

## ПИТОМІ НОРМИ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ В ЗАДАЧІ КОНТРОЛЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

ДРЕШПАК Н.С.

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електротехніки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: dreshpak.n.s@nmu.one .

ДРЕШПАК О.С.

канд. техн. наук, доцент кафедри технологічного інжинірингу переробки матеріалів Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: dreshpak.o.s@nmu.one .

ВИПАНАСЕНКО С.І.

докт. техн. наук, професор, професор кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: vypanasenko.s.i@nmu.one .

**Мета роботи.** Аналіз існуючих методів нормування питомих витрат енергії та визначення методу, прийнятого для нормування показника енергоефективності при наявності швидкоплинних структурних і режимних змін в енергоспоживанні сучасного промислового підприємства.

**Методи дослідження.** Аналіз існуючих методів нормування питомих витрат енергії, визначення їх недоліків та переваг. Співставлення можливостей цих методів з вимогами до нормування показників питомого енергоспоживання в умовах сучасного виробництва.

**Отримані результати** Визначена необхідність підвищення точності розрахунку питомих норм витрат енергії в задачах контролю ефективності її використання. Це забезпечує чітке розмежування режимів «раціонального» та «нераціонального» використання енергоносіїв, сприяє об'єктивній оцінці вкладу в цей процес дій обслуговуючого персоналу підприємства. Проаналізовано існуючі методи розрахунку питомих норм. Визначена ступінь їх прийнятності для вирішення завдань нормування показників енергоспоживання в сучасних умовах виробництва. Показано, що точність розрахунку експериментальним методом висока при стабільних параметрах, що впливають на процес енергоспоживання. Розрахунково-аналітичний метод, як правило, не забезпечує низької похибки розрахунку, має значну трудомісткість, що обмежує його використання в умовах підвищеної оперативності контролю. В умовах контролю енергоспоживання, що характеризуються суттєвими структурними і режимними змінами, найбільш прийнятним є статистичний метод нормування, який характеризується порівняно низькими трудомісткістю та статистичною похибкою розрахунку, зумовленою застосуванням експериментальних даних. Розкриті переваги та недоліки методу. Можливість підвищення інформативності контролю слід пов'язувати з удосконаленням статистичної моделі. Розширення оперативної інформації, визначення інтегральних характеристик енергоспоживання сприяє формуванню раціональних управлінських рішень, забезпеченню високої енергоефективності процесу виробництва промислової продукції.

**Наукова новизна.** Вперше запропоновано використання статистичного методу нормування питомого споживання енергії в системі контролю енергоефективності виробничих процесів при швидкоплинних структурних та режимних змінах енергоспоживання об'єкту. Акцентовано увагу на суттєвій залежності показника достовірності результатів контролю енергоефективності виробничого процесу (наявності економії або перевитрат енергії) від точності розрахунку питомих норм витрат енергії. Визначена залежність оцінки діяльності колективу підприємства в сфері енергозбереження від досягнутої точності нормування енергоспоживання. Розкриті перспективи удосконалення методу в системі контролю енергоефективності.

**Практична цінність** полягає у визначенні прийнятого для умов сучасного промислового виробництва методу нормування питомих витрат енергії, а також шляхів його удосконалення.

**Ключові слова:** Контроль енергоефективності; статистичний метод, точність нормування; достовірність контролю.

### І. ВСТУП

Енергоефективне (раціональне) використання енергетичних ресурсів (у тому числі і електричної енергії) передбачає зменшення кількості спожитої енергії при виконанні технологічних процесів, пов'язаних з виробництвом продукції. Факт такого зменшення дозволяє вести мову про підвищення енергетичної ефективності, а збільшення свідчить про

протилежне. Наявність зміни витрат енергії на виконання процесу передбачає зіставлення фактичних значень витрат з нормованими значеннями, розрахунок яких виконується з урахуванням змін умов протікання технологічного процесу. Коректність зіставлення забезпечується порівнянням значень витрат енергії, віднесених до одиниці виробленої продукції (питомих витрат енергії). Зіставлення фактичних ви-

трат енергії з науково обґрунтованими нормами енергоспоживання дозволяє зробити висновок стосовно «раціонального» (або «нераціонального») використання енергоресурсів. Тому процедурі нормування питомих витрат енергії в процесі контролю енергоефективності приділяється особлива увага. При обґрунтуванні норм енергоспоживання слід урахувати як незмінні чинники, від яких залежить рівень спожитої енергії, так і такі, що змінюються в процесі виробництва продукції і визначення реальних значень яких є непростим завданням. В умовах ринкової економіки підприємство повинно постійно адаптуватися до змін зовнішнього середовища, забезпечувати конкурентоспроможність продукції [1]. Розвиток ринкових відносин сприяє розширенню номенклатури випуску продукції. Орієнтація виробництва на потреби споживача стимулює застосування нових технологій, покращення товарних показників продукції у короткі проміжки часу. Це є причиною швидкоплинних структурних і режимних змін в системі енергозабезпечення виробництва продукції. Очевидно, що такі зміни стосуються більшості сфер промислового виробництва. Тому прогнозування питомих витрат енергії в умовах, що безперервно змінюються, є актуальним напрямком досліджень. Виконання прогнозу нормованих значень питомого енергоспоживання потребує оцінки існуючих методів нормування з точки зору трудомісткості цього процесу, точності отриманих результатів, сфери їх застосування, існуючих недоліків та переваг.

