

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

О. В. Бориченко, В. Ф. Находов

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ КОМПАНІЇ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Автори: *Бориченко Олена Володимирівна*, канд. техн. наук, доц.
Находов Володимир Федорович, д-р техн. наук, доц.

Рецензент *Босак А.В.*, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних
комплексів НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний
редактор *Веремійчук Ю.А.*, кандидат технічних наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 1 від 07.09.2023 р.)
за поданням вченої ради навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту
(протокол № 1 від 31.08.2023 р.)*

Бориченко О. В.
В 19 Методи вимірювання та верифікації енергетичної результативності компанії [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / О. В. Бориченко, В. Ф. Находов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 140 с.

У представленому посібнику викладено основні теоретичні положення, тематика яких охоплює всі розділи дисципліни. Навчальний посібник призначено для вивчення, поглиблення та закріплення теоретичного матеріалу з дисципліни «Методи вимірювання та верифікації енергетичної результативності компанії».

Навчальне видання призначене для здобувачів ступеню магістра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології».

УДК 621.311.003.13

Реєстр. № НП 23/24-032. Обсяг 5,9 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>
Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© О. В. Бориченко, В. Ф. Находов, 2023
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПЕР	10
1.1. Енергозбереження і проблема контролю та аналізу ефективності енерговикористання	10
1.2. Загальна характеристика існуючих показників та підходів до оцінки рівня ефективності використання ПЕР	20
РОЗДІЛ 2. ВИМІРЮВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ НА ОСНОВІ ДЮЧОЇ В УКРАЇНІ СИСТЕМИ НОРМУВАННЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ПЕР (НА ПРИКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ)	40
2.1. Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії (ПОРЯДОК)	40
2.2. Визначення теплового навантаження, планового обсягу виробництва та відпуску тепла з котельної на розрахунковий період	49
2.3. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на виробництво тепла. Нормативні витрати електроенергії тяго-дутьовим обладнанням котельної	55
2.4. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на виробництво тепла. Загальні положення розрахунку нормативних витрат електроенергії насосним обладнанням котельної	60
2.5. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на виробництво тепла. Нормативні витрати електроенергії рециркуляційними насосами котельної	62
2.6. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на виробництво тепла. Нормативні витрати електроенергії насосами сирої води. Нормативні витрати електроенергії насосами хімводообробки, іншими дрібними нагнітачами та допоміжним обладнанням котельної	64
2.7. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на транспортування теплової енергії до центральних та індивідуальних теплових пунктів. Нормативні витрати електроенергії насосами підживлення мереж тепlopостачання та опалення	65
2.8. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на транспортування теплової енергії до центральних та індивідуальних теплових пунктів. Нормативні витрати електроенергії мережевими насосами системи тепlopостачання	68
2.9. Встановлення норм питомої витрати електроенергії на котельній, контроль та аналіз їх виконання	70
РОЗДІЛ 3. ВСТАНОВЛЕННЯ «ПРОСТИХ» ТА НАСКРІЗНИХ НОРМ ПИТОМОЇ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ З ШИРОКИМ АСОРТИМЕНТОМ ПРОДУКЦІЇ, ЩО ВИРОБЛЯЄТЬСЯ	78
3.1. Склад норм питомої витрати електроенергії для підприємств з широким асортиментом продукції	79

3.2. Розрахунок «простих» та наскрізних норм питомої витрати електроенергії	83
3.3. Переваги та недоліки існуючої в Україні системи нормування питомих витрат ПЕР	89
РОЗДІЛ 4. ВИМІРЮВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ	102
4.1. Система енергетичного менеджменту та її основні елементи. Місце та значення контролю і аналізу енергоефективності в системі енергоменеджменту	102
4.2. Загальні відомості про побудову та функціонування традиційних систем контролю і планування енергоспоживання (систем КіП). Недоліки традиційних методів побудови і використання систем КіП	109
4.3. Побудова і функціонування систем оперативного контролю та аналізу енергоефективності. Встановлення базових ліній енергоспоживання у вигляді константи	113
4.4. Побудова і функціонування систем оперативного контролю та аналізу енергоефективності. Встановлення базових ліній споживання ПЕР на основі рівнянь однофакторної та багатфакторної регресії	121
4.5. Побудова і функціонування систем оперативного контролю та аналізу енергоефективності. Застосування ймовірно-статистичних методів для оперативного контролю та аналізу енергоефективності (на прикладі використання методу безперервного аналізу А.Вальда)	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	137

ВСТУП

Однією з найбільш актуальних проблем для України є забезпечення раціонального, ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), тобто практичне вирішення питань енергозбереження в усіх ланках національної економіки.

