		W2, кВт год за добу	2147	2435	2003	2387	2651	2603	2003
		X1	85	80	75	70	65	60	55
		X2	125	161	203	244	286	322	367
3	635	Q,од/доб	3360	3840	4320	4800	5280	5760	6240
		W1,кВт год за добу	33864	35498	43361	41642	45463	45859	45353
		W2, кВт год за добу	30282	31916	39779	38060	41881	42277	41771
		X1	202	221	240	265	283	304	322
		X2	101	98	84	79	68	55	46
4	106	Q,од/доб	1200	1440	1920	2400	2880	3360	3840
		W1,кВт год за добу	5987	5394	10775	12064	12736	22835	23603
		W2, кВт год за добу	5314	4721	10102	11391	12063	22162	22930
		X1	89	121	163	204	245	283	326

№ ва ріа нт а	Р _{хх} кВт	Номер добы	1	2	3	4	5	6	7
		X2	159	151	164	168	173	178	185
5	65	Q,од/доб	707	836	765	457	799	723	453
		W1,кВт год за добу	2851	2443	3043	2563	2707	2395	2371
		W2, кВт год за добу	2523	2115	2715	2235	2379	2367	2043
		X1	304	281	265	243	220	206	187
		X2	25	30	35	40	45	50	55
6	81	Q,од/доб	515	1045	1059	1001	502	608	1026
		W1,кВт год за добу	2520	2952	3144	3336	2736	3000	3696
		W2, кВт год за добу	2099	2531	2723	2915	2315	2579	3275
		X1	201	253	302	354	405	456	507
		X2	60	55	50	45	40	35	30
7	15	Q,од/доб	160	188	245	322	375	418	452
		W1,кВт год за добу	817	983	1101	1156	947	1152	890
		W2, кВт год за добу	598	764	882	937	728	933	671
		X1	105	141	183	222	264	306	347
		X2	125	110	105	95	85	70	65
8	11	Q,од/доб	192	240	288	336	384	432	480
		W1,кВт год за добу	534	496	565	784	706	1035	1970
		W2, кВт год за добу	275	237	306	525	447	776	1711
		X1	208	224	245	263	281	302	324
		X2	52	58	56	63	67	71	83
9	18	Q,од/доб	168	192	240	312	360	408	432
		W1,кВт год за добу	950	1180	1290	1326	1245	1202	1080
		W2, кВт	828	1055	1140	1185	1133	1065	932

№ ва ріа нт а	Р _{хх} кВт	Номер добы	1	2	3	4	5	6	7
		год за добу							
		X1	13	11	14	12	18	16	12
		X2	9,3	8,5	8,7	8,2	7,8	7,1	6,9
10	98	Q,од/доб	423	499	723	1024	757	913	797
		W1,кВт год за добу	3743	4031	3599	3983	4247	4199	3599
		W2, кВт год за добу	3368	3656	3224	3608	3872	3824	3224
		X1	85	80	75	70	65	60	55
		X2	127	166	205	244	283	322	361
11	116	Q,од/доб	645	584	926	398	448	900	475
		W1,кВт год за добу	3749	4277	3917	3845	3557	4325	3869
		W2, кВт год за добу	3230	3758	3398	3326	3038	3806	3350
		X1	85	80	75	70	65	60	55
		X2	121	143	165	187	202	224	246
12	40	Q,од/доб	192	240	288	336	384	432	480
		W1,кВт год за добу	2152	2114	2143	2702	2824	2853	3508
		W2, кВт год за добу	1327	1289	1318	1877	1999	2028	2683
		X1	120	122	124	126	128	130	132
		X2	50	55	60	65	70	75	80
13	60	Q,од/доб	720	960	1200	1440	1680	1920	2160
		W1,кВт год за добу	4935	8355	8590	19611	14796	14648	15272
		W2, кВт год за добу	2341	5761	5996	8017	12202	12054	12678
		X1	110	112	114	116	118	120	122
		X2	55	50	45	40	35	30	25
14	168	Q,од/доб	1440	1920	2880	3840	4800	5760	6720
		W1,кВт	8637	14397	15275	27534	31756	47243	47814

