

Я.С. Бедерак

ПРО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ

Метою дослідження є обґрунтування вибору найбільш доцільних економіко-математичних методів забезпечення енергоефективного режиму роботи виробничих об'єктів. Розглянуті методи можуть бути використані для вибору найкраще працюючих технологічних ліній, агрегатів, насосних, компресорних, вентиляторних установок, або інших електроприймачів з декількох їм подібних за критеріями рівної та нерівної ваги. Описано спосіб контролю енергоефективності роботи виробничих об'єктів в трикутних координатах у випадку, коли електричне навантаження залежить від двох параметрів при наявності їх граничних обмежень. Наведено приклад порівняння ефективності роботи виробничих об'єктів хімічної промисловості методами апріорного ранжування та морфологічним (геометричним). Зроблений висновок про те, що тотожність поточного значення енергоспоживання з розрахованим методом Хольта прогнозованим значенням при визначених заздалегідь оптимальних сталих згладжування визначає стабільність роботи технологічного процесу. Доведена доцільність застосування коефіцієнту автокореляції першого порядку вибірок електроспоживання для перевірки технологічних процесів на стабільність роботи. Бібл. 10, табл. 3, рис. 5.

Ключові слова: електроспоживання, критерії рівної та нерівної ваги, коефіцієнт автокореляції, енергоефективність.

Целью исследования является обоснование выбора наиболее целесообразных экономико-математических методов обеспечения энергоэффективного режима работы производственных объектов. Рассмотренные методы могут быть использованы для выбора наиболее энергоэффективных технологических линий, агрегатов, насосных, компрессорных, вентиляторных установок или других электроприемников с нескольких им подобных по равновесным и неравновесным критериям. Приведен пример сравнения эффективности работы производственных объектов химической промышленности методами априорного ранжирования и морфологическим (геометрическим). Описан способ контроля энергоэффективности работы производственных объектов в случае, когда электрическая нагрузка зависит от двух параметров при наличии предельных ограничений их, используя треугольные координаты. Сделан вывод о том, что тождество текущего значения энергопотребления с рассчитанным методом Хольта прогнозируемым значением при определенных заранее оптимальных постоянных сглаживания определяет стабильность работы технологического процесса. Доказана целесообразность применения коэффициента автокорреляции первого порядка выборок электропотребления для проверки технологических процессов на стабильность работы. Библ. 10, табл. 3, рис. 5.

Ключевые слова: электропотребление, равновесные и неравновесные критерии, энергоэффективность, коэффициент автокорреляции.

Вступ. В промисловості часто необхідно порівняти енергоефективність подібних за будовою та функціональним призначенням двох або більше виробничих об'єктів, наприклад, технологічних ліній, агрегатів, насосних, компресорних, вентиляторних або інших установок за декількома критеріями (параметрами), щоб обрати найкраще працюючий агрегат. Для цього користуються критеріями як рівної, так і нерівної ваги. Аналогічно в практичній діяльності треба вирішувати завдання визначення моменту часу на протязі зміни, доби, декади, місяця тощо, у якому виробничий об'єкт працював найефективніше (або навпаки). Необхідно забезпечувати в режимі реального часу енергоефективність виробничих об'єктів. Ці задачі пропонується вирішувати за допомогою відомих економіко-математичних методів та параметрів.

Метою роботи є обґрунтування вибору найбільш доцільних економіко-математичних методів для забезпечення енергоефективного режиму роботи виробничих об'єктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Статистичний аналіз даних в електропостачальних системах (ЕПС) промислових підприємств впровадив М.А. Денисенко в роботі [1]. Такий підхід доцільно застосовувати для інших енергоресурсів [2].

Методи прийняття рішень за критеріями рівної та нерівної ваги розглянуті в роботі [3]. В цій роботі

запропоновано обирати оптимально працюючий технічний об'єкт за допомогою процедури побудови функції корисності. Для забезпечення та контролю над енергоефективністю режиму роботи технологічних процесів доцільно застосовувати контрольні карти Шухарта [4].