Необхідність якнайскорішого практичного вирішення задач енергозбереження стає все більш очевидною. Поступово енергозбереження починає усвідомлюватися в українському суспільстві як додаткове, значне і цілком реальне «джерело» ПЕР, як один з найбільш економічних шляхів досягнення енергетичної безпеки держави.

Безумовно, основною запорукою успішного вирішення проблеми підвищення енергетичної ефективності національної економіки є формування та практична реалізація державної політики у сфері енергозбереження, зокрема, шляхом систематичного управління розробкою, впровадженням та використанням енергозберігаючого обладнання, заходів і технологій, яке має здійснюватися як на державному, так і на регіональному та галузевому рівнях.

При цьому є цілком очевидним, що управління ефективністю використання ПЕР має здійснюватися не тільки відповідними державними чи регіональними інституціями, але також і самими споживачами палива та енергії (підприємствами, організаціями, установами).

Для створення і функціонування дієвої системи управління енергозбереженням на всіх рівнях господарювання потрібно вирішити чимало проблем технічного, економічного, організаційного і законодавчого характеру.

Однак при цьому не менш важливо звернути увагу також на низку, так би мовити, «супутніх» проблем, без вирішення яких досягнення помітних практичних результатів у сфері енергозбереження є неможливим. Зокрема, серед численних невирішених проблем у цій сфері особливої уваги зараз вимагає одне питання, без вирішення якого в принципі неможливо створити і коректно

застосовувати ні адміністративні, ні економічні механізми управління енергозбереженням.

Мова йде про необхідність вирішення задач об'єктивної кількісної оцінки, контролю і аналізу рівня ефективності використання ПЕР як для технологічного та енергетичного обладнання (окремих машин, установок, агрегатів, технологічних процесів), так і для виробничо-господарських об'єктів в цілому (для підприємств, організацій, установ, їх підрозділів, а також для галузей економіки, регіонів держави тощо).

Крім того, що зазначені задачі являють собою загальні функції та пов'язуючі процеси, без виконання яких не може функціонувати жодна система управління, зокрема, і система управління енергозбереженням, необхідно пам'ятати, що практична діяльність у сфері енергозбереження на будь-якому технологічному чи виробничо-господарському об'єкті починається з проведення енергетичного аудиту. При цьому одним з перших завдань енергоаудиту є саме одержання відповіді на питання, наскільки ефективно (чи неефективно) на цьому об'єкті використовуються ПЕР.

Є очевидним, що відповідь на це питання необхідно одержати кількісну і максимально об'єктивну, оскільки від відповіді на це питання суттєво залежатиме, чи буде взагалі технічно можливим і економічно доцільним вирішення задач енергозбереження на тому чи іншому об'єкті. Тільки коректна відповідь на це питання дозволяє кількісно оцінити реально існуючий на даному об'єкті потенціал енергозбереження, а також визначити, які напрямки і конкретні проекти енергозбереження є для нього пріоритетними.

Тобто, виконання таких функцій управління як планування енергозбереження на рівні підприємств, організацій, установ обов'язково має базуватися на об'єктивній кількісній оцінці та аналізі ефективності використання ПЕР на відповідних об'єктах. Звичайно, аналогічне твердження є цілком справедливим також і для більш високих рівнів управління економікою (галузевого, регіонального та загальнодержавного).

Є очевидним, що в процесі виконання вже прийнятих проектів і програм енергозбереження не менш важливим є систематично пересвідчуватись, що ефективність використання палива чи енергії в результаті цих проектів і програм дійсно підвищилася, що заплановане енергозбереження дійсно систематично досягається. Зокрема, через це вирішення задач у сфері енергозбереження потребує постійного (у тому числі, і оперативного) управління, в процесі здійснення якого обов'язково необхідно виконувати такі функції як контроль та аналіз ефективності використання ПЕР.

Таким чином можна стверджувати, що однією з необхідних умов досягнення помітних практичних результатів у сфері енергозбереження є успішне вирішення задачі об'єктивної кількісної оцінки, контролю і аналізу ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для різних технологічних і виробничо-господарських об'єктів.

Однак на сьогоднішній день практично відсутня навчальна література, яка б містила необхідний обсяг теоретичного матеріалу для вивчення даної дисципліни. Тому видання навчального посібнику з дисциплін «Методи вимірювання та верифікації енергетичної результативності компанії» є актуальним та доцільним. Використання даного матеріалу дозволить покращити методику проведення лекційних занять з зазначеної дисципліни, а також полегшить самостійну роботу студентів навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту, які навчаються за освітньо-професійною програмою підготовки магістра «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології».

