

УДК 621.311.003.13

**Находов Владимир Федорович**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры электропостачання, Тел. +38-044-406-85-14. E-mail: [nakhodov@ukr.net](mailto:nakhodov@ukr.net), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7643-5965>)

**Бориченко Елена Володимирівна**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры электропостачання Тел. +38-066-787-83-85. E-mail: [borichenko@mail.ru](mailto:borichenko@mail.ru), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6127-2945>)

**Іванько Дмитро Олегович**, аспірант, Тел. +38-044-406-85-14. E-mail: [dimo-vin@ya.ru](mailto:dimo-vin@ya.ru), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4348-6624>)

**Пецкова Оксана Олександрівна**, магістр, Тел. +38-067-517-50-30. E-mail: [ksyshuk@i.ua](mailto:ksyshuk@i.ua), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4013-3169>)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна. Вул. Борщагієвська, 115, м. Київ, Україна, 03056.

**Пецков Роман Олександрович**, аспірант, викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту. Тел. +39-098-654-09-09. E-mail: [petskov23@gmail.com](mailto:petskov23@gmail.com), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4850-9028>)

Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ, Україна. Вул. Лукашевича, 19, м. Київ, Україна, 03049

### МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

*Стаття присвячена питанням вдосконалення підходів до контролю ефективності енерговикористання. Розглянуто методи встановлення та контролю виконання цільових змінних для здійснення моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження та створено універсальну процедуру контролю рівня енергоефективності, що ґрунтується на удосконаленні існуючих методів встановлення контрольних границь та процедур контролю.*

**Ключові слова:** моніторинг, контроль енергоефективності, енергозбереження, система контролю і планування енергоспоживання.

**Находов Владимир Федорович**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры электроснабжения. Тел. +38-044-406-85-14. E-mail: [nakhodov@ukr.net](mailto:nakhodov@ukr.net), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7643-5965>)

**Бориченко Елена Владимировна**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры электроснабжения. Тел. +38-044-406-85-14. E-mail: [borichenko@mail.ru](mailto:borichenko@mail.ru), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6127-2945>)

**Іванько Дмитрій Олегович**, аспірант. Тел. +38-044-406-85-14. E-mail: [dimo-vin@ya.ru](mailto:dimo-vin@ya.ru), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4348-6624>)

**Пецкова Оксана Александровна**, магістр. Тел. +38-067-517-50-30. E-mail: [ksyshuk@i.ua](mailto:ksyshuk@i.ua), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4013-3169>)

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина. Ул. Борщаговская, 115, г. Киев, Украина, 03056.

**Пецков Роман Александрович**, аспірант, преподаватель кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий транспорта. Тел. + 39-098-654-09-09. E-mail: [petskov23@gmail.com](mailto:petskov23@gmail.com), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4850-9028>)

Государственный экономико-технологический университет транспорта, г. Киев, Украина. Ул. Лукашевича, 19, г. Киев, Украина, 03049

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ВНЕДРЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

*Статья посвящена вопросам усовершенствования подходов к контролю эффективности энергоиспользования. Рассмотрены методы установления и контроля выполнения целевых переменных для осуществления мониторинга результатов внедрения мероприятий по энергосбережению и создана универсальная процедура контроля уровня энергоэффективности, основана на совершенствовании существующих методов установления контрольных границ и процедур контроля.*

**Ключевые слова:** мониторинг, контроль энергоэффективности, энергосбережение, система контроля и планирования энергопотребления.

**Nakhodov Volodymyr Fedorovych**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., Associate Professor department of electricity supply Tel. +38-044-406-85-14. E-mail: [nakhodov@ukr.net](mailto:nakhodov@ukr.net), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7643-5965>)

**Borychenko Olena Volodymyrovna**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., Associate Professor department of electricity supply. Tel. +38-044-406-85-14. E-mail: [borichenko@mail.ru](mailto:borichenko@mail.ru), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6127-2945>)

**Ivanko Dmytro Olegovych**, Ph.D student. Tel. +38-044-406-85-14. E-mail: [dimo-vin@ya.ru](mailto:dimo-vin@ya.ru), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4348-6624>)

**Petskova Oksana Oleksandrivna**, Msc. Tel. +38-044-406-85-14. +38-067-517-50-30. E-mail: [ksyshuk@i.ua](mailto:ksyshuk@i.ua), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4013-3169>)

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine. 115 Borschagivska Str., Kyiv, Ukraine, 03056

**Petskov Poman Oleksandrovyeh**, PhD student, lecturer department of automation, computer and integrated technologies in the transport. Tel. + 39-098-654-09-09. E-mail: [petskov23@gmail.com](mailto:petskov23@gmail.com), (ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4850-9028>)

State Economic and Technological University of Transport, Kyiv, Ukraine. 19 Lukashevicha Str., Kyiv, Ukraine, 03049

## THE METHODS BASIS OF THE MONITORING IMPLEMENTATION OF CONSERVATION

*The article is devoted to the issues of improvement of approaches to monitoring the efficiency of using energy resources. The methods of setting and monitoring targets variables for monitoring the results of the implementation of energy efficiency measures and created a universal procedure for monitoring indicators of energy consumption, based on the improvement of existing methods for establishing control limits and monitoring procedures.*

**Keywords:** monitoring, control of energy efficiency, energy conservation, monitoring and targeting system.

### Вступ

На сьогодні проблема енергозбереження стає надзвичайно актуальною для України. Метою діяльності в даній сфері є забезпечення раціонального використання та ощадливого споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) при існуючому рівні розвитку техніки та технологій. В Україні найбільший обсяг споживання паливно-енергетичних припадає на промисловий сектор. Зважаю на це, а також особливості функціонування вітчизняних підприємств, багато експертів вважають, що саме в цьому секторі зосереджені найбільші резерви економії енергоресурсів. Тому поступове підвищення рівня енергоефективності на промислових підприємствах дозволить зменшити залежність України від імпорту енергоресурсів та підвищити рентабельність продукції [1].