## II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Слід зазначити, що дослідження в цій сфері виконувались і раніше [2]-[6], але діючі на той час методи нормування енергоспоживання стосувались виробництва в умовах планової економіки. Методи нормування були в основному орієнтовані на довготривалий випуск однотипної продукції з несуттєвими змінами в процесі її модернізації. Об'ємні розрахунки нормованих значень не сприяли оперативності контролю і своєчасному уведенню в дію управлінських рішень в сфері енергозбереження. Нормування здійснювалось на всіх рівнях виробництва продукції (галузь, підприємство, цех, агрегат) і враховувало як технологічні втрати енергії, так і додаткові втрати, зумовлені забезпеченням необхідних умов роботи обслуговуючого персоналу (опалення, вентиляція, кондиціонування і т.п.). Звідси значне різноманіття класифікаційних ознак питомих норм енергоспоживання, де кожна назва норми орієнтована на відповідну сферу виробництва продукції і розрахунок якої здійснюють найбільш прийнятним для існуючих умов методом. В той же час наявність в країні в період планової економіки дешевих енергоресурсів не сприяла уведенню режиму жорсткого контролю енергоспоживання. Ситуація змінилася при переході до ринкової економіки, де раціональне використання енергії є важливим чинником її конкурентоспроможності. Прийняття Верховною Радою України закону «Про енер-

гозбереження» [7], формування сучасних підходів до управління енерговикористанням потребує додаткового аналізу методів розрахунку питомих норм витрат енергії, оцінки їх відповідності більш жорстким умовам контролю ефективності споживання енергії. Вимоги до контролю в сучасних умовах виробництва продукції викладені в роботі автора [8]. Вони полягають у підвищенні оперативності контролю, його інформативності та достовірності. Слід оцінити прийнятність існуючих методів нормування до виконання сформульованих вимог. В статті наведені результати такого аналізу.

## III. МЕТА РОБОТИ

Аналіз існуючих методів нормування питомих витрат енергії та визначення методу, прийнятного для нормування показника енергоефективності при наявності швидкоплинних структурних та режимних змін в питомому енергоспоживанні сучасного промислового підприємства.

## IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

На відміну від «раціонального», «нераціональне» використання паливно-енергетичних ресурсів передбачає наявність витрат енергії, що перевищують показники питомих норм, визначених системою стандартів або діючими нормами питомих витрат енергії [9]. Нормативні витрати відносять до розряду неусувних, тобто зумовлених особливостями реалізації технологічного процесу. Понаднормативні витрати (перевитрати) зумовлені, як правило, використанням нераціональних режимів роботи обладнання, його несправністю, низькою професійною підготовкою обслуговуючого персоналу. Перевитрати розраховують за формулою [9]

$$\Delta B_c = (B_\phi - B_n) \cdot W_\phi \quad (1)$$

де  $B_\phi$ ,  $B_n$  – фактичні та нормовані питомі витрати енергії на виробництво продукції;  $W_\phi$  – обсяг виробленої продукції в розрахунковий термін.

Наявність перевитрат потребує визначення причин їх виникнення та уведення в дію механізму їх ліквідації, що забезпечується діючою системою управління енерговикористанням. Відсутність перевитрат свідчить про те, що в процесі випуску продукції витрати енергії відповідають визначеним нормованим значенням, а у деяких випадках вони нижчі цих значень. Раціональне використання підприємством енергетичних ресурсів повинно заохочуватися, про що наголошує закон України «Про енергозбереження» [7]. Один із основних принципів державної політики енергозбереження полягає в «поєднанні методів економічного стимулювання та фінансової відповідальності з метою раціонального використання та економічного витрачання паливно-енергетичних ресур-

сів». Так, наприклад, передбачається «матеріальне стимулювання колективів та окремих робітників за ефективне використання та економію паливно-енергетичних ресурсів», а також «введення плати за нераціональне використання паливно-енергетичних ресурсів у вигляді надбавок до діючих цін та тарифів залежно від перевитрат паливно-енергетичних ресурсів щодо витрат, встановлених стандартами». Звідси зрозуміло, що сам факт наявності або відсутності перевитрат енергії приводить до відповідно протилежних наслідків в управлінні енерговикористанням (заохочення або стягнення). З точки зору формування тарифної політики важливим є відносне значення перевитрат енергії  $\Delta B_C / B_H$ .

Необхідність розрахунку реальних числових значень  $\Delta B_C$  в процесі контролю ефективності використання енергії приводить до розуміння важливості забезпечення достовірності отриманої інформації. Питання полягає у тому, чи містить розрахунок суттєву похибку, яка може привести до абсолютно протилежних висновків (наявність, чи відсутність перевитрат енергії) з різними оцінками роботи колективу її виконавців. Проаналізуємо складові формули (1). Визначення фактичних значень  $B_\phi$  не викликає ускладнень. Дійсно, значення витрат енергії вимірюють лічильниками, точність яких визначена паспортними даними. Не містить причин для виникнення похибки реєстрація значень  $W_\phi$ . Претензії до завищеної похибки розрахунку можуть виникнути при визначенні  $B_H$ . Дійсно, процес нормування питомих витрат енергії не є простим, існують різні методи розрахунку, які застосовують, виходячи з конкретних умов виробництва, цілей визначення значень  $B_H$  і т.п. Між тим, методика розрахунку  $\Delta B_C$ , викладена в [9], не містить конкретних вимог до точності розрахунку цього параметра. Немає ніяких рекомендацій стосовно достовірності розрахункових значень параметра  $B_H$ . Виходячи з цього, автори статті вважають за необхідне проаналізувати переваги і недоліки існуючих методів нормування, виходячи, в першу чергу, з досягнутої точності результатів.