Метою викладання дисципліни є закріплення теоретичних знань та набуття студентами практичних навичок здійснення контролю та аналізу ефективності використання ПЕР на основі діючих в Україні методик нормування питомих витрат палива та енергії, а також засвоєння студентами теоретичних знань та одержання базових практичних навичок визначення, контролю та аналізу рівня енергетичної ефективності функціонування технологічного і енергетичного обладнання, а також виробничих, комерційних і комунально-

побутових об'єктів з використанням методів, альтернативних нормуванню питомих витрат ПЕР.

Предметом вивчення дисципліни є можливі та доцільні підходи, методи і способи кількісної оцінки рівня енергоефективності, а також здійснення контролю і аналізу ефективності використання ПЕР для різних технологічних і виробничо-господарських об'єктів.

Компетентності: (K03) Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; (K11) Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки; (K13) Здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проектно-конструкторських рішень в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки; (K16) Здатність керувати проектами і оцінювати їх результати; (K22) Здатність вимірювати та верифікувати енергетичну результативність з використанням показників енергоефективності та базових рівнів енергоспоживання в системі енергетичного менеджменту; (K23) Здатність будувати баланси енергоспоживання організацій та визначати суттєве споживання енергії для потенційного поліпшення енергетичної результативності в системі енергетичного менеджменту.

Програмні результати навчання: (ПР03) Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах; (ПР16) Вміти будувати енергетичні баланси енергоспоживання організацій та визначати суттєве споживання енергії для потенційного поліпшення енергетичної результативності в системі енергетичного менеджменту; (ПР17) Вимірювати та верифікувати енергетичну результативність з використанням базових рівнів енергоспоживання і показників енергоефективності в системі енергетичного менеджменту.

Навчальна дисципліна включає чотири розділів:

– Розділ 1. Проблема контролю та аналізу ефективності використання ПЕР.

– Розділ 2. Вимірювання та верифікація енергетичної результативності на основі діючої в Україні системи нормування питомих витрат ПЕР (на прикладі підприємств теплоенергетики).

– Розділ 3. Встановлення «простих» та наскрізних норм питомої витрати електроенергії для підприємств з широким асортиментом продукції, що виробляється.

– Розділ 4. Вимірювання та верифікація енергетичної результативності в системах енергетичного менеджменту.

Використання даного матеріалу дозволить покращити методику проведення лекційних занять з навчальної дисципліни, а також полегшить самостійну роботу здобувачів ступеня магістра за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПЕР

1.1. Енергозбереження і проблема контролю та аналізу ефективності енерговикористання

Однією з найбільш актуальних, життєво важливих проблем практично для всіх країн Східної Європи, в тому числі і для країн СНД, є забезпечення раціонального, ефективного використання енергетичних ресурсів, тобто рішення задач енергозбереження в усіх галузях і сферах національної економіки. Як відомо, в економічно розвинених країнах світу, зокрема у Західній Європі, цим питанням приділяється велика увага.

Необхідність якнайшвидшого практичного вирішення завдань енергозбереження стає все більш очевидною. Поступово енергозбереження починає усвідомлюватися в суспільстві як додаткове, досить істотне і цілком реальне «джерело» енергетичних ресурсів, як один з найбільш економічних шляхів досягнення енергетичної безпеки будь-якої держави.

З іншого боку, необхідно розуміти, що це аж ніяк не найшвидший і легкий шлях вирішення енергетичних проблем, які все більш загострюються. Цілком очевидно, що вирішення задач енергозбереження вимагає чималих грошових витрат, а також значних витрат часу на створення і широке впровадження альтернативних джерел енергії, енергоефективного обладнання і технологій. Однак у зв'язку з цим не менш важливо звернути увагу також на ряд «супутніх» проблем, без вирішення яких досягнення помітних практичних результатів у сфері енергоефективності може виявитися просто неможливим. Наявність невирішених «супутніх» проблем, а також їх вплив на результати енергозбереження можна проілюструвати на прикладі нашої держави.

З численних публікацій відомо, що інтегральний показник енергетичної ефективності економіки – енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП) в Україні протягом багатьох десятиліть в три-п'ять разів перевищує значення

аналогічного показника, який досягнутий в економічно розвинених країнах світу. Тобто, в країні є величезний потенціал енергозбереження, який за оцінками фахівців складає 42 ... 48% від загального обсягу енергетичних ресурсів. Використання цього потенціалу дозволило б практично повністю зняти проблему зовнішньої енергетичної залежності держави. Крім того, очевидно, що низька ефективність енерговикористання істотно знижує конкурентоспроможність вітчизняних товаровиробників на зовнішніх ринках, а також негативно позначається на всій економіці країни. Таким чином, необхідність практичного вирішення завдань енергозбереження в Україні ні в кого не викликає сумніву, принаймні, протягом останніх 15 років. Необхідність ця давно назрівала і на всіх рівнях державного управління.