Однією з необхідних умов досягнення помітних результатів в області енергозбереження в нашій державі є систематична оцінки, моніторинг та аналіз ефективності використання енергетичних ресурсів. При цьому оцінка ефективності енерговикористання має бути кількісною і максимально об'єктивною.

У процесі виконання заходів з енергозбереження необхідно періодично впевнюватися у тому, що ефективність використання палива чи енергії в результаті реалізації тих чи інших енергозберігаючих проектів, на відповідних об'єктах, дійсно підвищилась, а також систематично підтверджувати, що досягнутий раніше рівень енергоефективності не знижується. Саме тому рішення задач енергозбереження потребує постійного (в тому числі й оперативного) управління як на державному, регіональному й галузевому рівнях, так і на рівні підприємств, їх підрозділів та окремих енергоємних технологічних процесів і установок.

### Аналіз останніх досліджень

Останнім часом органи державної влади приділяють особливу увагу створенню нормативної бази та розробці цільових програм в області енергозбереження. Проте для прийняття правильних рішень в області енергозбереження, необхідно проводити об'єктивну кількісну оцінку вже існуючих проектів, а також визначати кількісну величину економії паливно-енергетичних ресурсів [2].

В Україні для контролю енергоефективності на державному рівні використовується система моніторингу енергоефективності, функціонування якої головним чином полягає в узагальненні показників енергоспоживання підприємств, організацій, галузей економіки, регіонів тощо. Методологічною основою оцінки та контролю ефективності використання ПЕР в Україні є система контролю ефективності використання ПЕР, яка базується на нормуванні питомих витрат палива та енергії [3]. Нормування споживання ПЕР проводиться щорічно на промислових підприємствах, організаціях та установках. Однак, багато фахівців стверджують, що існуючі методи та методики нормування є недосконалими і не дозволяють визначати достатньо обґрунтовані норми питомої витрати палива та енергії [4].

На підставі таких недосконалих підходів до контролю енергоефективності не можна реалізувати в повній мірі стратегію енергозбереження та підвищення ефективності

енерговикористання на підприємстві, тобто не можна виконувати достатньо об'єктивний періодичний контроль ефективності використання ПЕР.

З цієї точки зору існуюча система нормування питомих витрат палива та енергії є абсолютно непридатною [4].

Для вирішення задач оперативного управління ефективністю використання енергоресурсів в зарубіжній практиці активно застосовують підхід, принципово відмінний від нормування питомих витрат ПЕР, який базується на побудові так званих систем контролю і планування (КіП) енергоспоживання. За кордоном такі системи мають назву Monitoring and Targeting Systems [5].

Однією з функцій системи контролю і планування є побудова математичної моделі, яка відтворює взаємозв'язок обсягів енергоспоживання від ряду показників, що характеризують умови протікання виробничого процесу (наприклад, обсягу випущеної продукції, часу роботи основного обладнання, тиску, температури, швидкості, параметрів кліматичних умов тощо). Такі математичні моделі традиційно називають «стандартами» енергоспоживання.

На основі стандартів енергоспоживання визначаються деякі цільові змінні, порівняння з якими фактичних показників, дозволяє визначати рівень ефективності використання палива або енергії на будь-якому виробничому об'єкті [6]. Однак, при застосуванні традиційних систем КіП, є ряд недоліків та спрощень. Зокрема це недосконалість методики встановлення «стандартів» енергоспоживання, а також відсутність чіткої процедури контролю виконання встановлених цільових змінних.

**Метою цієї статті** є створення методичних основ моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження, який ґрунтується на удосконаленні існуючих методів встановлення контрольних границь та процедур контролю і аналізу виконання встановлених показників ефективності використання електроенергії у виробництві.

#### Матеріали і результати дослідження

На сьогодні на вітчизняних і зарубіжних підприємствах застосовуються різні підходи до прийняття рішень щодо оцінки рівня енергоефективності. Однак численні публікації свідчать, що застосування загальновідомих методів може призводити до отримання некоректних та суперечливих результатів. Тому існує необхідність в удосконаленні існуючих методик та створенні більш досконалих процедур моніторингу рівня енергоефективності.

Процедура моніторингу рівня енергоефективності повинна в першу чергу давати змогу оперативно визначати моменти невідповідності чи підвищення чи зниження енергоефективності на досліджуваному об'єкті, а також давати обґрунтовану оцінку, з яких причин (об'єктивних чи суб'єктивних) відбулися ці зміни.

З метою визначення рівня енергоефективності на будь-якому об'єкті в традиційних системах КіП періодичний контроль ефективності використання енергетичних ресурсів може здійснюватись за графіком «стандарту» енергоспоживання або шляхом побудови спеціального графіка, який у зарубіжній практиці називають графіком кумулятивних (накопичених) сум (графіком CUSUM).

Процедура контролю за допомогою графіка CUSUM ґрунтується на поступовому визначенні та накопиченні відхилень, які виникають між фактичними та прогнозними обсягами електроспоживання на об'єкті.

Величина відхилення фактичного обсягу споживання енергії відносно встановленого «стандарту» для деякого  $i$ -го періоду контролю становить:

$$\Delta W_i = W_{\text{факті}} - W_{\text{прі}} \quad (1)$$

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

$W_{\text{прі}}$  – величина енергоспоживання за той же період, визначена за встановленим «стандартом».

Значення кумулятивної суми відхилень фактичної витрати електроенергії  $\Delta W_i$  на  $k$ -му кроці контролю виконання встановленого «стандарту» енергоспоживання розраховується за формулою:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k, \quad (2)$$

де  $\Delta W_{\Sigma k}$  – сумарне відхилення споживання енергії від його «стандартних» значень, отриманих протягом минулих  $k$  періодів контролю;

$\Delta W_{\Sigma k-1}$  – сумарне відхилення фактичних обсягів споживання енергії від «стандартних», отримане протягом минулих  $k - 1$  періодів контролю;

$\Delta W_k$  – відхилення енергоспоживання від його «стандартного» значення на  $k$ -му кроці контролю.