Вплив сукупності факторів, що змінюються у часі, на показники енергоспоживання об'єкта приводять до необхідності застосування середніх значень нормованих витрат енергії. Нормовані значення діють певний термін (місяць, квартал, рік). Потім їх уточнюють або повністю змінюють, виходячи зі зміни умов виробництва продукції. Норми можуть стосуватися окремих агрегатів, технологічних процесів, а можуть містити складові, характерні для підприємства в цілому. Розрахунок питомих норм енергоспоживання є важливим як з точки зору визначення завдань для контролю ефективності використання енергії, так і визначення прогнозованих значень майбутніх обся-

гів витрат енергії на виробництво продукції підприємством в цілому, або його підрозділами. Остання складова часто потребує підвищеної точності розрахунку, так як значні похибки супроводжуються суттєвими фінансовими втратами [10]. Тут можуть бути застосовані також укрупнені норми [6], вимоги до точності яких менш жорсткі. Терміни дії розрахованих питомих норм витрат енергії значною мірою залежать від умов виробництва продукції. Якщо ці умови не змінюються, або змінюються незначно, то необхідність заміни діючих питомих норм відсутня. Зміна умов може бути зумовлена зміною властивостей напівфабрикатів, які застосовують при виробництві продукції, зміною впливу навколишнього середовища на протікання технологічного процесу, активністю обслуговуючого персоналу при впровадженні засобів з енергозбереження. Така зміна повинна супроводжуватися оперативними управлінськими діями, які будуть сприяти ліквідації нераціонального використання енергетичних ресурсів, реалізації енергоефективних режимів. Відсутність змін в енергоспоживанні, пов'язаному з діями обслуговуючого персоналу (режими роботи обладнання, ремонтні роботи) свідчить про наявність застійних явищ, коли вклад людського фактору в енергетичну ефективність не проявляється.

Існує безліч методів розробки питомих норм енергоспоживання. Найбільше розповсюдження отримали: експериментальний метод, розрахунково-аналітичний та статистичний [2], [3], [5], [6]. Розглянемо їх суть, переваги та недоліки.

Експериментальний метод передбачає проведення ряду експериментальних досліджень. Розглядаються умови наявності непошкодженого налагодженого обладнання, працюючого в режимах, передбачених технологічними регламентами та інструкціями. Вимірювання витрат енергії здійснюються на кожній операції технологічного процесу. Потім визначають сумарні витрати [6]. Метод потребує застосування значної кількості вимірювальних приладів. Навантаження технологічного обладнання, як правило, змінюється. Необхідна статистична обробка значної кількості результатів вимірювань. До переваг методу слід віднести визначення окремих складових загальних витрат енергії (для окремих операцій технологічного процесу), що важливо з точки зору визначення переліку витрат та складання енергетичного балансу процесу. Найбільш енерговитратні складові повинні бути в зоні постійної уваги фахівців з енергетичного менеджменту. Недолік методу проявляється в тому, що сам процес вимірювання є трудомістким. Виходячи з цього, отримання оперативних даних, пов'язаних із суттєвими змінами швидкоплинних в часі умов протікання технологічного процесу, проблематично. Оперативність отримання інформації може бути забезпечена при безперервності вимірювань, що суттєво ускладнює процедуру проведення експериментів. Тому експериментальний метод доцільно застосовувати, реалізуючи процедуру періодичних вимірювань, що прийнятно для технологічних процесів з порівняно стабі-

льними в часі параметрами енергоспоживання. В той же час слід віддати належне високій достовірності отриманих значень витрат енергії, де похибка вимірювання визначається класом точності застосованих вимірювальних приладів.

Розрахунково-аналітичний метод дозволяє здійснити розрахунок витрат енергії, використовуючи аналітичні залежності, що зв'язують рівні витрат з параметрами, від яких вони залежать. Ураховуючи той факт, що кількість таких параметрів, як правило, значна, отримані для розрахунку залежності мають складну структуру і малоприматні для інженерних розрахунків. Тому в практиці використовують більш прості залежності, які дозволяють оцінити рівень витрат енергії і не претендують на високу точність отриманих результатів. Зазвичай ці залежності використовують паспортні дані обладнання і враховують ступінь його завантаження в технологічному процесі. Режими роботи обладнання враховуються шляхом застосування різних коефіцієнтів (увімкнення, завантаження і т.п.). Ці коефіцієнти в довідниковій літературі задають в певних межах їх можливих значень, що приводять до неможливості визначення конкретних значень і суттєво знижує точність (і достовірність) розрахунків. Так же, як і в експериментальному методі, розрахунки витрат енергії здійснюють для кожного елементу технологічної лінії окремо, що дозволяє складати енергетичні баланси технологічних процесів і визначити найбільш енерговитратні елементи системи. Поетапний розрахунок витрат енергії зумовлює значну трудомісткість методу. В той же час наявність аналітичних залежностей сприяє поглибленню аналізу, спрощує пошук енергоефективних рішень у випадку приведення фактичних енерговитрат до нормованих значень.