Починаючи з 1995 року, в Україні були створені різні нормативно-правові та методичні документи у сфері енергозбереження. У країні є численні власні науково-дослідні і дослідно-конструкторські розробки в області створення енергоефективного обладнання і технологій, в області впровадження енергоефективних заходів, що дозволило б істотно підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів у багатьох галузях економіки. Досить добре відомий в Україні також і сучасний зарубіжний досвід вирішення проблем енергозбереження.

Проте, не можна сказати, що в країні за останні роки були досягнуті значні практичні результати в цій сфері. Навпаки, починаючи з 1990 року, в Україні відбувалося значне підвищення енергоємності ВВП (більш ніж на 40%), пік якого припадав на 1995-1996 роки. Тільки в 1997-1999 роках цей показник дещо стабілізувався і, навіть, намітилася деяка тенденція до його зниження (у 2000 році було зафіксовано зниження енергоємності ВВП на 6%). Очевидно, що вважати таке підвищення ефективності енерговикористання істотним не можна.

Мабуть, причини такого стану справ були найрізноманітнішими і численними. Однак одну з них, без сумніву, слід вважати основною. Ця причина – недостатній рівень економічної зацікавленості споживачів енергетичних ресурсів у впровадженні енергоефективного обладнання, заходів та технологій,

а також недостатня зацікавленість, як держави, так і інших потенційних інвесторів у вкладенні коштів в енергозбереження (хоча в економічно розвинених країнах світу ця діяльність вважається хорошим бізнесом).

Наслідком цієї причини стало практична відсутність грошових коштів, необхідних на впровадження енергоефективного обладнання, заходів та технологій, що було і є одним з найбільш серйозних перешкод для досягнення в Україні помітних результатів у цій сфері. З одного боку, на підприємствах, в установах і організаціях, де безпосередньо є необхідність і реальні можливості енергозбереження, як правило, «не знаходиться» власних коштів на ці цілі. З іншого боку, фінансування енергозбереження з боку державного бюджету, як і залучення для цих цілей позикових коштів, також є вкрай недостатнім для досягнення значних результатів.

Істотно ускладнює ситуацію, що склалася, недосконалість українського законодавства, яке, зокрема, не дозволяє залучати для цілей енергозбереження кошти, отримані в результаті економії витрат на енергетичні ресурси, досягнутої за рахунок вже впроваджених енергоефективних заходів.

Разом з тим в Україні свого часу було розроблено значну кількість пропозицій щодо можливих і цілком реальних шляхів економічного стимулювання енергозбереження. До них, зокрема, слід віднести:

- широке застосування прийнятого 2000 року Положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників підприємств, організацій та установ за економію енергетичних ресурсів у суспільному виробництві;
- застосування економічних санкцій за нераціональне використання енергетичних ресурсів (відповідну Постанову Кабінету міністрів України було прийнято ще в 1998 році);
- стимулювання раціонального використання енергетичних ресурсів шляхом здійснення державного регулювання цін і тарифів на паливо та енергію;
- впровадження системи оплати праці на підприємствах - постачальниках паливно-енергетичних ресурсів і води з урахуванням економії енергетичних ресурсів;

- впровадження пільгового (50%) оподаткування додаткового прибутку підприємств, отриманого в результаті здійснення проектів з енергоефективності;
- створення суб'єктами господарської діяльності спеціальних фондів енергозбереження, в яких повинні акумулюватися кошти, отримані в результаті впровадження проектів з енергоефективності;
- створення умов для використання коштів фондів енергозбереження на фінансування нових проектів з енергоефективності, на повернення кредитних ресурсів, залучених на ці проекти, на матеріальне стимулювання підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів тощо.

Очевидно, що використання цих пропозицій дозволило б значною мірою вирішити завдання економічного стимулювання підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів у нашій країні, а також істотно поліпшити стан справ з фінансуванням проектів з енергоефективності. Однак більшість цих пропозицій не були законодавчо закріплені, нечисленні ж прийняті документи з різних причин аж до сьогоднішнього дня практично використовуються вкрай рідко.

Таким чином, в Україні в сфері енергозбереження склалася своєрідна ситуація. З одного боку, на всіх рівнях управління державою, економікою ні у кого не викликає сумнівів необхідність і економічна доцільність вирішення завдань енергозбереження. Однак, з іншого боку, розробка і широке впровадження енергоефективного обладнання, заходів, технологій досі не знаходить необхідної державної підтримки: ні фінансової, ні законодавчої. Очевидно, що така ситуація жодним чином не сприяє досягненню значних практичних результатів у цій галузі.

Безумовно, основою успішного вирішення проблеми підвищення енергетичної ефективності національної економіки має стати формування та послідовна практична реалізація державної політики енергозбереження. Крім того, для досягнення необхідних результатів у сфері енергозбереження необхідно систематичне управління цими процесами, перш за все, на державному, регіональному та галузевому рівнях. Очевидно, що в умовах

ринкової економіки державне управління енергозбереженням має здійснюватися виключно економічними методами.