Матеріал і результати досліджень. Дослідження довели, що для забезпечення енергоефективного режиму роботи виробничих об'єктів необхідно проводити такі заходи:

1. *Моніторинг ефективності ведення технологічного процесу у разі, коли електричне навантаження залежить від двох параметрів.*

Серед усіх методів візуалізації та контролю за технологічним процесом у разі, коли електричне навантаження залежить від двох параметрів, найпростішим є метод використання трикутних координат [5]. На рис. 1 наведений приклад побудови трикутної системи координат для поршньового повітряного компресора, навантаження якого (відкладається по вісі p) залежить прямо пропорційно від тиску (вісь m) в системі і температури повітря в компресорі (вісь n). В результаті перетину трьох довільних прямих побудований рівносторонній трикутник АВС. Він називається базисом трикутної системи координат. Осі координат, а отже і координати точок, позначаються буквами m , n і p .

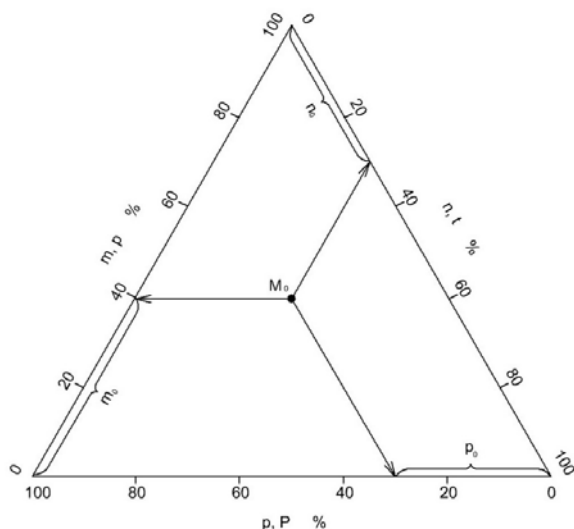


Рис. 1. Приклад побудови трикутних систем координат для поршневого повітряного компресора, навантаження якого залежить прямо пропорційно від тиску в системі і температури повітря в компресорі

Використовуючи трикутні координати, зручно здійснювати контроль за технологічним процесом, наприклад, за режимом роботи поршневого повітряного компресора (рис. 2). Електроспоживання його залежить від тиску в системі стислого повітря та температура стислого повітря в системі.

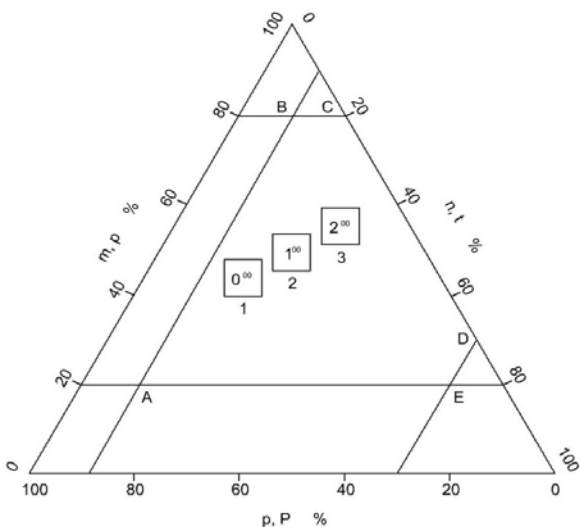


Рис. 2. Приклад ведення технологічного процесу за діаграмою в трикутних координатах

На вісі m відкладений тиск в системі стислого повітря у відсотках, по вісі n – температура стислого повітря в системі у відсотках, по вісі p – потужність компресора в різні моменти часу у відсотках. При роботі компресора існує ряд обмежень: граничний інтервал по тиску у відсотках 20-80 %, по температурі 0-70 %, по потужності 0-90 %. Діаграма технологічного процесу (рис. 2) показує, що процес повинен вестися в межах фігури ABCDEA. Чим ближче знаходиться до початку осі p (потужність у відсотках), тим ефективніше працює компресор [5].

2. Порівняння енергоефективності виробничих об'єктів, енергоспоживання яких залежить від великої кількості різних факторів рівної ваги.

Енергоспоживання виробничих об'єктів може залежати від великої кількості різних факторів рівної ваги. Для порівняння енергоефективності виробничих об'єктів за частковими (що характеризують тільки одну рису об'єкту) критеріями рівної ваги можливо застосовувати або адитивний, або мультиплікативний узагальнені критерії [3]. Під критерієм мають на увазі вихідний контрольований параметр, що характеризує ступінь досягнення поставленої мети. Часткові критерії $F_i(X)$ тим або іншим способом повинні поєднуватися в узагальнений критерій $f(X) = \Phi[F_1(X), F_2(X), \dots, F_m(X)]$, який потім оптимізується.

