

прогнозування поведження складних динамічних систем на різних періодах часу.

Список використаних джерел

1. Astrom K.J., Wittenmark B. "Adaptive Control", Addison Wesley, USA, 1989.
2. Nozaka Y., «Trend of new control theory application in industrial process control», Proc of 12th IFAC World Congress, Sydney, Vol.VI, pp. 51-56,1993.
3. Park D.C; El-Sharkawi M.A., Marks II R.J., Atlas L.E., Damborg M.J. Electric load forecasting using an artificial neural network, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991, pp. 442-449.
4. Canu, S., Duran, M., Ding, X., «District Heating Forecast using Artificial Neural Networks», International Journal of Engineering, Vol. 2(4), 1994.
5. Tyshevych B. L. Improve the accuracy of adaptation an intelligent systems electric drive control of technological installations // Issue of Zhytomyr state technical University of Ukraine . Series of Technical Sciences” - 2003. - Vol. 2 (26). – P.177- 182.
6. Khotanzad A., Rohani R.A., Lu T.L., Abaye A., Davis M. and Maratukulam D.J. ANNSTLF-A Neural-Network-Based Electric Load Forecasting System. IEEE Transactions on Neural Networks, 8:835-846, 1997.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2014 р.

УДК 622:658.012.011.56

В. Ф. Находов, к. т. н., доц., О. В. Бориченко, к. т. н. (НТУУ «КПІ»)

ПРОЦЕС КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ВСТАНОВЛЕНИХ «СТАНДАРТІВ» В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ

V.F. Nakhodov, Cand. Sc. (Tech.), O.V. Borychenko, Cand.Sc. (Tech.) (NTUU «KPI»)

CONTROL PROCESS OF PERFORMANCE SETTING "STANDARDS" IN SYSTEM OPERATING CONTROL EFFECTIVENESS OF ENERGY EXPLOITATION

Визначені основні недоліки традиційних систем контролю і планування енергоспоживання. Запропонований об'єктивний процес контролю виконання встановлених

«стандартів» споживання палива та енергії, який базується на застосуванні методу послідовного аналізу А. Вальда.

Ключові слова: енергія, система оперативного контролю ефективності енерговикористання, «стандарт» споживання електроенергії.

Определены основные недостатки традиционных систем контроля и планирования энергопотребления. Предложенный объективный процесс контроля выполнения установленных «стандартов» потребления топлива и энергии, основанный на применении метода последовательного анализа А. Вальда.

Ключевые слова: энергия, система оперативного контроля эффективности энергоиспользования, «стандарт» потребления электроэнергии.

The basic lacks are certain of the traditional Monitoring and Targeting Systems of energy consumption. Objective control procedure is offered of implementation standards" of energy consumption which is based on application of method successive analysis A. Vald.

Keywords: energy, a system for operational control efficiency, «standard» power consumption.

Вступ. Вирішення будь-яких задач у сфері енергозбереження обов'язково повинно починатися з відповіді на питання ефективно чи неефективно використовуються палива та енергія на виробничо-господарському об'єкті. Очевидно, що відповідь на це питання повинна бути кількісною та максимально об'єктивною.

На сьогодні у Україні використовують лише систему нормування питомих витрат енергії, яка є методичною основою оцінки та контролю та ефективності енерговикористання. Існуюча система нормування питомих витрат енергії має суттєві недоліки і тому не може слугувати основою для здійснення якісного та дієвого управління ефективністю використання енергії [1,2].

Останні кілька десятиріч у Західній Європі для вирішення задач управління ефективністю використання електричної енергії використовується підхід, принципово відмінний від системи нормування питомих витрат енергії, – побудова систем контролю і планування енергоспоживання (КіП), відомих під назвою Monitoring and Targeting Systems [3...5]. Використання такого підходу було б доцільним і в нашій державі. Однак традиційні методи побудови систем КіП також не є досконалыми.

Аналіз стану проблеми. Традиційні системи КіП зарекомендували себе в зарубіжній практиці як дієвий «інструмент» оперативного контролю ефективності використання палива та енергії на локальних технологічних об'єктах [3,6,7].

Методика створення та використання систем КіП є привабливою, перш за все, своєю простотою та незначними витратами часу на здійснення контролю ефективності споживання енергії, що дозволяє оперативно вирішувати дану задачу. Причому, період контролю ефективності використання енергії на будь-якому об'єкті за допомогою систем КіП може бути будь-яким, наприклад, рівним тривалості однієї робочої зміни або навіть одній години.