Не менш очевидно, що управління ефективністю використання енергетичних ресурсів має здійснюватися не тільки відповідними державними органами, але також і самими споживачами палива та енергії (підприємствами, установами, організаціями). Тільки при виконанні цієї умови можна очікувати, що в країні поступово почнеться такий необхідний процес цілеспрямованого підвищення ефективності енерговикористання. Без систематичного контролю і управління енергозбереженням, як з боку держави, так і з боку споживачів енергетичних ресурсів, марно сподіватися на досягнення бажаного результату в цій сфері.

Для створення дієвої системи управління енергозбереженням на всіх рівнях господарювання належить вирішити численні питання економічного, організаційного та законодавчого характеру.

Однак серед безлічі невирішених проблем у цій галузі на особливу увагу зараз вимагає ще одне принципове питання, без вирішення якого не можуть бути створені і не можуть коректно застосовуватися ні адміністративні, ні економічні механізми управління енергозбереженням.

Йдеться про необхідність вирішення завдання об'єктивної кількісної оцінки, контролю та аналізу рівня ефективності використання енергетичних ресурсів як для технологічного та енергетичного обладнання (окремих машин, установок, агрегатів, технологічних процесів), так і для виробничо-господарських об'єктів (підприємств, організацій, їх підрозділів, галузей економіки, регіонів держави).

Завдання це вперше виникло ще в 30-ті роки минулого століття в колишньому СРСР. Аж до середини 80-х років її вирішення (в тому числі і в Україні) приділялася досить велика увага. Фахівцями в цій області свого часу були запропоновані різні підходи і шляхи вирішення даного завдання, які в тій чи іншій мірі відповідали актуальним на той період цілям і методам управління ефективністю використання енергетичних ресурсів.

За останні 20 років в нашій країні відбулися докорінні зміни у всіх сферах суспільного життя, економіки. Змінилися форми власності, характер взаємин між суб'єктами виробничо-господарської діяльності і державою тощо. Очевидно, що в зв'язку з цими змінами давно назріло цілком закономірне питання, чи потрібно взагалі вирішувати завдання оцінки, контролю і аналізу ефективності використання палива та енергії в умовах сучасних ринкових відносин в державі? Або в ринкових умовах цілком достатньо того, що споживачі своєчасно, в повному обсязі сплачують за витрачені ними енергоресурси, і контролювати ефективність використання цих ресурсів не треба?

Думки з цього питання, як серед вітчизняних, так і зарубіжних фахівців найчастіше зустрічаються діаметрально протилежні. Думка ж автора з цього приводу цілком певне – держава обов'язково має контролювати ефективність використання енергетичних ресурсів в усіх галузях і сферах суспільного виробництва, не залежно від мети та обсягу споживання енергоресурсів, форм власності або будь-яких інших міркувань. На підтвердження цієї думки можна навести цілий ряд аргументів.

Перш за все, необхідно розуміти, що суспільству просто не може бути байдуже, з якою метою та для чого споживаються енергоресурси. Якщо споживання палива або енергії в будь-якому напрямку з точки зору суспільства нераціонально, неефективно, то просте відшкодування їх вартості за сьогоднішніми цінами і тарифами навряд чи можна вважати достатньою компенсацією. Адже очевидно, що, в силу обмеженості енергоресурсів, не тільки наступним поколінням, а й нинішньому суспільству вже в самому найближчому майбутньому доведеться платити набагато більшу ціну за використання того ж палива або енергії.

Відомо, що для вирішення практичних завдань енергозбереження на будь-якому конкретному об'єкті (на підприємстві, в його структурних підрозділах, в технологічних процесах або на окремих агрегатах) необхідно провести енергетичний аудит. При цьому однією з цілей енергоаудиту є одержання відповіді на питання, наскільки ефективно чи неефективно використовуються на

даному об'єкті енергетичні ресурси. Очевидно, що відповідь на це питання потрібно отримати кількісний і як можна більш об'єктивний.

Від відповіді на це питання суттєво залежить, чи буде взагалі технічно можливим і економічно доцільним рішення задач енергозбереження на тому чи іншому об'єкті. Тільки відповідь на дане питання дозволяє оцінити існуючий на об'єкті потенціал енергозбереження, визначити які напрями і конкретні проекти енергозбереження є для нього пріоритетними. Тобто, планування енергозбереження на рівні підприємств, організацій, установ неодмінно має базуватися на об'єктивній кількісній оцінці та аналізі ефективності використання палива і енергії на відповідних об'єктах.