Як приклад, проаналізуємо методику розрахунку питомих норм витрат електроенергії на основні і допоміжні технологічні процеси, викладену в [9]. Методика передбачає знаходження суми значень норм витрат енергії окремих складових

$$H = H_{\tau} + a_{\text{дон}} + a_{\text{ос}} + \Delta a_{\text{ем}} + \Delta a_{\text{мп}} \quad (2)$$

де  $H_{\tau}$ ,  $a_{\text{дон}}$  – норми витрат електроенергії на технологічні та допоміжні потреби;  $a_{\text{ос}}$  – норми витрат електроенергії на освітлення;  $\Delta a_{\text{ем}}$ ,  $\Delta a_{\text{мп}}$  – норми витрат енергії в електричних мережах, трансформаторах.

При використанні залежності (2) слід пам'ятати, що питомі витрати енергії, як правило, залежать від обсягу випущеної продукції і цю залежність слід враховувати.

Витрати електроенергії на виконання і-тої технологічної операції [10]

$$W_{\text{Т.і.}} = n \cdot P_H \cdot t \cdot \kappa_u \cdot N \quad (3)$$

де  $n$  – кількість установок,  $P_H$  – номінальна потуж-

ність однієї установки;  $t$  – тривалість роботи установки протягом доби;  $N$  – період роботи установки;  $\kappa_u$  – коефіцієнт використання установки.

У формулі (3) використовують середні значення коефіцієнта  $\kappa_u$ , що призводить до певної похибки при визначенні  $W_{\text{Т.і.}}$ . Наведені приклади з використанням залежностей (2) і (3) свідчать про те, що при застосуванні розрахунково-аналітичного методу часто користуються спрощеною структурою використаної аналітичної залежності, уведенням в формулу змінних, значення яких не є чітко визначеними, що, безумовно, знижує точність отриманих результатів. Така ситуація є типовою. При цьому, як правило, не звертають увагу на необхідність визначення похибки, яка супроводжує розрахунок в конкретних умовах. Зрозуміло також, що для вирішення деяких завдань (наприклад, орієнтовної оцінки питомих витрат енергії при загальнозаводському та галузевому плануванні) такий підхід є прийнятним, але при вирішенні завдань енергозбереження, де необхідно здійснювати жорсткий контроль ефективності використання енергії, застосування розрахунково-аналітичного методу потребує його удосконалення.

При контролі ефективності споживання енергії важливе значення має оперативність розрахунку нормованих значень витрат енергії. Так як розрахунки здійснюють, застосовуючи аналітичні залежності, то важливо враховувати зміни параметрів в цих залежностях, які відбулися в процесі виробництва продукції. Виникає необхідність їх вимірювання, що потребує додаткових витрат часу. Значна кількість необхідних розрахунків не сприяє підвищенню оперативності отримання кінцевого результату (значення питомої норми витрат енергії). Прискорення процесу можливе при використанні комп'ютерної техніки з програмним забезпеченням, яке формалізує і прискорює процедуру розрахунку.

Статистичний метод нормування як питомих, так і загальних витрат енергії є найменш трудомістким у порівнянні з розглянутими методами і передбачає реєстрацію значень споживання енергії в заданий термін часу (доба, зміна, цикл роботи обладнання) та відповідних значень обсягу випуску продукції [2,5,6]. Метод широко використовують в закордонній практиці контролю енергоспоживання. Розширюються і удосконалюються підходи до його застосування на вітчизняних промислових підприємствах. Важливим моментом статистичного підходу нормування є синхронна фіксація значень витрат енергії і відповідних значень обсягів випуску продукції. Це важлива вимога, так як зміщення фіксованих значень у часі не дозволяє отримати об'єктивну інформацію стосовно фактичних питомих витрат енергії, виключає її достовірність. Вимога важлива також з точки зору реалізації необхідної кількості лічильників енергії, обґрунтування розташування вузлів обліку. Зазвичай мова йде про споживання енергії цехом, підрозділом підприємства, енергоємним агрегатом. Важлива деталь полягає

у тому, що метод не передбачає обов'язкову реєстрацію енергоспоживання окремих складових технологічного процесу виробництва продукції. Часто лічильник фіксує витрати енергії технологічною лінією в цілому. Це дещо звужує можливості пошуку результативних дій у сфері енергозбереження, так як існує невизначеність найбільш енергоємних складових і, відповідно, невідомі підходи до зниження їх рівня. У процесі контролю енергоспоживання не завжди зрозуміло, що стало причиною перевитрат енергії в заданий період часу і які співвідношення витрат окремих складових процесу. Необхідність отримання такої інформації очевидна, так як її відсутність може привести до реалізації невірних управлінських рішень.