Коли усі критерії мають рівне значення, то узагальнений адитивний критерій записується в виді суми часткових критеріїв у тому випадку, коли вони мають однакову вагу. Мультиплікативний критерій утворюється шляхом простого перемножування часткових критеріїв у тому випадку, коли вони мають однакову вагу. Для випадку, коли один об'єкт кращий за адитивним узагальненим критерієм, а інший – за мультиплікативним, необхідно застосувати для вибору оптимальної математичної моделі геометричний (морфологічний) підхід [6].

Морфологічний підхід може застосовуватися не тільки для порівняння роботи об'єкта за різні моменти часу, а й при роботі двох однакових агрегатів, технологічних ліній тощо. Для використання морфологічного підходу необхідна побудова радіаційної діаграми. Така діаграма будується в такий спосіб: із центру кола проводяться по числу факторів прямі лінії (радіуси), які нагадують промені, що розходяться при радіоактивному розпаді. На ці радіуси наносяться мітки градуїрування в долях від 100 % та відкладаються на них значення даних в відсотках. Точки, якими позначені відкладені значення, з'єднують відрізками прямої. Числові значення, що ставляться на променях, що відповідають кожному фактору, порівнюють із еталонним значенням (стандартом енергоспоживання) або з значеннями за минулий розрахунковий період. На кожному технологічному об'єкті необхідно визначити питому норму споживання електроенергії на одиницю продукції або розрахувати стандарт енергоспоживання за алгоритмом, вказаним в роботі [7].

На прикладі цеху аміаку побудована радіаційна діаграма, на якій порівнюється енергоефективність цеху за дві доби поспіль за рівноважними критеріями якості. Цими критеріями є споживання електроенергії, споживання теплової енергії, споживання оборотної води, витрати природного газу, споживання знесоленої води, виробіток аміаку. В табл. 1 наведені відношення споживання енергоресурсів на одиницю продукції до нормованого значення (стандарту енергоспоживання або питомої норми).

Приклад визначення найкраще працюючого об'єкта показаний на рис. 3.

Позначення на рис. 3: промінь 1 – відсоток від «стандарту енергоспоживання» по електроенергії (на ньому знаходяться точки A_1 та A_2), 2 – по тепловій енергії (B_1 та B_2), 3 – по оборотній воді (C_1 та C_2), 4 – по знесоленій воді (D_1 та D_2), 5 – по витраті природного газу (E_1 та E_2), 6 – відсоток від добової норми виробітку аміаку (F_1 та F_2).

Таблиця 1

Значення відношення споживання енергоресурсів на одиницю продукції до нормованого значення за дві доби поспіль

Параметр	Значення за першу добу та позначення точки на радіаційній діаграмі, %	Значення за другу добу та позначення точки на радіаційній діаграмі, %
Споживання електроенергії	100 (A ₁)	87 (A ₂)
Споживання теплової енергії	110 (B ₁)	90 (B ₂)
Споживання оборотної води	105 (C ₁)	91 (C ₂)
Споживання знесоленої води	108 (D ₁)	94 (D ₂)
Витрати природного газу	115 (E ₁)	95 (E ₂)
Виробіток аміаку	103 (F ₁)	96 (F ₂)

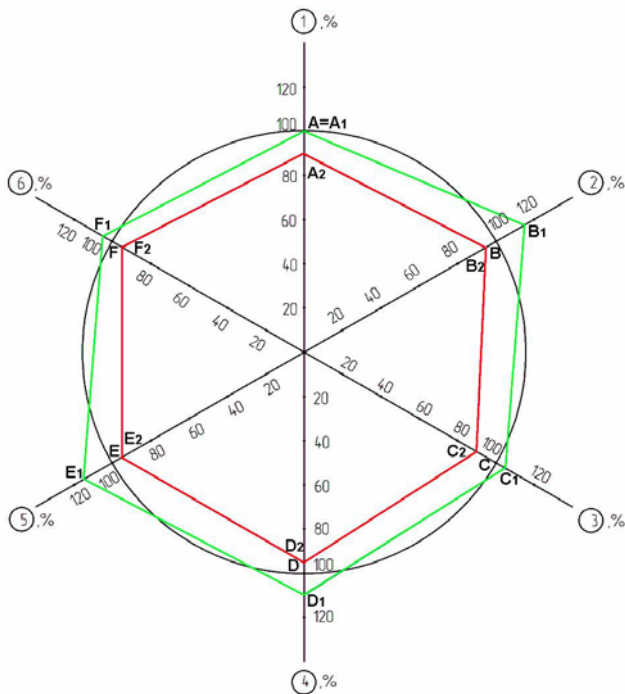


Рис. 3. Радіаційна діаграма порівняння енергоефективності роботи цеху з виробництва аміаку за дві доби поспіль за рівноважними критеріями якості