Однак традиційні методики побудови таких систем мають низку суттєвих недоліків, спрощень, невирішених питань, що не дозволяють «механічно»

застосовувати їх в умовах України для управління ефективністю використання палива та енергії. Основними недоліками традиційних систем КіП є:

- встановлення і застосування необґрунтовано спрощених «стандартів» енергоспоживання, які не передбачають врахування численних чинників, що суттєво впливають на витрати енергії в конкретних умовах виробництва;
- відсутність достатньо чіткої та об'єктивної в процедури контролю виконання встановлених «стандартів» енергоспоживання;
- неможливість застосування традиційних систем КіП для здійснення контролю енергоефективності на рівні виробничо-господарських об'єктів в цілому (підприємств, установ, їх підрозділів).

Постановка задачі. Очевидно, що з наведених вище причин отримані при застосуванні традиційних систем КіП результати контролю виконання встановлених «стандартів» навряд чи можна вважати достатньо об'єктивною оцінкою рівня ефективності використання енергії. Тим самим результати такого контролю ефективності енергоспоживання не можуть слугувати підставою для прийняття правильних рішень в процесі управління енергозбереженням на будь-якому об'єкті.

Отже, традиційна методика побудови і застосування систем КіП потребує суттєвого удосконалення і подальшого розвитку. Авторами пропонується об'єктивний процес контролю виконання встановлених «стандартів» енергоспоживання, який дозволяє на основі використання чітких математичних методів отримати відповідь на питання: ефективно чи неефективно використовується енергія на об'єкті.

Метою наукової статті є підвищення об'єктивності та обґрунтованості управління ефективністю використання енергії у виробництві шляхом застосування чіткої процедури контролю виконання встановлених «стандартів» енергоспоживання.

Результати досліджень. Обсяги споживання палива та енергії на будь-якому технологічному об'єкті значною мірою являють собою випадкові величини, оскільки у загальному випадку залежать від великої кількості технічних, технологічних, організаційних та кліматичних чинників.

Процес контролю виконання «стандартів» енергоспоживання повинен базуватися на застосуванні ймовірнісно-статистичних методів. З цією метою успішно можуть бути використані відомі методи статистичного контролю якості продукції [11].

Виконання встановлених «стандартів» споживання енергії у системах перативного контролю ефективності її використання найбільш доцільно контролювати, реєструючи саме кількість випадків виходу фактичних величин енергоспоживання за межі довірчого інтервалу, у вигляді якого встановлюють відповідний «стандарт» [9].

У випадку контролю виконання встановлених «стандартів» споживання енергії поняття «партія виробів» має умовний характер і за своїм змістом являє "юю деяку, достатньо велику кількість N контролів ефективності

використання енергії, які необхідно здійснити на технологічному об'єкті, що розглядають, протягом всього періоду його експлуатації. Контроль виконання встановлених «стандартів» енергоспоживання має виконуватись безперервно. Для вирішення цієї задачі авторами пропонується застосувати менш послідовного аналізу, розроблений у середині ХХ століття А.Вальдом [8].

Зазначена методика ґрунтується на тому, що у процесі контролю якості продукції досліджується деяка вибірка виробів, об'єм якої n є змінним. У випадку контролю ефективності використання енергії така вибірка містить доні щодо знаходження фактичних обсягів енергоспоживання технологічної п об'єкту в межах встановленого довірчого інтервалу або за його межами (що є ознакою відповідно підтримання або не підтримання на об'єкті заданого рівня ефективності використання енергії).

За методикою Вальда у разі появи у досліджуваній вибірці кожного нового фактичного значення параметру, що контролюють, розраховують й* званий коефіцієнт правдоподібності (γ), величина якого порівнюється і заздалегідь встановленими для нього граничними значеннями: максимальним (A) та мінімальним (B).

В результаті порівняння кожного чергового значення коефіцієнт правдоподібності з його граничними значеннями можливі три ситуації. Якщо $\gamma \leq B$, партію продукції, що розглядають, приймають, тобто всі вироби в ній вважаються якісними. У випадку, якщо $\gamma \geq A$, вся партія продукції, що аналізують, вважають неякісною і не приймають. Якщо ж величина коефіцієнту правдоподібності знаходиться у межах встановлених його граничних значень ($B < \gamma < A$), процес контролю продовжують.