Очевидно, що аналогічні міркування цілком доречні і для більш високих рівнів управління економікою (державного, регіонального, галузевого). Тобто, і на цих рівнях також було б дуже доцільним вирішувати питання планування енергозбереження (в тому числі і стратегічного) на основі оцінки та аналізу об'єктивних кількісних показників ефективності енерговикористання.

Оцінка та аналіз таких показників, зокрема, для регіонів і галузей суспільного виробництва дозволили б визначити їх реальний потенціал енергозбереження. На цій основі могли б бути визначені пріоритетні регіони держави та галузі економіки, для яких в першу чергу необхідно розробляти і впроваджувати проекти з енергоефективності. Це, в свою чергу, дало б можливість систематизувати процес формування і виконання державних, регіональних і галузевих програм енергозбереження, дозволило б зробити більш раціональним і обґрунтованим розподіл коштів на їх фінансування.

Таким чином, можна сказати, що визначення і аналіз об'єктивних кількісних показників ефективності використання енергетичних ресурсів на всіх рівнях управління економікою є необхідною умовою вироблення оптимальної стратегії енергозбереження в державі.

Крім того, на державному або регіональному рівнях оцінку і аналіз ефективності енерговикористання обов'язково потрібно здійснювати з метою створення відповідних нормативно-правових та економічних умов, що сприяють

реалізації державної політики в сфері енергозбереження. Зокрема, об'єктивна оцінка кількісних показників ефективності використання енергетичних ресурсів вкрай необхідна для створення і коректного використання сучасних (перш за все, економічних) механізмів управління енергозбереженням. Дійсно, чи можливо, наприклад, правильне застосування Положення про матеріальне стимулювання за економію енергетичних ресурсів або коректне застосування економічних санкцій за нераціональне використання енергоресурсів, якщо кількісні критерії оцінки ефективності (або неефективності) енерговикористання не встановлені взагалі або визначені недостатньо об'єктивно?

Очевидно, що в процесі виконання програм енергозбереження (державних, регіональних, галузевих тощо) не менш важливо періодично переконуватися в тому, що ефективність використання палива або енергії в результаті реалізації тих чи інших енергозберігаючих проектів на відповідних об'єктах дійсно підвищилася, що заплановане енергозбереження дійсно систематично досягається.

Саме з цієї причини, як уже зазначалося вище, вирішення задач енергозбереження вимагає постійного (в тому числі і оперативного) управління як на державному, регіональному або галузевому рівні, так і на рівні підприємств, їх підрозділів і навіть окремих енергоємних технологічних процесів або установок. Невід'ємною частиною процесу управління є виконання функцій аналізу і контролю, в даному випадку – контролю ефективності використання енергетичних ресурсів. Здійснення ж такого контролю обов'язково передбачає необхідність визначення як фактичних показників ефективності енерговикористання на відповідних об'єктах, так і їх «еталонних» або «нормативних» значень.

Таким чином, наведені вище міркування дозволяють зробити висновок, що одним з необхідних умов досягнення помітних практичних результатів енергозбереження в нашій країні є вирішення завдання об'єктивної кількісної оцінки, контролю та аналізу рівня ефективності використання палива і енергії для різних технологічних і виробничо-господарських об'єктів. Тільки на основі

коректного вирішення цього завдання на всіх рівнях управління суспільним виробництвом можуть успішно виконуватися, зокрема, такі функції управління енергозбереженням як:

- забезпечення систематичного контролю (в тому числі і оперативного) ефективності використання енергетичних ресурсів у державі, в регіонах, в окремих галузях економіки, на конкретних підприємствах, в організаціях та установах;
- створення і правильне застосування системи економічного стимулювання ефективного використання енергетичних ресурсів, впровадження енергоефективного обладнання, технологій та заходів;
- коректне застосування штрафних санкцій за нераціональне, марнотратне використання енергетичних ресурсів;
- визначення потенціалу енергозбереження, економічної доцільності та пріоритетності здійснення енергозберігаючих проектів на конкретних підприємствах, в галузях суспільного виробництва, в регіонах держави;
- створення і функціонування дієвого механізму залучення інвестицій у сферу енергозбереження;
- здійснення моніторингу реально досягнутого енергозбереження та забезпечення повернення інвестованих коштів.

Отже, коректне вирішення задачі кількісної оцінки, контролю та аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів є об'єктивно необхідною основою успішного вирішення практично всіх питань, що виникають в процесі управління енергозбереженням. Для забезпечення систематичного і цілеспрямованого підвищення енергетичної ефективності вітчизняної економіки завдання оцінки і контролю ефективності використання палива і енергії необхідно вирішувати в сучасних ринкових умовах на всіх рівнях управління суспільним виробництвом, незалежно від форм власності тощо.