Багатокутник $A_1B_1C_1D_1E_1F_1$ є оцінкою енергоефективності роботи цеху з виробництва аміаку за першу добу, а багатокутник $A_2B_2C_2D_2E_2F_2$ – за другу добу. Окружність, що проходить через точки A, B, C, D, E, F є стандартом енергоспоживання, або відміткою, яка відповідає питомій нормі споживання певного енергоресурсу на одиницю випуску продукції. З рис. 3 можливо зробити висновок про те, що ефективніше персонал цеху спрацював за другу добу, ніж за першу. Аналізуючи та контролюючи рівень енергоефективності за радіаційними діаграмами можливо оцінити стан енергоефективності на виробництві. Чим менше площа багатокутників (полігонів) $A_1B_1C_1D_1E_1F_1$ та $A_2B_2C_2D_2E_2F_2$, тим краще працює виробничий об'єкт.

Аналогічним чином можливо оцінити енергоефективність технологічного агрегату, цеху, підприємства.

3. *Порівняння енергоефективності виробничих об'єктів, енергоспоживання яких залежить від великої кількості різних факторів нерівної ваги.*

В практичній діяльності необхідно виконувати порівняння ефективності декількох технологічних або енергетичних об'єктів за критеріями нерівної ваги. Проводити це порівняння шляхом побудови функції корисності не завжди доцільно. Метод потребує знань у особи, що приймає рішення, математичної статистики та методів прийняття рішень. Тому необхідно розробити або використовувати інші методи знаходження оптимально працюючих виробничих об'єктів з декількох подібних за декількома критеріями. Найбільш простим є метод апріорного ранжування [3].

На початковій стадії планування експерименту з урахуванням поставлених цілей експериментатор повинен відібрати незалежні змінні (фактори), які в подальшому будуть використовувати в експерименті. Як правило, фактори вибираються на основі аналізу апріорної інформації, що вимагає використання різних методів систематизації отриманих знань. Для вирішення завдань такого роду широко використовуються методи експертної оцінки. Ці методи засновані на отриманні та обробці даних, отриманих в результаті опитування фахівців. Стосовно оцінки та вибору найбільш значущих чинників широке поширення отримав метод апріорного ранжування, який може бути застосований для оцінювання енергоефективності виробничих об'єктів.

Так, в цеху аміаку методом апріорного ранжування розраховані коефіцієнти вагомості. Енергоспоживання цеху залежить від таких факторів: споживання теплової енергії, оборотної води, знесоленої води, витрат природного газу, виробітку аміаку. Коефіцієнти вагомості K_w за вимірюваними факторами, наявними в цеху аміаку наступні: для електроспоживання $K_w = 0,24$; для споживання теплової енергії $K_w = 0,21$; для споживання оборотної води $K_w = 0,16$; для споживання знесоленої води $K_w = 0,13$; для витрат природного газу споживання оборотної води $K_w = 0,26$. Необхідно перемножувати кожне значення розрахованого коефіцієнту вагомості на відсоткову (нормовану) величину критерію, вказану в табл. 1.

В табл. 2 наведені відношення споживання енергоресурсів на одиницю продукції до нормованого значення (стандарту енергоспоживання або питомої норми) з урахуванням коефіцієнтів вагомості.

На рис. 4 наведена радіаційна діаграма порівняння енергоефективності виробництва аміаку за критеріями нерівної ваги.

Розраховуються площі багатокутників $A_1B_1C_1D_1E_1F_1$ та $A_2B_2C_2D_2E_2F_2$. З рис. 4 можливо зробити висновок, що за перший день цех аміаку спрацював гірше, ніж за другий.

4. *Перевірка технологічного процесу на стабільність.*

Стан технологічного процесу характеризується сумарною похибкою, що виникає внаслідок дії причин випадкового і систематичного характеру.