Одним з важливих етапів при складанні контрольних карт є спосіб визначення границь регулювання. Для визначення контрольних границь необхідно зібрати велику кількість даних, що характеризують стан процесу, і на їх основі розрахувати контрольні нормативи.

Контрольні границі в CUSUM-картах пропонується будувати у вигляді V-маски, що представляє собою верхню та нижню контрольні границі, утворені двома прямими, які сходяться під визначеним кутом і утворюють в результаті фігуру, у вигляді повернутої букви V. Від останньої, з нанесених на карту точок, відкладається величина  $d$  та кут  $\theta$ , де загальний кут V-маски складає  $2\theta$  [7].

На рис. 1 зображено контрольну карту кумулятивних сум із застосуванням V-маски, за відомим об'ємом миттєвої вибірки, заданою ймовірністю помилки першого роду  $\alpha$  та величини зміщення  $\delta$ .

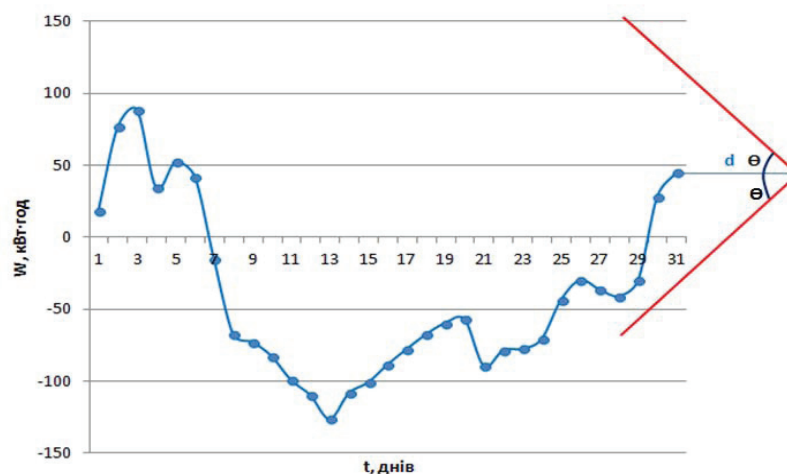


Рис. 1. Контрольна карта CUSUM із застосуванням V-маски

За результатом контролю, за допомогою графіка CUSUM, досліджуваній технологічний процес є статистично керованим: на рисунку 1 немає точок за межами V-маски. На такій контрольній карті звертають увагу не на абсолютні значення сум, а кут нахилу графіка, визначеному по послідовним точкам. Якщо крива кумулятивних сум йде вгору від горизонтальної осі (найбільш це очевидно з 14 по 20 день контролю), то даний показник свідчить про погіршення показників енергоефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. У протилежному випадку споживання електроенергії вважається ефективним.

Таким чином, навіть найменші постійні зрушення є причиною накопичення значної суми відхилень, що робить неможливим проведення достовірного аналізу та призводить до невірних результатів. Тому даний тип контрольних карт не вигідно застосовувати, адже очевидна лише певна тенденція, до того ж не можна визначити чи не були спричинені

отримані значення недосконалістю моделі. Тому використання графіку CUSUM для контролю рівня енергоефективності можна вважати малоефективним.

Математична модель енергоспоживання, яким би методом вона не була побудована, завжди має деяку залишкову похибку. Тому для здійснення об'єктивного контролю рівня ефективності енерговикористання слід застосовувати «стандарти» енергоспоживання, побудовані у вигляді верхніх та нижніх границь довірчих інтервалів, які визначаються для відповідних математичних моделей споживання енергії. При цьому зниження рівня ефективності споживання енергії можна констатувати лише у випадку знаходження фактичних значень енергоспоживання вище верхньої границі довірчого інтервалу, а підвищення рівня енергоефективності – у випадку їх знаходження нижче нижньої границі вказаного інтервалу [8].

Таким чином, для контролю результатів впровадження заходів з енергозбереження на виробничих об'єктах, дійсні рівні споживання енергії достатньо порівнювати тільки з нижньою границею довірчого інтервалу для відповідної математичної моделі.

Методику встановлення довірчих інтервалів до математичних моделей можна проілюструвати на прикладі математичної моделі обсягу споживання електричної енергії, побудованої в результаті попередніх досліджень для одного з виробничих підрозділів хімічного підприємства. Зазначена математична модель електроспоживання має такий вигляд:

$$W = 1080,833 - 0,291 \cdot F1 + 0,343 \cdot F2 + 6,895 \cdot F3,$$

де  $F1, F2, F3$  – певні чинники, що суттєво впливають на величину електроспоживання підрозділу, що розглядається.

Зважаючи на те, що математична модель є лінійною, «стандарт» споживання електроенергії для цього підрозділу має встановлюватись на основі довірчих інтервалів до відповідної математичної моделі, межі яких визначаються за формулою [9]:

$$W(p) = W_{\text{розра}}(p) \pm T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right) S_e \sqrt{X_i (XX^T)^{-1} X_i^T}, \quad (3)$$

де  $W_{\text{розра}}(p)$  – розрахункове значення витрати електроенергії, одержане на підставі математичної моделі;

$T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right)$  – коефіцієнт розподілу Стьюдента за двосторонньою довірчою імовірністю  $\alpha$  і кількості ступенів свободи  $f_e$ ;

$S_e$  – середньоквадратичне відхилення індивідуальних значень фактичних витрат електроенергії від результатів моделювання за допомогою визначеного рівняння регресії;  $X_i$  – матриця значень незалежних змінних в  $i$ -й точці контролю;

$X_i^T$  – транспонована матриця  $X_i$ ;  $XX^T$  – коваріаційно-дисперсійна матриця вектора параметрів (констант) рівняння математичної моделі;  $X_i$  – матриця значень незалежних змінних на всій вибірці.