№ ва ріа нт а	Р _{хх} кВт	Номер добы	1	2	3	4	5	6	7
		год за добу							
		W2, кВт год за добу	5418	11178	12056	24315	28537	44024	44595
		X1	185	180	175	170	165	160	155
		X2	251	302	353	404	455	506	557
15	306	Q,од/доб	1200	1440	1920	2400	2880	3360	3840
		W1,кВт год за добу	10027	9434	14815	16104	16776	26875	27643
		W2, кВт год за добу	7176	6583	11964	13253	13925	24024	24792
		X1	87	125	163	201	246	284	322
		X2	150	155	160	165	170	175	180
16	115	Q,од/доб	515	1045	1059	1001	502	608	1026
		W1,кВт год за добу	3733	4165	4357	4549	3949	4213	4909
		W2, кВт год за добу	3017	3449	3641	3833	3233	3497	4193
		X1	120	125	130	135	140	145	150
		X2	60	55	50	45	40	35	30
17	35	Q,од/доб	168	192	240	312	360	408	432
		W1,кВт год за добу	1804	1965	2133	2140	1965	2124	1912
		W2, кВт год за добу	1447	1608	1776	1783	1608	1767	1555
		X1	110	112	114	116	118	120	122
		X2	95	90	85	80	75	70	65
18	28	Q,од/доб	160	188	245	322	375	418	452
		W1,кВт год за добу	1786	1952	2070	2125	1916	2121	1859
		W2, кВт год за добу	1497	1663	1781	1836	1627	1832	1570

№ ва ріа нт а	P _{xx} кВт	Номер доби	1	2	3	4	5	6	7
		X1	110	114	118	122	126	130	134
		X2	125	110	105	95	85	70	65
19	265	Q,од/доб	1200	1440	1920	2400	2880	3360	3840
		W1,кВт год за добу	9891	9298	14679	15968	16640	26739	27507
		W2, кВт год за добу	7758	7165	12546	13835	14507	24606	25374
		X1	118	112	116	120	124	128	132
		X2	150	155	160	165	170	175	180
20	28	Q,од/доб	240	360	480	600	720	840	960
		W1,кВт год за добу	1447	1414	1697	1829	2571	2664	3543
		W2, кВт год за добу	510	477	760	891	1634	1727	2606
		X1	85	80	75	70	65	60	55
		X2	115	120	125	130	135	140	145

Таблиця В.2. Планові та фактичні дані щодо кількості випущеної продукції агрегатом, його електроспоживання та технологічні параметри за добу

Номер варіанта	Показники	Q,од/доб	X	W, кВт год за добу
1	планові	1850 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	1526	Збільшено на 42%	---
	фактичні	1526	Збільшено на 42%	8791
2	планові	680 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	835	Зменшено на 25%	---

Номер варіанта	Показники	Q, од/доб	X	W, кВт год за добу
	фактичні	835	Зменшено на 25%	2837
3	планові	5500(перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	4890	Зменшено на 34%	---
	фактичні	4890	Зменшено на 34%	45368
4	планові	3500 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	2635	Збільшено на 32%	---
	фактичні	2635	Збільшено на 32%	15321
5	планові	750 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	525	Зменшено на 40%	---
	фактичні	525	Зменшено на 40%	2396
6	планові	950 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	684	Збільшено на 38%	---
	фактичні	684	Збільшено на 38%	3521
7	планові	390 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	412	Збільшено на 35%	---
	фактичні	412	Збільшено на 35%	1276
8	планові	395(перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними	427	Зменшено на 38%	---

Номер варіанта	Показники	Q, од/доб	X	W, кВт год за добу
	причинами фактичні	427	Зменшено на 38%	985
9	планові	250 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	186	Зменшено на 21%	---
	фактичні	186	Зменшено на 21%	933
10	планові	850 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	625	Зменшено на 50%	---
	фактичні	625	Зменшено на 50%	4324
11	планові	740 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	518	Збільшено на 40%	---
	фактичні	518	Збільшено на 40%	3919
12	планові	380 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	275	Зменшено на 45%	---
	фактичні	275	Зменшено на 45%	2536
13	планові	1950 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	1729	Зменшено на 38%	---
	фактичні	1729	Зменшено на 38%	15403
14	планові	3650 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	5230	Збільшено на 40%	---