Таблиця 2

Значення відношення споживання енергоресурсів на одиницю продукції до нормованого значення з урахуванням коефіцієнту вагомості за дві доби поспіль

Параметр	Значення за першу добу та позначення точки на радіаційній діаграмі, %	Значення за другу добу та позначення точки на радіаційній діаграмі, %
Споживання електроенергії	100·0,24 = 24 (A ₁)	87·0,24 = 21 (A ₂)
Споживання теплової енергії	110·0,21 = 23 (B ₁)	90·0,21 = 19 (B ₂)
Споживання оборотної води	105·0,16 = 17 (C ₁)	91·0,16 = 15 (C ₂)
Споживання знесолоної води	108·0,13 = 14 (D ₁)	94·0,13 = 12 (D ₂)
Витрати природного газу	115·0,26 = 30 (E ₁)	95·0,26 = 25 (E ₂)
Виробіток аміаку	103·1,0 = 103 (F ₁)	96·1,0 = 96 (F ₂)

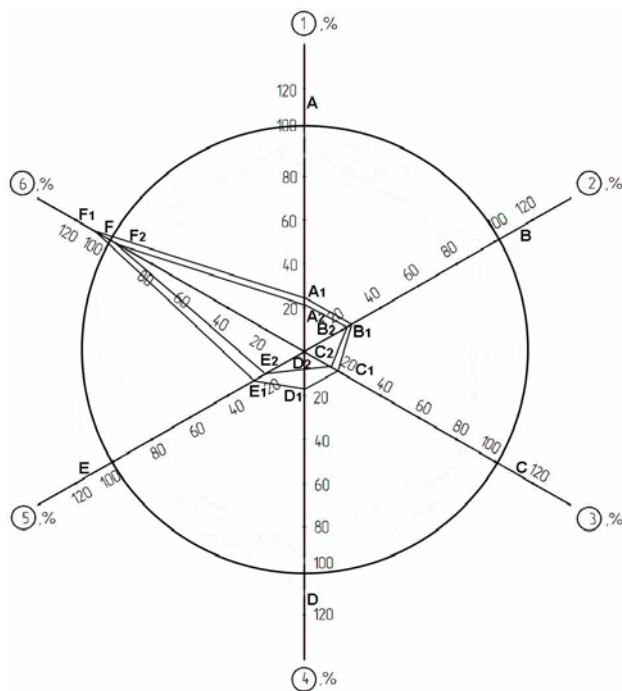


Рис. 4. Радіаційна діаграма порівняння енергоефективності виробництва аміаку за дві доби поспіль за нерівноважними критеріями якості

Оцінка стабільності технологічного процесу в загальному випадку відбувається таким чином. Спочатку здійснюється набір експериментальних даних шляхом вимірювання контрольованих параметрів вибірки одиниць продукції з одночасною реєстрацією результатів вимірювань. Далі складається таблиця частот; обчислюються статистичні характеристики; визначаються показники стану технологічного процесу; визначається стан процесу за рівнем дефектності; встановлюється закон розподілу і здійснюється статистична перевірка узгодження цього закону з нормальним законом. Але така процедура займає чимало часу, вона потребує знань математичної статистики у експлуатаційного персоналу. Тому пропонується використати

для перевірки технологічного процесу на стабільність більш прості методи.

У 1957 р Чарльз Хольт розробив метод експоненціального згладжування, що отримав назву двопараметричного методу Хольта [8]. У цьому методі враховується локальний лінійний тренд, присутній у часових рядах. Якщо у часових рядах є тенденція до зростання, то крім оцінки поточного рівня необхідна і оцінка нахилу. У методі Хольта значення рівня і нахилу згладжуються безпосередньо, при цьому для них використовуються різні сталі згладжування, які дозволяють оцінити поточний рівень і нахил, уточнюючи їх щоразу, коли з'являються нові спостереження. Одна з переваг методики Хольта – її гнучкість, що дозволяє вибирати співвідношення, в якому відстежується рівень і нахил.