Встановлювати зазначені межі довірчого інтервалу до математичної моделі енергоспоживання найбільш доцільно безпосередньо в процесі здійснення контролю ефективності використання палива чи енергії на відповідному об'єкті. Так для виробничого підрозділу, що розглядається, оперативний контроль ефективності використання електричної енергії здійснювався щодобово. Отже, необхідні для виконання такого контролю межі довірчого інтервалу до математичної моделі електроспоживання цього підрозділу встановлювались послідовно, тобто на початку кожної доби, безпосередньо під час контролю ефективності використання електроенергії за відповідну попередню добу. Результати розрахунків внесено в табл. 1.

Графічна інтерпретація результатів послідовного встановлення границь довірчого інтервалу для індивідуальних значень обсягу споживання електроенергії у виробничому підрозділі, що розглядається, розрахованих на підставі наведеної вище математичної моделі для кожної доби одного з місяців, представлена на рис. 2.

Таблиця 1

Визначення границь довірчого інтервалу

№ п/п	$W_{факт}$	$W_{розн}$	$X \cdot D \cdot X_T$	$S_e$	$T(\alpha, f)$	$W_e$	$W_n$
1	1212,418	1193,7422	0,08038	28,57173	2,0423	1212,4841	1175,00022
2	1264,254	1206,1987	0,24604	28,57173	2,0423	1224,9407	1187,4568
3	1200,332	1188,1307	0,08265	28,57173	2,0423	1206,8726	1169,38878
4	1088,273	1142,6233	0,28116	28,57173	2,0423	1161,3652	1123,88134
5	1224,976	1207,1844	0,06602	28,57173	2,0423	1225,9263	1188,44243
6	1213,373	1223,4265	6016583	28,57173	2,0423	1242,1684	1204,68454
7	1198,633	1256,0631	0,30165	28,57173	2,0423	1274,805	1237,32115
8	1116,993	1169,3207	0,38601	28,57173	2,0423	1188,0627	1150,57881
9	1224,414	1229,5748	0,11264	28,57173	2,0423	1248,3167	1210,83283
10	1233,585	1243,7644	0,11814	28,57173	2,0423	1262,5064	1225,02251
11	1227,98	1244,3536	0,11394	28,57173	2,0423	1263,0955	1225,61162
12	1235,29	1245,7426	0,11245	28,57173	2,0423	1264,4846	1227,0007
13	1209,395	1225,9825	0,04919	28,57173	2,0423	1244,7245	1207,2406
14	1207,839	1189,8011	0,0485	28,57173	2,0423	1208,543	1171,05912
15	1234,67	1227,2092	0,09139	28,57173	2,0423	1245,9511	1208,46727
16	1208,056	1195,6833	0,07395	28,57173	2,0423	1214,4253	1176,94139
17	1214,81	1204,0281	0,10661	28,57173	2,0423	1222,77	1185,28617
18	1196,007	1185,755	0,13249	28,57173	2,0423	1204,4969	1167,01303
19	1218,386	1210,5392	0,08683	28,57173	2,0423	1229,2811	1191,79728
20	1238,818	1236,2603	0,11503	28,57173	2,0423	1255,0022	1217,51839
21	1137,512	1169,9223	0,2572	28,57173	2,0423	1188,6642	1151,18034
22	1207,255	1196,4277	0,10131	28,57173	2,0423	1215,1697	1177,6858
23	1223,916	1222,7123	0,08916	28,57173	2,0423	1241,4542	1203,97033
24	1249,811	1243,0693	0,16038	28,57173	2,0423	1261,8113	1224,3274
25	1222,539	1195,4459	0,04717	28,57173	2,0423	1214,1878	1176,70396
26	1236,192	1222,3924	0,08853	28,57173	2,0423	1241,1344	1203,65051
27	1186,955	1193,4446	0,04938	28,57173	2,0423	1212,1866	1174,70272
28	1173,802	1178,4398	0,07609	28,57173	2,0423	1197,1817	1159,69785
29	1193,348	1182,4795	0,0828	28,57173	2,0423	1201,2214	1163,73757
30	1258,254	1199,9365	0,12582	28,57173	2,0423	1218,6785	1181,1946
31	1211,332	1194,6396	0,09174	28,57173	2,0423	1213,3816	1175,8977

Як свідчить рис. 2, в процесі щодобового контролю спостерігалися випадки виходу фактичних значень електроспоживання за межі верхньої границі довірчого інтервалу (2-га та 30-та доба), що є ознакою зниження рівня ефективності використання електричної енергії у ці періоди. Спостерігалися також випадки знаходження фактичних витрат електроенергії нижче нижньої межі довірчого інтервалу (4-та, 7-ма та 8-ма доба), що означає підвищення рівня енергоефективності на об'єкті у зазначені періоди у порівнянні з запланованим.

Таким чином, контроль ефективності використання електроенергії шляхом простого порівняння фактичних обсягів споживання енергії з межами довірчих інтервалів, встановлених до відповідної математичної моделі, в принципі, дає змогу здійснювати моніторинг результатів впровадження заходів з енергозбереження, тобто визначити певні «критичні» періоди, відносно яких можна зробити висновки про більш або менш ефективне використання енергетичних ресурсів у порівнянні зі встановленим «стандартом».