Необхідно звернути увагу, що задача статистичного контролю виконання встановлених «стандартів» енергоспоживання вирішується в умовах, коли загальний об'єм «партії виробів» N , що розглядають, є достатньо великим, і той час як рішення стосовно її «прийняття» чи «відмови» від неї ґрунтується на результатах аналізу вибірки п порівняно невеликого розміру. В зазначених умовах, зокрема, якщо $n < 0,1N$, величина коефіцієнту правдоподібності γ для кожного чергового контролю може визначатися за спрощеною залежністю справедливою для біноміального закону розподілу випадкової величини, яку контролюють.

Якщо ж в умовах використання біноміального закону розподілу контрольованим параметром є кількість «неякісних виробів» у вибірці, як у задачі контролю виконання встановлених «стандартів» споживання енергії, процедура контролю може бути ще більш спрощена. У такому випадку процес контролю може здійснюватись без розрахунку значень коефіцієнта правдоподібності.

При цьому замість граничних значень (A та B) коефіцієнта правдоподібності в процесі контролю необхідно встановити граничні значення p_0 і p_1 безпосередньо для кількості «дефектних виробів» у «партії продукції», що аналізують. Іншими словами, необхідно визначити мінімальну та максимально допустиму кількість випадків виходу фактичних обсягів

споживання енергії на об'єкті за межі довірчого інтервалу, яким було встановлено відповідний «стандарт» енергоспоживання. Граничні значення p_0 і p_1 , можна визначати у вигляді відповідних частот чи ймовірностей появи «неякісних виробів» у контрольованій вибірці n .

Приймаючи до уваги особливості методів статистичного контролю і, зокрема, методу Вальда, в процесі контролю виконання «стандартів» споживання енергії необхідно встановити ймовірності прийняття за результатами контролю помилкових рішень, «ризик виробника» α та «ризик споживача» β .

Граничні частоти появи «дефектних виробів» у вибірці, що аналізують, і ймовірностей, які характеризують «ризик виробника» та «ризик споживача», пов'язані між собою. Якщо імовірність прийняття за результатами контролю правильного рішення позначити через L , то матимуть місце наступні співвідношення:

$$L(p \leq p_0) \geq 1 - \alpha; \quad (1)$$

$$L(p \geq p_1) \leq \beta, \quad \text{де:} \quad (2)$$

p – частка випадків виходу фактичних обсягів енергоспоживання на об'єкті за межі «стандарту» споживання палива та енергії.

В процесі побудови плану контролю виконання встановлених «стандартів» енергоспоживання на будь-яких технологічних об'єктах можна побудувати «індивідуальну» операційну характеристику або для цього можуть бути використані типові графіки $L = f(p)$ (рис. 1) для різних значень граничних величин p_0 і p_1 [8].

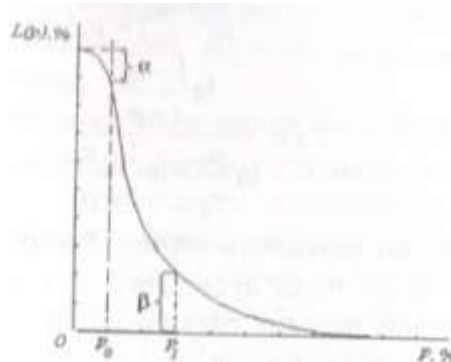


Рис. 1. Операційна характеристика статистичного контролю

Для більшої наочності процес послідовного контролю встановлених «стандартів» споживання енергії можна представити графічно (рис. 2). При цьому на горизонтальній осі відкладають кількість контролів n , а на вертикальній осі — кількість випадків виходу фактичних величин енергоспоживання за межі встановленого «стандарту» m .