Основу метода Хольта складають три рівняння:

$$Y_t^{Pr} = \alpha \cdot (Y_{t-1}^{Pr} + T_{t-1}) + (1 - \alpha) \cdot Y_t, \quad (1)$$

$$T_t = (1 - \beta) \cdot (Y_t^{Pr} - Y_{t-1}^{Pr}) + \beta \cdot T_{t-1}, \quad (2)$$

$$Y_{t+p}^{Pr} = Y_{t+1}^{Pr} + p \cdot T_t, \quad (3)$$

де Y_t^{Pr} і Y_{t-1}^{Pr} – прогнозовані (згладжені) значення показника в наступний і попередній моменти часу; Y_t – табличне значення показника в момент часу t ; T_{t-1} – значення тренда на момент часу $t-1$, що визначається з рівняння (2); де α і β – сталі згладжування, необхідні для згладжування оцінки тренда.

Дослідження, проведені в роботі [8] довели, що значення сталих α і β визначають стабільність технологічного процесу – властивість, що обумовлює сталість розподілів ймовірності його параметрів протягом деякого інтервалу часу без втручання ззовні. Процес вважається стабільним, якщо контрольовані параметри не перевищують контрольних меж і не спостерігається тренд до їх виходу за ці межі. Коефіцієнт варіації даних електроспоживання за розрахунковий період повинен бути мінімальним. Для великотоннажних хімічних виробництв з випуску аміаку, слабоазотної кислоти, потужної насосної станції подачі води першого підйому встановлено, що для різних процесів оптимальне значення сталої згладжування α дорівнює 0,1, а сталої згладжування β має дорівнювати 0,9 (для стабільного технологічного процесу).

Знання значень сталих згладжування дозволяє в режимі реального часу порівнювати поточне значення енергоспоживання з розрахованим методом Хольта прогнозованим значенням. Якщо при значеннях сталих згладжування $\alpha = 0,1$ і $\beta = 0,9$ [8] дійсне значення електроспоживання співпадає з прогнозованим, то технологічний процес при цьому стабільний.

Зменшення або збільшення останнього значення вибірки часових значень електроспоживання не дає можливості зробити належний висновок про правильне ведення технологічного процесу. Для перевірки технологічного процесу на стабільність пропонується використовувати коефіцієнт автокореляції (КА) [9] першого, другого і далі порядків для перевірки стабільності та ефективності ведення процесу енергоспоживання.

Проведено ряд досліджень з ефективності використання КА для оцінювання технологічного процесу на декількох об'єктах хімічної промисловості. Зібрано дані про середньогодинне споживання електроенергії P крупнотонажного цеху аміаку хімічного підприємства за декілька днів 201.. року. Вибірка даних енергоспоживання наведена в табл. 3.

Таблиця 3
Значення щогодинного електроспоживання крупнотонажного цеху аміаку за одну з днів 2016 року

№ інтервалу	1	2	3	4	5	6	7	8
P , МВт·год	37,264	37,275	37,290	37,189	37,058	37,088	37,131	37,124
№ інтервалу	9	10	11	12	13	14	15	16
P , МВт·год	37,112	37,074	37,171	37,201	37,239	37,259	37,189	37,162
№ інтервалу	17	18	19	20	21	22	23	24
P , МВт·год	37,450	37,465	37,527	37,510	37,472	37,267	37,074	37,133

*Коефіцієнт варіації даної вибірки 0,24 %.

Останнє (24-те) значення вибірки змінюється в діапазоні від 0 до 100 % з дискретністю 25 % в інтервалі від 0 до 75 % та 5 % в інтервалі від 75 % до 100 % ($P'_{24} = K \cdot P_{24}$), де K – відношення зміненого останнього значення вибірки до його повного значення. Коефіцієнт $K = 0-1,0$; він приймає значення 0; 0,25; 0,5; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1,0. Розраховані КА першого, другого, третього порядку для кожної з вибірок при змінюванні останнього значення вибірки.

Дослідження довели, що існують три типи залежності КА від величини зміненого останнього значення вибірки (рис. 5).