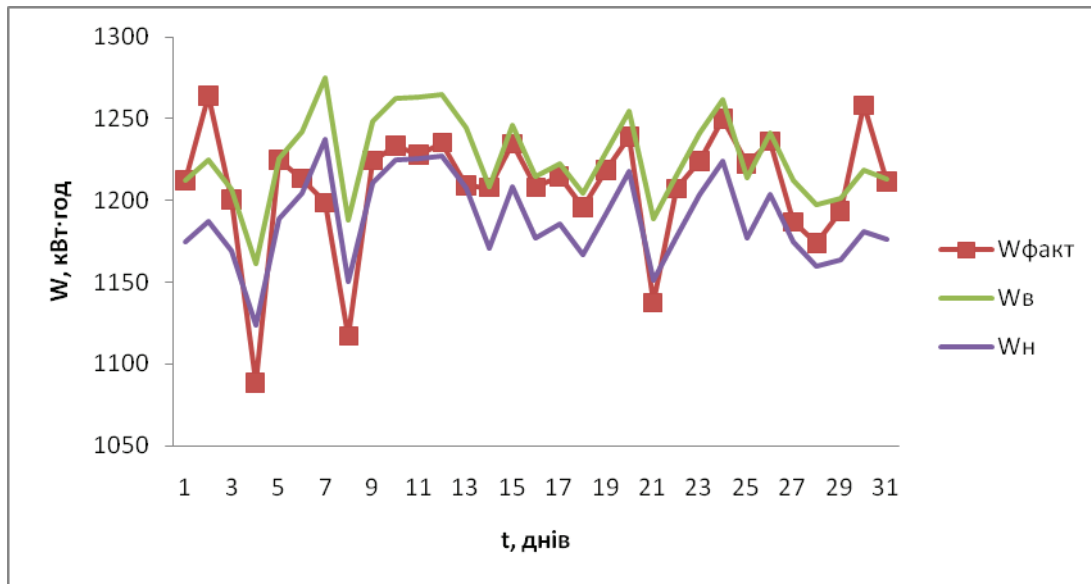


Рис. 2. Границі довірчого інтервалу до математичної моделі електроспоживання виробничого підрозділу ( $W_{факт}$  – фактичні обсяги добового споживання електроенергії,  $W_{в}, W_{н}$  – верхня та нижня межі довірчого інтервалу)

Однак, такий спосіб контролю не дозволяє зробити висновки про невідповідність зниження чи підвищення ефективності використання електричної енергії, а також знаходити та аналізувати причини змін рівня енергоефективності.

Для аналізу невідповідності варіації рівня енергоефективності доцільним є проведення контролю ефективності споживання електроенергії за методикою А.Вальда [10].

Однак, для здійснення аналізу про невідповідність зниження чи підвищення рівня енергоефективності необхідно двічі здійснити процес послідовного контролю за методом А.Вальда – для аналізу невідповідного зниження рівня ефективного використання електроенергії та аналізу невідповідного підвищення його рівня.

Маючи рівняння граничних прямих  $L_0$  та  $L_1$ :

$$L_0 = 0,098 \cdot m - 1,481,$$

$$L_1 = 0,098 \cdot m + 1,769,$$

можна побудувати карти контролю та провести аналіз невідповідної зміни рівня ефективності використання електроенергії.

На рис. 3 графічно зображено процес послідовного контролю, що дає можливість оперативно визначити момент невідповідного підвищення рівня енергоефективності.

Ламану лінію  $d_m = f(m)$  будуємо за результатами послідовного контролю: фактичне значення потужності, визначене у результаті першого заміру, не перетинає нижньої границі довірчого інтервалу, отже при  $m=1$   $d_m=0$ . Результат є аналогічним для двох наступних контролів. При четвертому замірі фактична потужність перетинає нижню границю довірчого інтервалу, отже при  $m=4$   $d_m=1$ . Результат є аналогічним для двох наступних контролів. Результат кожного контролю фіксуємо на карті (рис. 3). У результаті сьомого та восьмого контролів спостерігаємо вихід фактичних значень потужності за межі нижньої границі довірчого інтервалу, тому  $d_{m=7}=2$ ,  $d_{m=8}=3$ .

В результаті проведення восьмого контролю ламана  $d_m=f(m)$  перетнула пряму  $L_0$ , що свідчить про наявність на об'єкті управління невідповідного зниження обсягу електроспоживання. При  $m=12$  крива знаходиться на граничній прямій  $L_0$ , після чого знову виходить за її межі, а при  $m=23$  перетинає  $L_0$  і знаходиться в межах граничних прямих  $L_0$  та  $L_1$ . Таким чином, в період з 8-го по 22-ий контролю енергозбереження не спостерігалось.

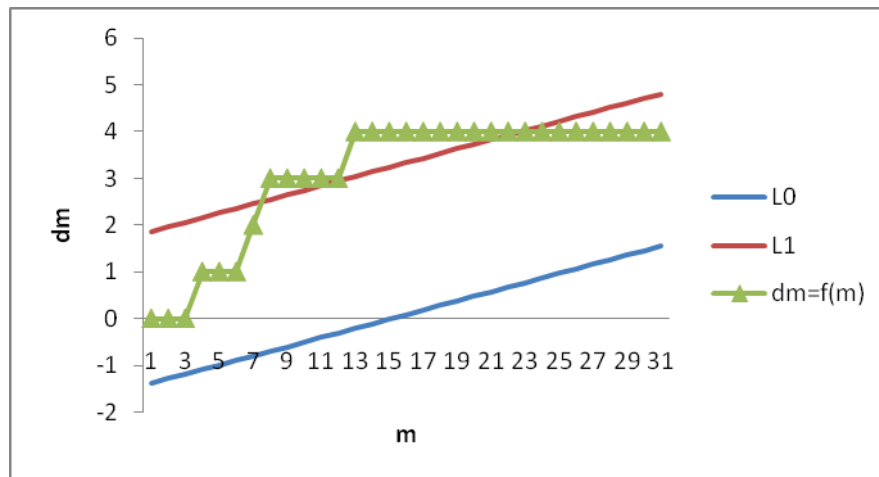


Рис. 3. Графічна ілюстрація процесу послідовного контролю за методом А.Вальда для аналізу не випадкового підвищення рівня ефективного використання електроенергії

Аналогічно будемо ламану лінію для аналізу не випадкового зниження рівня ефективності використання електроенергії (рисунок 4). Проводиться спостереження виходу фактичного значення потужності за верхню границю довірчого інтервалу. В результаті контролю на 30-му вимірі ламана  $d_m = f(m)$  перетнула пряму  $L_1$ , тому на даному етапі контроль припиняємо, і робимо висновок про наявність на об'єкті управління не випадкового підвищення обсягу електроспоживання.