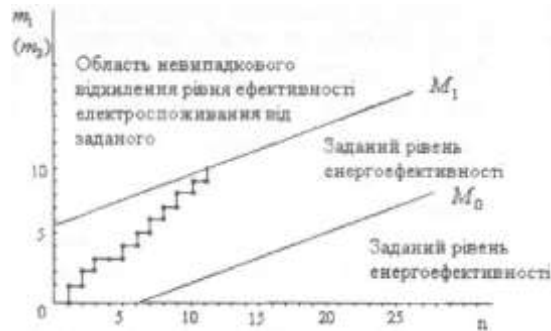


Рис. 2. Графічна ілюстрація процесу послідовного контролю за методом А. Вальда

В цій системі координат (рис. 2) границі довірчого інтервалу для кількості випадків виходу фактичних величин енергоспоживання за межі встановленого «стандарту» являють собою прямі M_0 та M_1 , параметри яких h_0 , h_1 , та s визначають на підставі прийнятого плану контролю за виразами:

$$h_0 = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}, \quad (3)$$

$$h_1 = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}, \quad (4)$$

$$s = \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}. \quad (5)$$

Прямі M_0 та M_1 , які називають картою контролю, наносять на грифік перед його початком. Якщо після проведення n контролів для кількості m випадків виходу фактичних величин енергоспоживання за межі встановленого «стандарту» виконується нерівність $m \geq h_1 + sn$, то можна стверджувати, що рівень ефективності використання палива чи енергії на об'єкті суттєво та не випадково відрізняється від заданого. Якщо ж зазначена нерівність не виконується, то приймають, що ефективність енерговикористання відповідні заданому рівню, а всі зафіксовані в процесі контролю відхилення фактичних обсягів споживання енергії від встановленого «стандарту» є випадковими.

Для контролю виконання «стандартів» енергоспоживання у системах оперативного контролю енергоефективності необхідно одночасно вирішувати три задачі [12]. Потрібно контролювати як можливе зниження, так і можливе

підвищення ефективності використання енергії на об'єкті, а також знаходження фактичного енергоспоживання у межах встановленого «стандарту». Таким чином, під час контролю ефективності енерговикористання необхідно одночасно реєструвати такі контрольовані параметри:

- кількість m_1 , значень фактичного споживання енергії, які перевищують верхню межу довірчого інтервалу встановленого «стандарту»;
- кількість m_2 , значень фактичного споживання енергії, які знаходяться нижче нижньої межі довірчого інтервалу встановленого «стандарту»;
- кількість m_3 , значень фактичного споживання енергії, які знаходяться у межах встановленого довірчого інтервалу.

В результаті здійснення n контролів виконання «стандарту» споживання енергії на об'єкті можна спостерігати такі ситуації:

1) кількість випадків виходу фактичних величин енергоспоживання за межі встановленого «стандарту» (Як m_1 , так і m_2) з точки зору статистики є незначною, що дозволяє стверджувати - встановлений «стандарт» виконується (ефективність використання енергії на об'єкті знаходиться на заданому рівні);

2) кількість m_1 випадків виходу фактичних значень витрат енергії за межі верхньої границі відповідного довірчого інтервалу статистично є достатньою для того, щоб стверджувати, що на об'єкті відбулося зниження ефективності використання енергії відносно заданого її рівня, причому це зниження не є випадковим;

3) кількість m_2 випадків виходу фактичних значень витрат енергії за межі нижньої границі відповідного довірчого інтервалу статистично є достатньою для того, щоб стверджувати, що на об'єкті відбулося підвищення ефективності використання енергії відносно заданого її рівня, причому це зниження не є випадковим;

4) кількість m_3 випадків знаходження фактичних значень витрат енергії у межах відповідного довірчого інтервалу статистично є достатньою для того, щоб стверджувати, що ефективність використання енергії на об'єкті підтримується на заданому рівні, причому знаходження фактичної енергоефективності об'єкта на заданому рівні не є випадковим.

За результатами проведення порівняно невеликої кількості контролів виконання встановленого «стандарту» енергоспоживання на об'єкті у ситуації 2) або 3) можна робити попередні висновки про рівень ефективності використання енергії і, в разі потреби, здійснювати заходи, спрямовані на його підвищення.