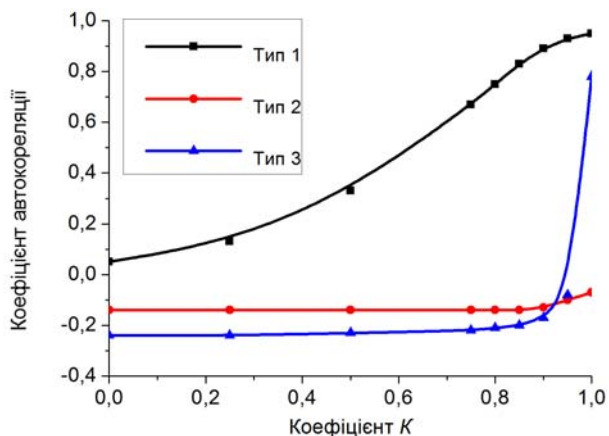


Рис. 5. Залежність КА першого порядку від змінювання останнього значення вибірки

Для першого та третього типу залежності КА першого порядку пропорційно залежить від змінювання величини останнього значення вибірки. Тому коли спостерігається така залежність, то КА доцільно використовувати для контролю над режимом електроспоживання. Результати розрахунків довели, що розмах КА першого порядку для першого та третього типу залежності на 30-40 % більше, ніж другого або третього порядку. Тому саме його краще використовувати для контролю режиму електроспоживання.

Для першого типу характерна сильна чутливість на різку зміну величини останнього значення вибірки та на нульове значення електроспоживання. Так, при зміні останнього значення вибірки на 25 % КА першого порядку зменшується в 2,5 рази. КА характеризує тісноту тільки лінійного зв'язку поточного і попереднього рівнів ряду. Тому за коефіцієнтом автокореляції можна судити про наявність лінійної (або близькою до лінійної) тенденції [9].

Для третього типу спостерігається сильна залежність КА першого порядку від зміни величини останнього значення вибірки. КА другого та третього порядку для третього типу нагадують за формою КА першого порядку для цього типу.

Для деяких часових рядів, що мають сильну нелінійну тенденцію (наприклад, мають форми параболи другого порядку або експоненти), коефіцієнт автокореляції рівнів вихідного ряду може наближатися до нуля. Коли для вибірки залежність КА від зміни величини останнього значення вибірки нагадує другий тип (рис. 5), то тоді КА не придатний для контролю енергоспоживання.

Розраховувати КА другого та третього порядків для усіх типів залежності його від величини зміненого останнього значення вибірки необхідно також для того, щоби користуватися тестом Льюїнга-Бокса на наявність автокореляції [9].

Усі вищевказані економіко-математичні методи можуть допомогти експлуатаційному персоналу швидко оцінювати ситуацію на виробництві, краще проводити моніторинг енергоефективності виробничих об'єктів та в стислий термін приймати заходи з забезпечення стабільності технологічного процесу, що відповідає концепції Smart Grid [10].

Висновки.

1. Доведена доцільність застосування ряду економіко-математичних методів для моніторингу енергоефективності виробничих об'єктів та перевірки технологічного процесу на стабільність.
2. Найпростішим способом контролю за енергоефективністю технологічних процесів у випадку, коли електричне навантаження залежить тільки від двох параметрів, є спосіб використання трикутних координат, які доцільно застосовувати для візуалізації та контролю за технологічним процесом.
3. Використані метод апріорного ранжування та морфологічний для порівняння енергоефективності роботи декількох подібних виробничих об'єктів хімічної промисловості, у яких енергоспоживання залежить від багатьох факторів. Ці методи рекомендовано для використання для оцінювання енергоефективності на інших виробничих об'єктах.
4. Ознакою стабільності технологічного процесу є тотожність поточного значення енергоспоживання з розрахованим методом Хольта прогнозованим значенням при визначених заздалегідь оптимальних сталих згладжування.
5. Вперше застосовано коефіцієнт автокореляції для оцінювання стабільності технологічних процесів. Доведено, що при змінюванні в невеликому діапазоні одного значення вибірки електроспоживання з ймовірністю 66 % відбувається значна зміна коефіцієнту автокореляції першого або другого порядку.