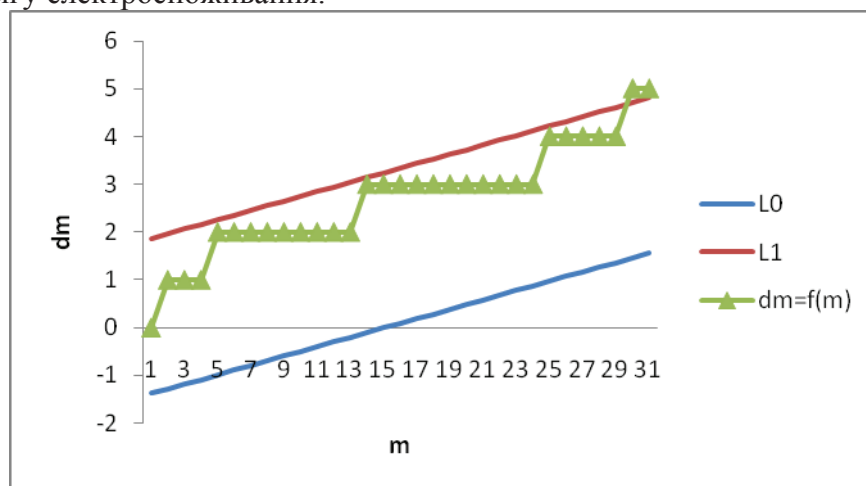


Рис. 4. Графічна ілюстрація процесу послідовного контролю за методом А. Вальда для аналізу не випадкового зниження рівня ефективного використання електроенергії

Під час контролю ефективності енергоспоживання виробничого об'єкту доцільно враховувати зміни в параметрах технологічного процесу, що впливають на енерговикористання. Такі зміни можуть бути викликані як «випадковими причинами», так і «спеціальними», тобто впливом певних чинників. Тому, для контролю енергоефективності технологічних процесів, доцільно користуватися методами статистичного контролю, основним інструментом яких є контрольні карти Шухарта, що дозволяють проводити відповідний аналіз в будь-яких процесах.

Ознаками порушення технологічного процесу при використанні контрольних карт є:

- одна або більше точок знаходяться поза верхньою та нижньою контрольними межами (ВКМ, НКМ);
- сім послідовних точок знаходяться з одного боку від центральної лінії (ЦЛ);
- більше шести точок монотонно зростають або спадають [7].

При використанні карт Шухарта, контрольні границі, на відміну від довірчих інтервалів до математичної моделі, встановлюються у вигляді прямих ліній, що робить їх менш



гнучким інструментом. Проте, у випадку аналізу причин зміни рівня енергоефективності, є доречним застосування саме карт Шухарта, однак контроль проводити по незалежним змінним (рис. 5).

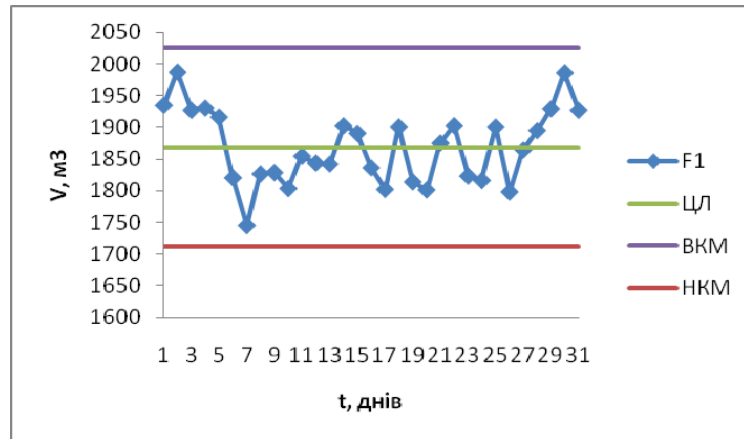


Рис. 5 Контрольна карта середніх значень відхилень для незалежної змінної  $F_1$

Аналогічно будуються контрольні карти для середніх значень факторів  $F_2$  та  $F_3$  (рисунок 6, 7).