Розглянемо процедуру отримання інформації для застосування статистичного методу. В [7] запропоновано виконати не менше 50 вимірювань витрат енергії і відповідних обсягів продукції, але обґрунтування цієї цифри не надано. Між тим, існують причини, які визначають необхідність проведення певної кількості вимірювань, і ці причини пов'язані в першу чергу з точністю отриманих нормованих значень. Їх слід урахувувати. Наступний крок полягає в аналізі отриманих даних [7]. Якщо отримані експериментальні дані питомих витрат енергії відрізняються незначно і підпорядковуються нормальному (Гаусовому) закону розподілу, то нормоване значення визначають як середнє значення питомих витрат енергії  $W_{cp}$ . Визначають також середньоквадратичне відхилення випадкової величини цих витрат  $\delta$ . Це дозволяє сформулювати довірчий інтервал для випадкової величини, що, по суті, визначає похибку отриманого нормованого значення. Але слід наголосити на тому, що визначені межі стосуються точності нормування самої випадкової величини і потребують обґрунтування того, які рівні відхилень від середнього значення  $W_{cp}$  є прийнятними і відповідають раціональному використанню енергії, а які розташовані поза його межами. В [7] показано, що значення відхилень можуть бути прийнятими на рівні  $W_{cp} \pm 1,5 \cdot \delta$ . При цьому за межами діапазону залишаються 10-20% значень питомих витрат енергії. Зрозуміло, що тільки незначна кількість експериментальних даних буде потребувати додаткового аналізу з точки зору раціональності використання енергоресурсів, хоча в дійсності близько 50% експериментальних значень свідчать про відхилення від середнього рівня  $W_{cp}$  в бік завищеного енергоспоживання.

Таким чином, переваги статистичного методу нормування витрат енергії наступні:

- оперативність отримання та обробки інформації, низька трудомісткість розрахунку питомих норм;
- метод базується на експериментальних даних, отриманих шляхом проведення експерименту в умовах конкретного виробничого процесу, що гарантує відсутність значних похибок при визначенні питомих норм енергоспоживання;

- в окремих випадках, пов'язаних з визначенням законом розподілу випадкових величин питомого енергоспоживання, існує можливість оцінки точності визначення питомих норм у вигляді їх відхилень від середнього значення  $W_{cp}$ ;

- при визначенні питомих норм існує можливість урахування ряду факторів, які впливають на процес енергоспоживання, у вигляді встановленої статистичної залежності показника норми від перерахованих чинників. Це принципово важливо при наявності нестабільності цих факторів у процесі виробництва продукції. Ігнорування зміни факторів впливу знижує точність розрахунку питомих норм енергоспоживання;

- існує можливість визначення ступеня впливу окремих факторів на кінцевий результат нормування і, відповідно, пошуку прийнятних рішень для управління процесом із забезпеченням режиму раціонального використання енергоресурсів. Існує також можливість коригування цього впливу при зміні умов виробництва;

- при визначеній точності нормованого значення енергоспоживання існує можливість обґрунтування режиму нераціонального використання енергії з високим ступенем достовірності його існування (виходячи із значення довірчої ймовірності).

Недоліки статистичного методу нормування полягають у наступному:

- обмеженість сфери застосування визначених норм умовами конкретного виробництва;

- відсутність чіткого механізму визначення причини виникнення перевитрат енергії;

- відсутність інтегральних характеристик, що відтворюють досягнення підприємства в сфері підвищення енергоефективності в певному проміжку часу;

- відсутність лінійної залежності між питомими витратами енергії і обсягом продукції, що часто призводить до необхідності застосування статистичної залежності іншого типу (нелінійної) з використанням порівняно складного математичного апарату.

- Процедура нормування питомих витрат енергії є невід'ємною складовою контролю енергоефективності і, відповідно, управління енергоспоживанням. Дієве управління можливе при наявності всебічної інформації стосовно реального стану об'єкту контролю. Наявність оперативної інформації дозволяє ідентифікувати причину і своєчасно реагувати на відхилення енергоспоживання від встановленої норми. Інтегральні характеристики енергоспоживання характеризують динаміку змін, що відбуваються в тривалих проміжках часу і відповідають існуючим тенденціям процесу. Переваги статистичного методу можуть біти повною мірою реалізовані, а недоліки частково усунені завдяки поглибленню наукових досліджень в рамках розширення інформативності контролю, підвищення його оперативності та достовірності, що є важливим для сучасних промислових підприємств, працюючих в ринкових умовах. Передумови для цьо-

го існують. Обґрунтована параметризація статистичної моделі, прийнятні для змінної структури і режимів енергоспоживання способи обробки експериментальних даних здатні створити сприятливі умови для підвищення точності моделі, достовірності контролю, розширення його інформативності.