Номер варіанта	Показники	Q, од/доб	X	W, кВт год за добу
	фактичні	5230	Збільшено на 40%	38235
15	планові	3550 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	2750	Зменшено на 42%	---
	фактичні	2750	Зменшено на 42%	18658
16	планові	650 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	795	Збільшено на 40%	---
	фактичні	795	Збільшено на 40%	4425
17	планові	390 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	265	Збільшено на 45%	---
	фактичні	265	Збільшено на 45%	2384
18	планові	340 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	437	Збільшено на 35%	---
	фактичні	437	Збільшено на 35%	23462
19	планові	2905 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за об'єктивними причинами	3635	Збільшено на 32%	---
	фактичні	3635	Збільшено на 32%	29654
20	планові	900 (перерви не допускаються)	X характерне	---
	зміни за	690	Збільшено на	---

Номер варіанта	Показники	Q,од/доб	X	W, кВт год за добу
	об'єктивними причинами		50%	
	фактичні	690	Збільшено на 50%	2995

ДОДАТОК Г. Приклад побудови енергетичної діаграми роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками та визначення планової питомої витрати електричної енергії

Планове значення продуктивності агрегату:

$$A_{\text{пл}} = \frac{Q_{\text{пл}}}{24} = \frac{950}{24} = 39,58 \approx 40 \text{ од./год.} \quad (\text{Г.1})$$

Енергетична діаграма роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності має вигляд, наведений на рис. Г.1.

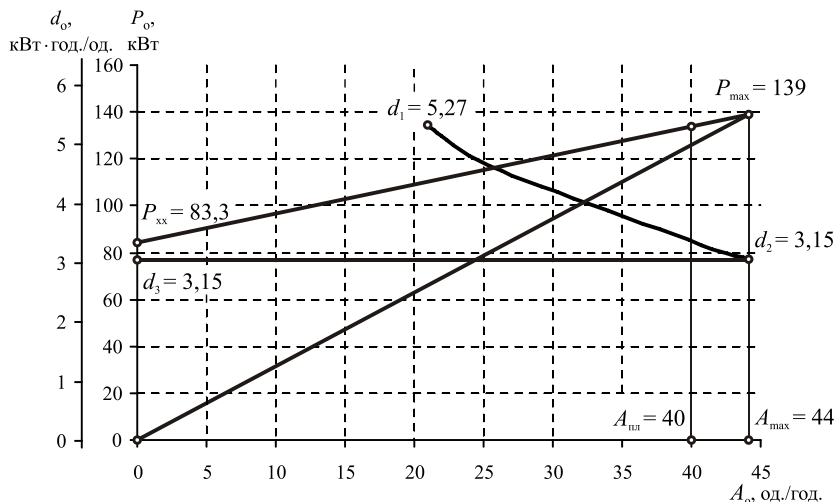


Рисунок Г.1. Енергетична діаграма роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками

Пряма $P_{xx} - P_{\max}$ на діаграмі характеризує безперервну роботу обладнання протягом усього періоду часу T_o . У точці $P_{\max} = 139$ кВт цієї прямої агрегат працює з максимальною годинною продуктивністю $A_{\max} = 44$ од./год..

Зазначений прямий на діаграмі питомої витрати енергії відповідає крива

$d_1 - d_2$. У точці $d_2 = 3,15$ кВт/од., що відповідає умові $A_o = A_{\max} = 44$ од./год., питома витрата енергії має найменшу величину.

Пряма $0 - P_{\max}$ відповідає переривчастому режиму роботи обладнання з постійною годинною продуктивністю $A_{\max} = 44$ од./год, і з повним вимкненням агрегату на час перерв. На діаграмі питомої витрати енергії цьому режиму відповідає пряма $d_3 - d_2$.

Таким чином, в результаті аналізу енергетичної діаграми агрегату (рис. Г.1) можна зробити висновок про те, що з точки зору витрати енергії доцільніше експлуатувати агрегат в режимі безперервної роботи з постійним навантаженням $A_{\max} = 44$ од./год., за якої забезпечується найменша величина питомої витрати енергії $d = 3,15$ кВт·год./од.