Найбільш достовірні результати контролю ефективності енерговикористання можна отримати тільки після виконання максимально необхідної кількості контролів $M[n]_{\max}$, яка визначається на підставі залежності:

$$M[n]_{\max} = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha} \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}, \quad (6)$$

Після проведення максимально необхідної кількості контролів можна отримати кількісну оцінку економії або перевитрати енергії на об'єкті протягом відповідного періоду. З цією метою може бути використаний підхід, який застосовують для аналізу ризиків прийняття управлінських рішень [13]. Цей підхід базується на знанні результатів споживання енергії на об'єкті, що спостерігалися при здійсненні кожного контролю енергоефективності (економія, перевитрата енергії або підтримання заданого рівня ефективної її енергоспоживання), а також на визначенні ймовірності або частоти появи кожного з можливих результатів. Так, наприклад, частоту виникнення економії енергії в процесі здійснення оперативного контролю ефективності енерговикористання на деякому об'єкті можна розрахувати за формулою:

$$P_{ек} = \frac{m_2}{M[n]_{\max}}, \quad де: \quad (6)$$

m_2 – кількість випадків отримання економії енергії в результаті проведення максимально необхідної кількості контролів енергоефективності.

Частоту виникнення перевитрати електричної енергії на об'єкті $p_{пер}$ визначають аналогічно.

Таким чином, кількісна оцінка загальної величини ΔW_{Σ} економії або перевитрати енергії, отриманої на об'єкті протягом відповідного періоду, являє собою суму добутоків всіх результатів енергоспоживання на частоти їх виникнення:

$$\Delta M_{\Sigma} = \left(\sum_{i=1}^{m_2} \Delta M_{екi} P_{ек} + \sum_{i=1}^{m_1} \Delta M_{перi} P_{ек} \right), \quad де: \quad (6)$$

$\Delta W_{екi}, \Delta W_{перi}$ – результати споживання електроенергії (економія чи перевитрата енергії), що спостерігалися під час кожного контролю енергоефективності після проведення максимально необхідної їх кількості [12].

Висновки

Процес послідовного контролю дає змогу оперативно визначати момічни невипадкового зниження або підвищення ефективності енерговикористання і відповідно своєчасно вживати необхідних заходів для підтримання заданого рівня енергоефективності або констатувати наявність стійкого енергозбереження на технологічних об'єктах, а також отримувати кількісну оцінку економії або перевитрати енергії.

Список використаних джерел

1. Находов В.Ф. Энергозбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В.Ф. Находов // Промэлектро. – 2007. - №1. – с.34-42.
2. Находов В.Ф. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, К.К. Коченова // Промелектро. – 2007. - №2. – с.42-48.
3. Материалы проекта «Усиление действий по подготовке энергоменеджеров в Украине» по программе TACIS №EUK 9701, Киев, ИЕЕ НТУУ «КПИ», 1999.
4. Computer Based Monitoring And Targeting On A Hot Rolling Mill // energy Efficiency Enquiries Bireau, ETSU, Harwell, Oxfordshire, OX11. Best Practice Prigramme. – 1992.
5. Waste avoidance methods / Energy Efficiency Office / Best Practice Prigramme. Fuel Efficiency Booklet 13. Crown copyright. – 1995.
6. Праховник А.В. Контроль і нормалізація енергоспоживання / А.В. Праховник, Г.Р. Трапп // Управління енерговикористанням: збірник доповідей. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – с. 387-398.
7. Праховник А.В. Энергетический менеджмент / А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др. // К.: ИЕЕ НТУУ «КПИ», 2001. – 472 с.
8. Абрагам Вальд. Последовательный анализ; [пер. с англ. Энергетический менеджмент / А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др. // К.: ИЕЕ НТУУ «КПИ», 2001. – 472 с.
9. Находов В.Ф. Установление «стандартов» энергопотребления для локальных систем контроля и анализа эффективности использования энергии / В.Ф. Находов, Д. Кармона, А.В. Овдиенко // Энергия и Элекрификация. – 2002. - №6. – с.19-25.
10. Вознесенский В.А. Принятие решений по статистическим моделям / А.В. Вознесенский, А.В. Ковальчук. – М.: Статистика, 1978. – 192 с.
11. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Р. Шторм. – М.: Мир,1970. – 368 с.
12. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Методика встановлення обґрунтованих «стандартів» споживання електроенергії та здійснення об'єктивного контролю їх виконання в системах статистичного контролю ефективності енерговикористання» / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко. - № 38504; завл. 13.05.2011; зареєстр. 26.05.2011. №25
13. Ламакин Г.Н. Основы менеджмента в электроэнергетике: [учебное пособие] / Г.Н. Ломакин. - [1-е изд.]. – Тверь: ТГТУ,2006. – 208 с.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2014 р.