Як вже зазначалося вище, дана задача і раніше вирішувалася в Україні протягом багатьох десятиків років. Однак досвід минулих десятиліть переконливо свідчить, що кількісна оцінка, контроль і аналіз ефективності

енерговикористання далеко не завжди здійснювалися досить коректно і об'єктивно. Але головна проблема полягає в тому, що і на сьогоднішній день не можна вважати, що дана задача вирішується в нашій державі щонайменше задовільно.

Запитання для самоперевірки

1. Розкрийте сутність понять «енергозбереження» та «енергоефективність».
2. Охарактеризуйте проблеми, вирішення яких досягається шляхом енергозбереження (глобальні та національні питання, питання бізнесу).
3. Визначте мету та задачі енергозбереження з точки зору держави та підприємства.
4. Охарактеризуйте необхідність вирішення глобальних, національних питань та питань бізнесу для України.
5. Опишіть ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні у порівнянні з економічно розвиненими державами світу.
6. Охарактеризуйте причини незадовільного стану вирішення задач енергозбереження в Україні.
7. Наведіть пропозиції можливих шляхів економічного стимулювання енергозбереження в Україні.
8. Перерахуйте задачі у сфері енергоефективності, вирішення яких є неможливим без здійснення контролю ефективності використання ПЕР.

1.2. Загальна характеристика існуючих показників та підходів до оцінки рівня ефективності використання ПЕР

Незважаючи на різноманітність видів енергетичних ресурсів, споживачів палива і енергії (машин, агрегатів, установок, технологічних процесів тощо), виробничо-господарських об'єктів, для яких необхідно визначати і контролювати рівень ефективності енерговикористання, коло показників енергоефективності та підходів до їх розрахунку досить обмежене.

Найчастіше для практичних цілей використовуються показники енергоефективності, а також їх модифікації, які фактично можна об'єднати у дві групи:

- показники типу коефіцієнта корисної дії;
- показники типу питомої витрати електричної енергії.

Якщо ж ідеться про контроль ефективності використання енергії у промисловості – для технологічних установок чи процесів, або для виробничо-господарських об'єктів у цілому, то кількість показників енергоефективності стає дедалі меншою і обмежується можливістю застосування лише показників питомої витрати енергії.

1.2.1. Контроль та аналіз енергоефективності на основі показників типу коефіцієнту корисної дії (ККД)

Показники енергоефективності цього типу найбільш відомі і широко поширені. До цієї групи показників, зокрема, відносять власне ККД різних машин, агрегатів, установок, технологічних процесів, а також коефіцієнт питомих втрат енергії в обладнанні або в енергетичних мережах.

Коефіцієнт корисної дії будь-якої технологічної або енергетичної установки є відношенням корисної потужності або енергії ($P_{\text{кор}}$) до підведеної до цієї установки потужності або енергії ($P_{\text{підв}}$):

$$\eta = \frac{P_{\text{кор}}}{P_{\text{підв}}}.$$

Подібним же чином визначається інший показник цієї групи – коефіцієнт питомих втрат енергії в агрегаті, установці, технологічному процесі або в мережі. З тією лише різницею, що цей показник визначається як відношення втраченої потужності або енергії ($P_{\text{втр}}$) до підведеної потужності або енергії. Таким чином, сума коефіцієнта питомих втрат енергії в агрегаті або мережі і відповідного показника ККД дорівнює одиниці (або 100%).

Показники ККД спочатку застосовувалися в термодинаміці для оцінки енергетичної ефективності різних теплових машин. Проблем з обчисленням значень такого показника в цьому випадку практично не виникало, оскільки для таких машин експериментальним або розрахунковим шляхом досить просто може бути визначена як підведена, так і корисна енергія.

Згодом цей простий, але інформативний показник почали застосовувати також для оцінки енергетичної ефективності інших, більш складних енергетичних установок – парогенераторів, парових і газових турбін, генераторів електричної енергії різного типу і призначення. Однак, для таких установок при розрахунку ККД, як правило, вже виникають певні труднощі, пов'язані, як мінімум, з проблемами порівняння різних видів енергії.

Крім того, необхідно розуміти, що абсолютні значення ККД самі по собі ще не дозволяють відповісти на питання, наскільки ефективно чи неефективно використовується паливо або енергія тієї чи іншої установкою. Ці показники характеризують певний досягнутий рівень ефективності енерговикористання в даній установці, але не дають уявлення про те, наскільки високий або низький цей рівень енергоефективності, чи є можливість для його подальшого підвищення. Для отримання відповіді на ці питання показники ККД треба порівнювати з деякими їх «еталонними» значеннями.