Проте, як показали надскладні розрахунки, значення планової продуктивності $A_{\text{пл}} = 42$ од./год є дещо меншим, за максимальне $A_{\max} = 44$ од./год. Тому перевагу слід віддати режиму роботи агрегату з постійним навантаженням і дещо зниженою продуктивністю $A_o = A_{\text{пл}} = 42$ од./год. (залежність $P_{\text{xx}} - P_{\max}$). Це пов'язано як з додатковими втратами енергії, що можуть виникати при роботі зі змінним навантаженням, так і з метою забезпечення нормального технічного стану обладнання і зручності його експлуатації.

Планова потужність агрегату, $P_{\text{пл}}$, кВт:

$$P_{\text{пл}} = 84,33 + 1,239 A_{\text{пл}} = 84,33 + 1,239 \cdot 40 = 133,9 \text{ кВт.}$$

Планова питома витрата електроенергії, $d_{\text{пл}}$:

$$d_{\text{пл}} = \frac{84,33}{A_{\text{пл}}} + 1,239 = \frac{84,33}{40} + 1,239 = 3,37 \text{ кВт·год/од.}$$

З результатів проведених розрахунків видно, що у випадку планової продуктивності спостерігається перевитрата електроенергії ($d_{\text{пл}} = 3,37 > d_{EK} = 3,15$ кВт·год/од).

ДОДАТОК Д. Приклад побудови енергетичної діаграми обладнання з опуклими характеристиками та визначення планової питомої витрати електричної енергії

Для обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності під час роботи зі змінним навантаженням середньогодинне значення підведеної потужності й середньогодинна питома витрата енергії за заданої середньогодинної продуктивності A_n не дорівнюють підведеній потужності й питомій витраті енергії під час роботи агрегату з постійною годинною продуктивністю $A=A_n$. Різниця між вказаними значеннями підведеної потужності характеризує в даному випадку не додаткові витрати, а значення заощадженої енергії у разі змінного режиму навантаження у порівнянні з режимом роботи з постійним навантаженням.

Витрату енергії за період T_0 (без урахування пускових витрат) визначаємо за виразом (4.20). Оскільки, у випадках простоїв чи перерв з вимкненням обладнання енергія не витрачається, то характеристика середньокалендарної підведеної потужності і питомої витрати енергії визнаємо за (4.21). Рівняння (4.21) відрізняються від раніше отриманих тим, що вони містять дві змінні величини: A_0 і k_t . Отже, вони описують вже не лінії, а області зміни значень P_0 і d_0 . Ці області визначаються енергетичними діаграмами обладнання.

Планове значення продуктивності агрегату:

$$A_0 = \frac{Q_{пл}}{24} = \frac{390}{24} = 16,25 \approx 16 \text{ од./год.}$$

Енергетична діаграма роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності має вигляд, наведений на рис. Д.1.

Область $P_{нр}-P_{\min}-P_0-P_{\max}$ характеризує безперервну роботу агрегату з різними режимами навантаження. Точка $P_{\max} = 39,94$ кВт відповідає безперервній роботі з постійним навантаженням, що дорівнює максимальній

годинній продуктивності обладнання $A_{\max}=18,83$ од/год, за якої значення питомої витрати енергії буде найменшим $d_1 = 2,12$ кВт/од.

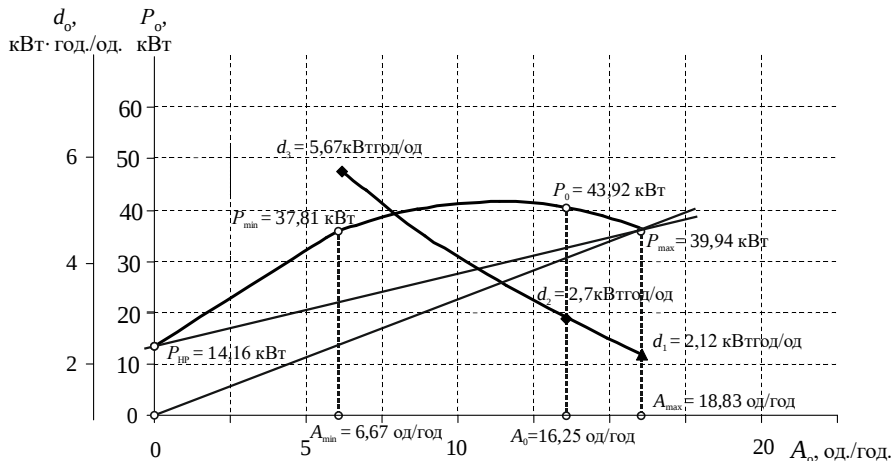


Рисунок Д.1. Енергетична діаграма для обладнання безперервної дії з опуклими характеристиками підведеної потужності

Крива $P_{HX}-P_o-P_{\max}$ відповідає безперервній роботі обладнання в режимі постійного навантаження, який є найменш економічним з енергетичної точки зору за будь-яких умов, оскільки йому за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності відповідає найбільше значення середньокалендарної підведеної потужності P_o .