6. Розглянуті в публікації економіко-математичні методи можуть бути використані для підтримки дій та рішень експлуатаційного персоналу з проведення контролю за енергоефективністю та стабільністю виробничих об'єктів, для візуалізації поточної інформації, для підтримки дій та обґрунтованості рішень людини-оператора, що буде сприяти впровадженню концепції Smart Grid на промислових підприємствах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Денисенко М.А. Спеціальні питання електропостачання: навч. посіб. Ч.1.: Вибір елементів електропостачальних систем на основі стохастичного моделювання процесів, що відбуваються в них. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 288 с.
2. Замулко А.І., Бедерак Я.С. Комплексний статистичний аналіз даних споживання активної електроенергії, витрат енергоресурсів та обсягів виробництва продукції // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №2. – С. 79-83.
3. Горбунов В.М. Теория принятия решений: Учебное пособие ГОУВПО. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2010. – 67 с.
4. Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 419 с.
5. Бедерак Я.С. Візуалізація звітів і шаблонів, що формуються в системах контролю електроспоживання та енергоменеджменту // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2012. – №130 – С. 3-5.
6. Волошко А.В., Бедерак Я.С., Лутчин Т.М. Проблеми вибору оптимальної математичної моделі енергоспоживання на промислових підприємствах // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – №5/8(65). – С. 19-23. doi: 10.15587/1729-4061.2013.18122.
7. Находов В.Ф., Бориченко О.В. Контроль та аналіз виконання встановлених «стандартів» в системах статистичного контролю ефективності використання електричної енергії // Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро. – 2011. – №2. – С. 16-23.
8. Стеценко І.В., Бедерак Я.С. Восстановление и оперативное прогнозирование методом Хольта электропотребления предприятий с непрерывным циклом работы // Электронное моделирование. – 2015. – №4. – С. 119-126.
9. Лук'яненко І.Г., Краснікова Л.І. Економетрика: Підручник. – К.: Товариство «Знання», 1998. – 494 с.
10. Кобець Б.Б., Волкова І.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
4. Uiler D., Chambers D. *Statisticheskoe upravlenie protsesami. Optimizatsiia biznesa s ispol'zovaniem kontrol'nykh kart Shukharta* [Statistical control of process. Optimization of business using Shewhart control charts]. Moscow, Alpina Business Books Publ., 2008. 419 p. (Rus).
5. Bederak Ya.S. Visualization of reports and templates, which are formed in the monitoring systems of power consumption and energy management. *Bulletin of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture*, 2012, no.130, pp. 3-5. (Ukr).
6. Voloshko A.V., Bederak Ya.S., Lutchyn T.M. The problems of selection of optimal mathematical model of energy consumption at industrial enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2013, no.5/8(65), pp. 19-23. (Ukr). doi: 10.15587/1729-4061.2013.18122.
7. Nakhodov V.F., Borychenko O.V. Monitoring and analysis of implementation of established «standards» in the statistical control systems of effective use of electric energy. *Informational collected papers «Promyslova elektroenergetyka ta elektrotekhnika» Promelektro*, 2011, no.2, pp. 16-23. (Ukr).
8. Stetsenko Y.V., Bederak Ya.S. Recovery and operational forecasting by Holt's method of electricity consumption at enterprises with a continuous work cycle. *Electronic modeling*, 2015, no.4, pp. 119-126. (Rus).
9. Luk'yanenko I.G., Krasnikova L.I. *Ekonometryka* [Econometrics]. Kyiv, Tovarisstvo «Znannya» KOO Publ., 1998. 494 p. (Ukr).
10. Kobets B.B., Volkova I.O. *Innovatsionnoe razvitie elektroenergetiki na baze kontseptsii Smart Grid* [Innovative development of the electric power on the basis of Smart Grid concept]. Moscow, IAC Energiya Publ., 2010, 208 p. (Rus).

Надійшло (received) 11.10.2016

Бедерак Ярослав Семенович, інженер,
Публічне акціонерне товариство «АЗОТ»,
18014, Черкаси, вул. Першотравнева, 72,
тел/phone +380 47 2392979, e-mail: ei@uch.net

Ya.S. Bederak
PJSC «AZOT»,
72, Pervomayskaya Str., Cherkassy, 18014, Ukraine.

On substantiation of selection of economic and mathematical methods for the assessment of energy efficiency of production facilities.

Research purpose is generalization and further development of economic- mathematical methods for ensuring energy-efficient operation mode of production facilities. The above methods can be used for selection of the most energy-efficient production lines, mechanisms; pumping, compression, ventilation installations or other electric receivers among several similar ones by using equal and unequal weight criteria. An example of comparing the efficiency of the production facilities of the chemical industry is showed by a priori ranking and morphological (geometric) methods. The method of control the correctness of the production facilities in the case when the electric load depends on two parameters in triangular coordinates in the presence of boundary restrictions is described. The identity of the current energy values calculated by Holt predicted value at a predetermined optimal smoothing constant determines the stability of the process. Expedience of application the autocorrelation coefficient for testing processes on the stability is proved. References 10, tables 3, figures 5.

Key words: power consumption, criteria of equal and unequal weights, the autocorrelation coefficient, energy efficiency.