При застосуванні відомих методів нормування рівнів споживання енергетичних ресурсів часто використовують підхід, що передбачає розрахунок прогресивних норм використання енергії. Передбачається, що розраховані нормовані значення питомих витрат енергії повинні включати складові зниження витрат, зумовлені впровадженням заходів з енергозбереження в період дії розрахованих норм. Таким чином, заздальгідь впроваджується механізм контролю за виконанням намічених заходів з енергозбереження. Невиконання заходів розглядається як наявність «перевитрат енергії» з відповідними наслідками для колективу виконавців. Такий підхід ставить колектив в жорсткі рамки взятих зобов'язань. Причому встановлені межі майбутньої економії не завжди мають чітке і зрозуміле обґрунтування. Як правило, планується зниження енергоспоживання на декілька відсотків по відношенню до зафіксованого раніше рівня. Звідси ясно, що уведення прогресивних норм енергоспоживання потребує всебічного обґрунтування рівня очікуваної економії енергоресурсів і, відповідно, не є простим завданням. Відсутність належного обґрунтування слід розглядати як недолік застосування прогресивних норм енергоспоживання, який у першу чергу знижує точність прогнозу. На погляд авторів статті, більш вдалим рішенням при формуванні норми енергоспоживання є визначення середнього значення цього параметра в умовах, в яких здійснюється процедура контролю. Тоді реалізація заходів з енергозбереження призведе до зменшення значень  $\Delta B_{\phi}$  в формулі (1).

А  $\Delta B_C$  стане від'ємним, що повною мірою відповідає формулюванню поняття «енергоефективність» як зменшення кількості використаної енергії по відношенню до нормованого значення  $B_H$ .

Виконаний аналіз дозволяє визначити найбільш характерні риси розглянутих методів розрахунку, які у більшості випадків їм притаманні (табл. 1).

**Таблиця 1.** Аналіз методів розрахунку питомих норм енергоспоживання

Метод розрахунку питомих норм енергоспоживання	Точність розрахунку	Трудомісткість розрахунку	Складові енергобалансу
Експериментальний	Висока при стабільних параметрах процесу виробництва продукції	висока	Визначаються
Розрахунковий	низька	висока	Визнача-

во-аналітичний			ються
Статистичний	Висока з можливістю визначення похибки розрахунку	низька	Не визначаються

Ці риси значною мірою визначають прийнятні сфери застосування відомих методів, виходячи з точності та трудомісткості розрахунку, його інформативності. Визначені недоліки та переваги статистичного методу дозволяють розглядати його найбільш прийнятним для специфічних умов нормування показників питомого енергоспоживання сучасних промислових підприємств, що працюють в конкурентних умовах ринкової економіки.

## V. ВИСНОВКИ

1. В сучасних умовах промислового виробництва існуючі методи нормування питомого споживання енергії не завжди забезпечують високу точність розрахунку прогнозованого значення показника енергоефективності. Це виключає можливість отримання достовірного висновку стосовно економії або перевитрат енергії об'єктом контролю, створює ситуацію невизначеності в оцінці дій обслуговуючого персоналу підприємства в сфері енергозбереження.

2. Різноманіття існуючих питомих норм споживання енергії зумовлено широкою сферою застосування цих показників в процесі контролю енергоефективності процесу виробництва промислової продукції. Існуючі методи їх розрахунку орієнтовані на конкретні умови енергоспоживання, мають різну трудомісткість, забезпечують різну ступінь точності визначення показників та інформативність процесу контролю.

3. Виконано аналіз переваг та недоліків статистичного методу розрахунку. Низька трудомісткість методу, висока для практики нормування точність результату, що зумовлена використанням експериментальних даних, можливість визначення статистичної похибки розрахунку питомих норм витрат енергії, дозволяють вважати його найбільш прийнятним для вирішення завдань оперативного контролю ефективності використання енергії в сучасних умовах промислового виробництва. Існують можливості його удосконалення з метою розширення інформативності та підвищення достовірності контролю.

4. Розширення інформативності оперативного контролю енергоспоживання слід в першу чергу розглядати з точки зору визначення причин перевитрат або економії енергії, співвідношення чинників, що впливають на отриманий результат. Визначення інтегральних характеристик енергоспоживання дозволить відслідковувати динаміку довгострокових змін, визначати існуючу тенденцію процесу. Пошук можливостей для розширення інформативності та підвищення достовірності контролю доцільно зосередити