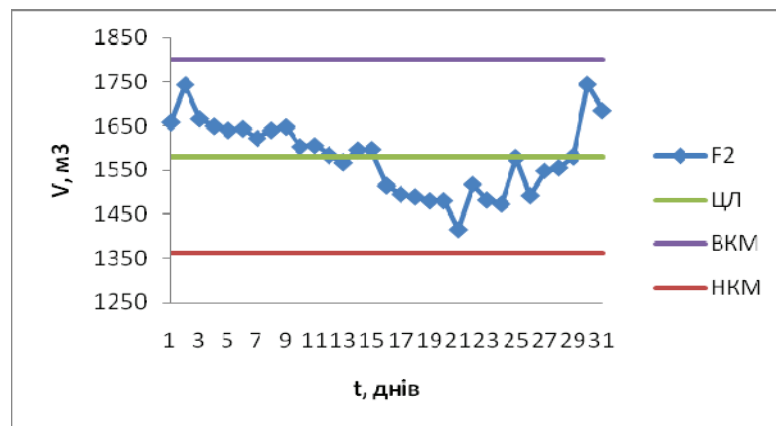


Рис. 6 Контрольна карта середніх значень відхилень для незалежної змінної  $F_2$

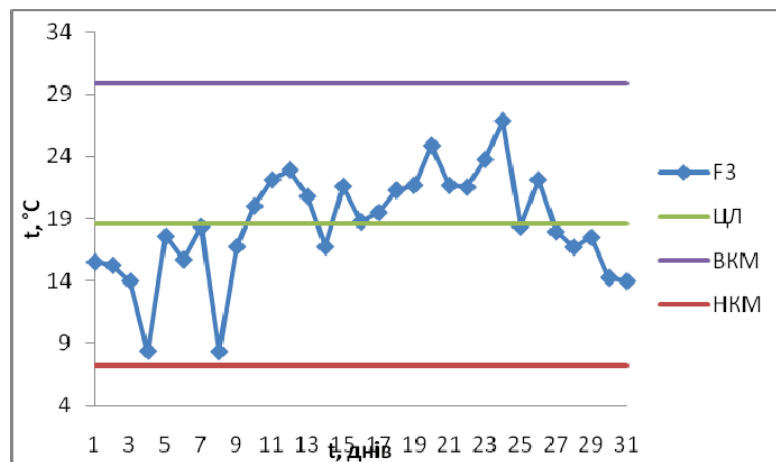


Рис. 7 Контрольна карта середніх значень відхилень для незалежної змінної  $F_3$

Для виявлення причин, що призвели до перевитрати (економії) енергії доцільно розглядати для точок невиконання «стандарту» енергоспоживання всі три карти відхилень

середніх значень незалежних змінних  $F_1, F_2, F_3$  одночасно. З контрольних карт можна відслідкувати раптові зміни параметрів, що впливають на величину енергоспоживання. Такі зміни параметрів, як правило і є причиною суттєвої різниці між фактичним і цільовим значенням енергоспоживання.

Користуючись правилами читання карт Шухарта [8], згідно контрольних карт середніх значень відхилень для незалежних змінних  $F1, F2, F3$ , можна зробити наступні висновки щодо відхилень точок:

- 1) в точках 2, 30 відбулися зміни параметрів  $F1$  та  $F2$ ;
- 2) в точках 4, 8 відбулися зміни параметру  $F3$ ;
- 3) в точці 7 відбулися зміни параметру  $F1$ ;
- 4) в точці 21 відбулися зміни параметру  $F2$ .

Результати моніторингу змін параметрів та оцінка їх впливу на ефективність використання енергії представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати моніторингу енергоефективності

День	Рівень енергоефективності		Причина
	Перевитрата, кВт·год	Економія, кВт·год	
2	39,313	0	F1 і F2 збільшились
4	0	35,608	F3 зменшився
7	0	38,688	F1 зменшився
8	0	33,586	F3 зменшився
21	0	13,668	F2 зменшився
30	39,576	0	F1 і F2 збільшились

Таким чином, кожен з розглянутих в даній статті методів дозволяє вирішити окрему важливу задачу, необхідну для проведення адекватного оперативного контролю енергоефективності. Тому, доцільно на їх основі створити комплексну процедуру моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження, що дозволить визначити контрольні границі енергоспоживання та проводити контроль виконання встановлених цільових змінних, що полягатиме в обґрунтуванні виходу значень рівня енергоефективності за межі контрольних границь, тобто в наданні оцінки невідповідності, аналізу причин та кількісної оцінки економії чи перевитрати енергії на об'єкті.

Процедура моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження можна представити у вигляді алгоритму (рис. 8).

### Висновки

1. Необхідною умовою досягнення помітних практичних результатів моніторингу енергозбереження є об'єктивне та обґрунтоване вирішення питання кількісної оцінки та контролю рівня ефективності енерговикористання.

2. Розглянуті методи контролю виконання встановлених цільових змінних має свої переваги та недоліки, тому їх було доречно об'єднати задля створення універсальної процедури моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження, що дозволить визначити контрольні границі енергоспоживання та проводити контроль виконання встановлених цільових змінних, що полягатиме в обґрунтуванні виходу значень рівня

енергоефективності за межі контрольних границь, тобто в наданні оцінки невідповідності, аналізу причин та кількісної оцінки економії чи перевитрати енергії на об'єкті.