Пряма $P_{HX}-P_{\max}$ характеризує безперервну роботу агрегату з чергуванням корисної роботи за максимальної годинної продуктивності $A_{\max}$ з періодами неробочого ходу обладнання. Цей режим в умовах безперервної роботи агрегату за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності з точки зору споживання енергії є економічним, ніж робота з постійним навантаженням, що дорівнює тій самій середньокалендарній продуктивності $A_o=16,25$ од/год. Пряма $0-P_{\max}$ відповідає переривчастому режиму роботи обладнання з чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності $A_{\max}$ і перерв з повним вимкненням агрегату. Цей

режим з енергетичної точки зору є найекономічним за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності, меншої, ніж його максимальна годинна продуктивність.

На підставі енергетичної діаграми обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності можна зробити такі висновки:

1. Безперервна робота агрегату з постійним навантаженням з точки зору витрати енергії доцільна лише у разі, коли виробнича програма дозволяє навантажити обладнання на значення його максимальної годинної продуктивності $A_{\max}$ впродовж усього календарного періоду часу T_o .

2. За безперервної роботи обладнання, виходячи з умов виробництва, і заданій неповній середньокалендарній продуктивності агрегату $A_o < A_{\max}$, з точки зору витрати енергії найдоцільніше експлуатувати його в режимі чергування періодів роботи за максимальної годинної продуктивності з періодами неробочого ходу або з роботою за мінімальної годинної продуктивності обладнання.

3. У тих самих умовах неповного завантаження обладнання випуском продукції ($A_o < A_{\max}$), але допустимості переривчастої роботи, з енергетичної точки зору найдоцільніше переходити на переривчастий режим роботи агрегату з чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності й перерв з повним вимкненням обладнання.

Тобто, незважаючи на різні можливі режими роботи обладнання безперервної дії доцільними з енергетичної точки зору є такі чотири режими:

1. Для обладнання з опуклими характеристиками безперервна робота доцільна лише за постійного навантаження, яке дорівнює максимальній годинній продуктивності агрегату.

2. Режим роботи з перервами, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності агрегату з періодами неробочого ходу обладнання або роботою з мінімальною

годинною продуктивністю. Цей режим є допустимим в умовах обов'язкової безперервної роботи для обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності.

3. Режим з перервами, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи за максимальної або економічної годинної продуктивності агрегату й перерви у роботі з повним вимкненням обладнання.

У всіх розглянутих режимах, окрім безперервної роботи обладнання із змінним навантаженням, питома витрата енергії є постійною величиною за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності агрегату. Таким чином, встановивши конкретний режим роботи обладнання, легко визначити за його енергетичною характеристикою норму питомої витрати енергії, яка точно відповідає вибраному режиму та заданій середньокалендарній продуктивності агрегату.

Планова потужність агрегату, $P_{пл}$, кВт:

$$P_{пл} = 14,164 + 4,74 \cdot A_{пл} - 0,179 \cdot A_{пл}^2 = 14,164 + 4,74 \cdot 16 - 0,179 \cdot 16^2 = 44,18 \text{ кВт.}$$

Планова питома витрата електроенергії, $d_{пл}$:

$$d_{пл} = \frac{14,164}{A_{пл}} + 4,74 - 0,179 \cdot A_{пл} = \frac{14,164}{16} + 4,74 - 0,179 \cdot 16 = 2,76 \text{ кВт} \cdot \text{год/од.}$$

З результатів проведених розрахунків видно, що у разі планової продуктивності спостерігаємо перевитрату електроенергії ($d_{пл}=2,7 > d_{ЕК}=2,12$ кВт·год/од).