на удосконаленні статистичної моделі для нормування питомого енергоспоживання.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Дубровский Н.А. Конкурентоспособность продукции и основные пути ее достижения/ Н.А. Дубровский, П.И. Лещенко// Весник Полоцкого Государственного университета.– 2010. –№4. –С.66-71.
- [2] Шаюхов Т.Т. Расчет удельных норм и прогнозирование электропотребления на промышленных предприятиях/ Т.Т. Шаюхов// Инновационный транспорт.– 2016. –№3. –С.8-12.
- [3] Кудрин Б.И. Концепция электросбережения в государственных стандартах и ее практическая реализуемость/ Б.И. Кудрин// Электрика.– 2002. –№1. –С.3-13.
- [4] Никифоров Г.В. Концепция электросбережения в государственных стандартах и ее практическая реализуемость/ Г.В. Никифоров, В.К. Олейников, Б.И. Заславец. – М.: Энергоиздат, 2003. – 480 с.
- [5] Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення: навч. посібник/ Г.Г. Півняк, С.І. Випанасенко. О.І. Хованська, Ю.В. Хацкевич, Н.С. Дрешпак. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 214 с.
- [6] Электроснабжение потребителей и режимы: учебн. пособие/ Б.И. Кудрин, Б.И. Жилин, Ю.В. Матюнин. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 412 с.
- [7] «Про енергозбереження» [Електронний ресурс]: Закон України [Прийнятий постановою Верховної Ради України № 75/94-ВР від 01.07.94.– Режим доступу:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>
- [8] Дрешпак Н.С. Системи контролю енергоефективності виробничих процесів та шляхи їх удосконалення/ Н.С. Дрешпак// Електротехніка та електроенергетика.– 2020. –№1. –С.40-48.
- [9] Методика визначення нераціонального (неефективного) використання паливно-енергетичних ресурсів: методичні рекомендації/ Національне агентство України з питань ефективного використання енергетичних ресурсів. – Київ, 2009. – 25 с.
- [10] Методические рекомендации по нормированию топливно-энергетических ресурсов для организаций системы: методические рекомендации/ Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 141 с.
- [11] Vypanasenko S., Dreshpak N. (2013) The features of energy efficiency measurement and control of production processes Energy efficiency improvement of geotechnical systems, 1, 71-78.
- [12] Vypanasenko S., Dreshpak N. (2015) Informational and methodological support for energy efficiency control Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems, 2, 53-57.
- [13] Rambabu Pothina, Vladislav Kecojevic (2007). A Gyrotory Crusher Model and Impact Parameters Related to Energy Consumption. Minerals and Metallurgical Processing, 24(3), 170-180.
- [14] Aslaksen E. (2008) Designing complex systems. Foundations of design in the functional domain. Auerbach publications, 176.
- [15] Barrera D., Diaz M. (2011) Communicating systems with UML 2. Modeling and analysis of network protocols. ISTE ltd, 268.
- [16] Boehm B. (2010) A spiral model of software development and enhancement. Object management group, 180.
- [17] Adamatzky A. (2017) Advantages in unconventional computing. Prototypes, Models and Algorithms. Springer International Publishing, 812.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2021

## УДЕЛЬНЫЕ НОРМЫ РАСХОДА ЭНЕРГИИ В ЗАДАНИИ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

ДРЕШПАК Н.С.

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники Национального технического университета «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: dreshpak.n.s@nmu.one.

ДРЕШПАК А.С.

канд. техн. наук, доцент кафедры технологического инжиниринга переработки материалов Национального технического университета «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: dreshpak.o.s@nmu.one.

ВЫПАНАСЕНКО С.И.

докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры электроэнергетики Национального технического университета «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: vypanasenko.s.i@nmu.one.

**Цель работы.** Анализ существующих методов нормирования удельных затрат энергии и определения метода, приемлемого для нормирования показателя энергоэффективности при наличии быстротечных структур.

турных и режимных изменений в энергопотреблении современного промышленного предприятия.

**Методы исследования.** Анализ существующих методов нормирования удельных затрат энергии, определение их недостатков и преимуществ. Сопоставление возможностей этих методов с требованиями нормирования показателей удельного энергопотребления в условиях современного производства.

**Полученные результаты.** Определена необходимость повышения точности расчета удельных норм расхода энергии в задачах контроля эффективности ее использования. Это обеспечивает четкое разграничение режимов “рационального” и “нерационального” использования энергоносителей, способствует объективной оценке вклада в этот процесс действий обслуживающего персонала предприятия. Проанализированы существующие методы расчета удельных норм. Определена степень их приемлемости для решения задач нормирования показателей энергопотребления в современных условиях производства. Показано, что точность расчета экспериментальным методом высока при стабильных параметрах, влияющих на процесс энергопотребления. Расчетно-аналитический метод, как правило, не обеспечивает низкой погрешности расчета, имеет значительную трудоемкость, что ограничивает его использование в условиях повышенной оперативности контроля. В условиях контроля энергопотребления, характеризующихся существенными структурными и режимными изменениями, наиболее приемлемым является статистический метод нормирования, который характеризуется сравнительно низкими трудоемкостью и статистической погрешностью расчета, обусловленной применением экспериментальных данных. Раскрыты преимущества и недостатки метода. Возможность повышения информативности контроля следует увязывать с усовершенствованием статистической модели. Расширение оперативной информации, определение интегральных характеристик энергопотребления способствует формированию рациональных управленческих решений, обеспечению высокой энергоэффективности процесса производства промышленной продукции.

**Научная новизна.** Впервые предложено использование статистического метода нормирования удельного потребления энергии в системе контроля энергоэффективности производственных процессов при быстротечных структурных и режимных изменениях энергопотребления объекта. Акцентировано внимание на существенной зависимости показателя достоверности результатов контроля энергоэффективности производственного процесса (наличия экономии или перерасхода энергии) от точности расчета удельных норм расхода энергии. Определена зависимость оценки деятельности коллектива предприятия в сфере энергосбережения от достигнутой точности нормирования энергопотребления. Раскрыты перспективы усовершенствования метода в системе контроля энергоэффективности.

**Практическая ценность** состоит в определении приемлемого для условий современного промышленного производства метода нормирования удельных затрат энергии, а также путей его усовершенствования.

**Ключевые слова:** Контроль энергоэффективности; статистический метод, точность нормирования; достоверность контроля.

## SPECIFIC STANDARDS OF ENERGY CONSUMPTION IN THE PROBLEM OF CONTROLLING ITS USE EFFICIENCY

DRESHPAK N.S. Ph.D, associate professor, associate professor of electrical engineering department at Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: dreshpak.n.s@nmu.one.

DRESHPAK O.S. Ph.D, associate professor of the department of technological engineering of materials processing at Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: dreshpak.n.s@nmu.one.