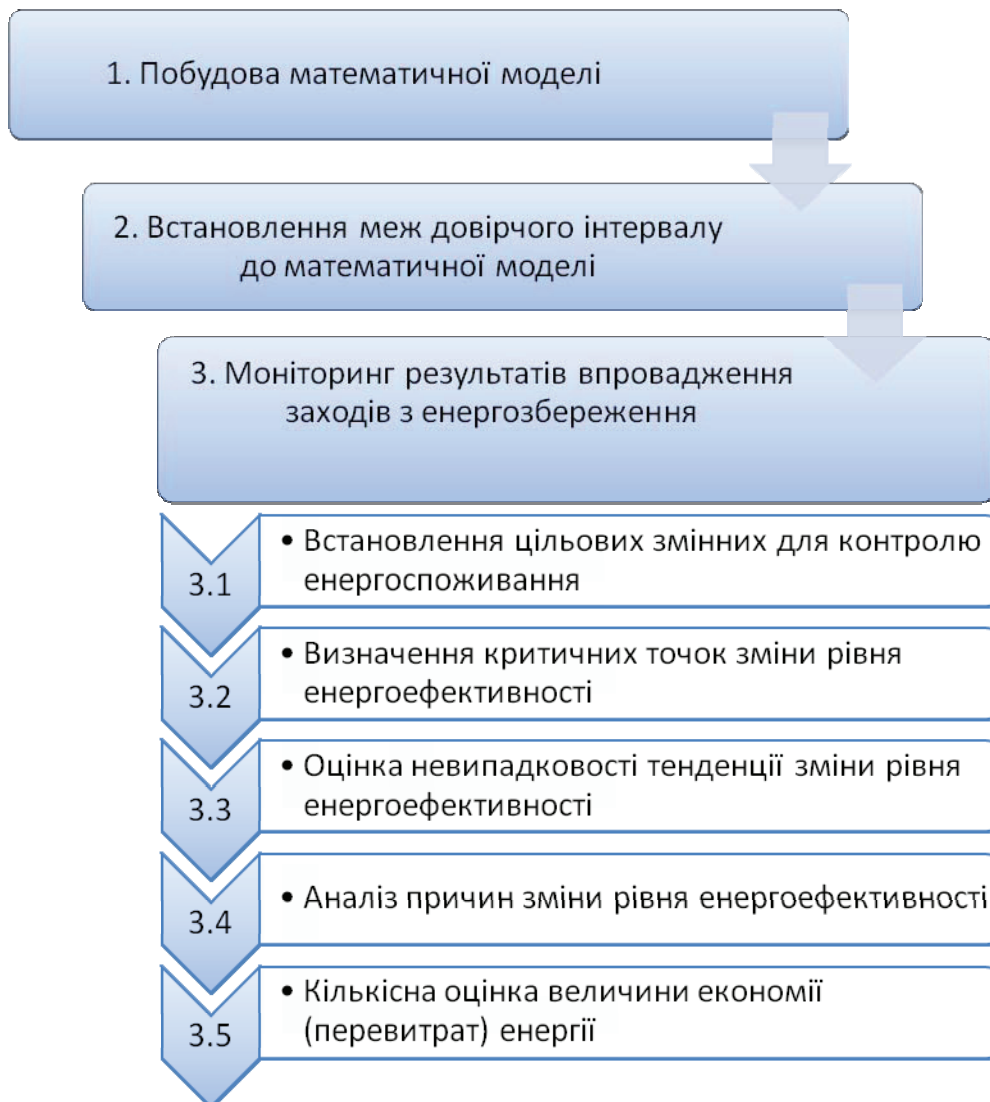


Рис. 8. Алгоритм універсальної процедури моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження

**Список використаної літератури:**

1. Приступа М., Бохонко М. Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація. – Рівне: видавець О.Зень, 2011. – 56 с.
2. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
3. Праховник А. В. Контроль і нормалізація енергоспоживання / А. В. Праховник, В. Ф. Находов, О. В. Бориченко // *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит.* – 2009 – № 8(66). – С. 41–54.
4. Находов В. Ф. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів / В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, К. К. Кочетова // *«Промислова електроенергетика та електротехніка»*. Промелектро: інформ. зб. – 2007. – № 2. – С. 42–50.
5. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) // *Fundamental Series.* – 2004. – № 7. – P. 29–32.
6. Находов В. Ф. Энергозбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В.Ф. Находов // *Промислова електроенергетика та електротехніка.* – 2007. – № 1. – С. 34–42.
7. Клячкин В. Н. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии: учеб. пособие / В. Н. Клячкин. – М.: Финансы и статистика; ИНФА – М, 2009. – 304 с.
8. Находов В. Ф., Бориченко О. В., Іванько Д. О. Вибір оптимального набору критеріїв з метою комплексної оцінки адекватності побудови «стандарту» енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності // *Енергетика. Екологія. Людина.* – 2013 – № 3 (34) – С. 68–78.

9. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Перевод с английского под редакцией канд. техн. наук Э. К. Лецкого. – М.:Издательство «Мир», 1980. – 610 с.

10. Вальд А. Последовательный анализ / Перевод с английского под редакцией Б. А. Севастьянова. – М: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 327 с.

#### References:

1. Prystupa M., Bokhonko, M. (2011), Energy efficiency in Ukraine: legal aspects and practical implementation [Enerhozberezhennia v Ukraini: pravovi aspekty i praktychna realizacia], publisher O.Zen, Rivne, 56 p.

2. Kovalko, M. P., Denysiuk, S. P. (1998), Energy conservation – a priority direction of state policy of Ukraine [Enerhozberezhennia – priorytetnyi napriamok derzhavnoi polityky Ukrainy], UEK, Kyiv, 506 p.

3. Prakhovnik A.V., Nakhodov V. F., Borychenko O. V. (2009) "Control and normalization of energy" ["Kontrol i normalizacia enerhospozhyvannia"], "Energy conservation, energy efficiency and conservation", No. 8 (66), P. 41–54.

4. Nakhodov V. F., Borychenko O. V., Kochetova K. K. (2007), "Analysis of operating in Ukraine valuation techniques specific consumption of fuel and energy resources" ["Analiz diiuchykh v Ukraini metodyk normuvannia pytomykh vytrat palyvno-enerhetychnykh resursiv"], "Electricity and electrical engineering industries", Promelektro, No. 2, P. 42–50.

5. Jones Phil (2004) "Getting started with Monitoring & Targeting (M & T)", Fundamental Series, No. 7, P. 29–32.

6. Nakhodov V. F. (2007) "Energy savings and the problem of monitoring the effectiveness of energy use" ["Energosberezhenie i problema controlia effektivnosti enerhoispolzovania"], "Electricity and electrical engineering industries", No. 1, P. 34–42.

7. Klyachkin V. N. (2009), Statistical methods in quality management of computer technology: studies. allowance [Statisticheskie metody v upravlenii kachestvom: kompyuternye tehnologii: ucheb. posobie], Finance and Statistics, YNFA, Moscow, 304 p.

8. Nakhodov V. F., Borychenko O. V., Ivanko D. O. (2013) "Choosing the optimal set of criteria to assess the adequacy of the integrated construction of "standard" energy systems of operational control efficiency" ["Vybir optimalnogo naboru kryteriiv z metoyu kompleksnoi ocinky adekvatnosti pobudovy "standartu" energospozhyvannia v systemah operatyvnogo kontrolyu energoefektyvnosti"], "Energy. Ecology. Man", No. 3 (34), P. 68–78.

9. Johnson N., Lyon, F. (1980), Statistics and experimental design in engineering and science. Data processing methods. Trans. from Eng. under the ed. Letskoho E.K. [Statistica i planirovanie eksperimenta v tehnike i nauke. Metody obrabotki danyh], Publishing "Mir", Moscow, 610 p.

10. Wald A. (1960), Sequential analysis. Trans. from Eng. under the ed. of Sevastyanov B. A. [Posledovatelnyi analiz], State Publishing House of physical and mathematical literature, Moscow, 327 p.

Поступила в редакцию 25.05 2015 г.