VYPANASENKO S.I. Dr. tech. sciences, professor, professor of the department of power engineering at Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: vypanasenko.s.i@nmu.one.

**Purpose.** Analysis of the existing methods of specific energy consumption standardization and determination of the method acceptable for the standardization in conditions of transient structural and regime changes in energy consumption at a modern industrial enterprise.

**Methodology.** Analysis of the existing methods of specific energy consumption standardization, identification of their disadvantages and advantages. Comparison of the possibilities of these methods with the requirements for the specific energy consumption standardization in modern production.

**Findings.** Emphasis is focused on the significant dependence between reliability of the results of energy efficiency control of the production process (savings or overconsumption of energy) and the accuracy of the calculation of specific norms of energy consumption. The dependence between the assessments of the enterprise's staff energy saving activity and the achieved accuracy of energy consumption standardization is determined. It is highlighted that in energy efficiency standardization practice, the existing methods are focused on the production conditions, where their benefits are fully revealed. It is proved that due to the increased accuracy of the standardization, efficiency of obtaining and processing information, the statistical method is the most acceptable for the conditions of transient structural and re-



gime changes in the power consumption of the object. Prospects for improving the method of energy efficiency control are described.

**Originality.** For the first time, the use of the statistical method of specific energy consumption standardization in the system of energy efficiency control of production processes with rapid structural and regime changes in energy consumption of the object is proposed.

**Practical value** is to determine an acceptable method of specific energy consumption standardization in the conditions of modern industrial production, as well as ways to improve it.

**Keywords:** Energy efficiency control; statistical method, accuracy of standardization; reliability of the control.

## REFERENCES

- [1] Dubrovskij, N.A., Leshenko, P.I. (2010) Konkurentosposobnost proizvodcii i osnovnye puti ee dostizheniya Polotsk State University Bulletin, 4, 66-71 (in Russian).
- [2] Shayuhov, T.T. (2016) Raschet udelnyh norm i prognozirovanie elektropotrebleniya na promyshlennyh predpriyatiyah Innovative transport, 3, 8-12 (in Russian).
- [3] Kudrin, B.I. (2002) Konceptiya elektrosberezheniya v gosudarstvennyh standartah i ee prakticheskaya realizuemost. Electrician, 1, 3-13 (in Russian).
- [4] Nikiforov, G.V., Olejnikov, V.K., Zaslavec, B.I. (2006) Konceptiya elektrosberezheniya v gosudarstvennyh standartah i ee prakticheskaya realizuemost. M: Energoizdat, 480 (in Russian).
- [5] Pivnyak, G.G., Vypanasenko, S.I., Hovanskaya, O.I., Hatskevych, U.V., Dreshpak, N.S. (2013). Systemy enerhomenedzhmentu ta yikh matematychno zabezpechennia. D.: Natsionalnyi hirnychy universytet, 214 (in Ukrainian).
- [6] Kudrin, B.I., Zhilin, B.I., Matyunin, Y.V. (2013) Elektrosnabzhenie potrebitel'ev i rezhimy. D: Natsionalnij girmichij univer-sitet, 412. (in Russian).
- [7] «Pro energozberezheniya» [Elektronnij resurs]: Zakon Ukrayini [Priynyatij postanovo Verkhovnoyi Radi Ukrayini № 75/94-BP від 01.07.94.– Rezhim dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80> (in Ukrainian).
- [8] Dreshpak, N.S. (2020) Sistemi kontrolyu energoefektyvnosti virobnychih procesiv ta shlyahi yih udoskonalennya. Electrical engineering and electrical energy, 1, 40-48 (in Ukrainian).
- [9] Nacionalne agentstvo Ukrayini z pi-tan effektivnogo vikoristannya energetichnih resursiv (2009) Metodika viznachennya neracionalnogo (neefektyvnogo) vikoristannya palivno-energetichnih resursiv. Kyiv:GO (in Ukrainian).
- [10] Ministerstva selskogo hozyajstva i prodovolstviya Respubliki Belarus (2017) Metodicheskie rekomendacii po normirovaniyu toplivno-energeticheskikh resursov dlya organizacii sistemy: metodicheskie rekomendacii. Minsk: GO (in Russian).
- [11] Vypanasenko, S., Dreshpak, N. (2013) The features of energy efficiency measurement and control of production processes Energy efficiency improvement of geotechnical systems, 1, 71-78.
- [12] Vypanasenko, S., Dreshpak, N. (2015) Informational and methodological support for energy efficiency control Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems, 2, 53-57.
- [13] Pothina, R., Kecojevic, V. (2007). A Gyrotory Crusher Model and Impact Parameters Related to Energy Consumption. Minerals and Metallurgical Processing, 24(3), 170-180.
- [14] Aslaksen, E. (2008) Designing complex systems. Foundations of design in the functional domain. Auerbach publications, 176.
- [15] Barrera, D., Diaz, M. (2011) Communicating systems with UML 2. Modeling and analysis of network protocols. ISTE ltd, 268.
- [16] Boehm, B. (2010) A spiral model of software development and enhancement. Object management group, 180.
- [17] Adamatzky, A. (2017) Advantages in unconventional computing. Prototypes, Models and Algorithms. Springer International Publishing, 812.