У теплотехніці та термодинаміці давно та досить успішно використовують в якості такого еталона різні термодинамічні цикли (Карно, Ренкіна, Отто та ін.),

Тобто деякі ідеалізовані аналоги реальних теплових машин і установок. У цьому випадку ступінь енергетичної досконалості реальних установок або процесів визначається відносним значенням ККД, яке визначається:

$$\eta_{\text{відн}} = \frac{\eta_{\text{реал}}}{\eta_{\text{ідеал}}}.$$

Приймаючи до уваги простоту і універсальність показників типу ККД, неодноразово робилися спроби застосувати їх для оцінки енергетичної ефективності технологічних процесів, установок, агрегатів різного виробничого призначення. Однак ці спроби, як правило, виявлялися невдалими.

Проблема полягає в тому, що для технологічних об'єктів позбавлене сенсу співвідношення «корисна енергія/підведена енергія», оскільки кінцевим результатом їх функціонування є не енергія або робота, а певна продукція. Для таких установок, агрегатів або процесів дуже складно (а часто просто неможливо) визначити корисну енергію, витрачену на випуск продукції, або виразити обсяг її виробництва в одиницях енергії. Тому для технологічних об'єктів при визначенні їх ККД деякі вчені рекомендують замість корисної енергії використовувати мінімально необхідну її витрату (E_{min}) на виробництво продукції. Однак розрахунок величини E_{min} також представляє собою досить складне завдання. Її рішення теж пов'язано з необхідністю знаходження для певного реального технологічного об'єкта або процесу деякого ідеалізованого його аналога, витрата енергії яким надалі розглядається як мінімально необхідний. Знайти ж такий ідеалізований аналог для більшості технологічних об'єктів просто не можливо.

Таким чином, показники ефективності енерговикористання типу ККД мають практичне значення і більш-менш успішно застосовуються для окремих енергетичних установок і мереж. Для технологічних об'єктів (установок, агрегатів, процесів) показники енергоефективності типу ККД мають в основному теоретичне значення і практично застосовуються вкрай рідко. Що

стосується виробничо-господарських об'єктів (підприємств, організацій, установ, їх підрозділів), то для них показники типу ККД взагалі позбавлені сенсу і не можуть застосовуватися для контролю ефективності енерговикористання.

Очевидно, що для регіонів держави або галузей промисловості з тих же причин неможливе застосування показників типу ККД для цілей контролю ефективності використання енергетичних ресурсів.

1.2.2. Контроль та аналіз ефективності використання ПЕР на основі показників їх питомої витрати

Як було сказано вище, для технологічних процесів, машин, агрегатів, установок найчастіше буває вкрай складно або навіть практично неможливо визначити величину корисної потужності або корисного витрати енергії, а також її втрат. Тим більше це абсолютно неможливо для виробничо-господарських об'єктів.

З іншого боку, для будь-якого технологічного або господарського об'єкта досить просто може бути організований облік таких «вхідних» та «вихідних» показників їх функціонування як підведена потужність і енергія ($P_{\text{підв}}$, $E_{\text{підв}}$), Обсяг випущеної продукції або виконаної роботи (Q), або продуктивність відповідного об'єкта (A).

Тому в реальних виробничих умовах ефективність енерговикористання значно частіше оцінюють за допомогою показників питомої витрати палива або енергії. Показники енергоефективності цього типу найбільш широко відомі в виробничо-господарській сфері та протягом багатьох десятиліть активно використовуються як у вітчизняній, так і в зарубіжній практиці.

Величина питомої витрати (d) палива або енергії визначається:

$$d = \frac{E_{\text{підв}}}{Q} = \frac{P_{\text{підв}}}{A}.$$

За своїм змістом показники питомої витрати палива або енергії є своєрідними зворотними величинами по відношенню до коефіцієнта корисної дії.

У процесах передачі і перетворення параметрів одного і того ж виду енергії «вхідні» та «вихідні» величини вимірюються в однакових одиницях. Тому для таких процесів показники питомої витрати енергії, як і ККД, також є безрозмірними величинами.

Для генеруючих установок «продукцією» також є енергія. Але в таких установках, як правило, відбувається перетворення одного виду енергії в інший. Тому для генеруючого обладнання, як і для енергоспоживаючих технологічних установок і процесів, показники питомої витрати палива і енергії є розмірними величинами.

Таким чином, показники питомої витрати енергетичних ресурсів також визначаються досить просто, навіть простіше, ніж показники ефективності енерговикористання типу ККД, оскільки складові для розрахунку питомої витрати, як правило, можуть бути отримані на підставі даних обліку споживання енергоресурсів та виробництва продукції (виконання роботи) на відповідному об'єкті. Певні труднощі, проте, виникають для виробництв, які мають складну технологію і випускають велику кількість видів або сортів продукції, а також при визначенні галузевих або регіональних показників питомої витрати енергії. Зокрема, ці труднощі пов'язані з вибором одиниць вимірювання продукції, що випускається, які слід встановлювати показники питомої витрати палива і енергії.

Так само як і для показників типу ККД, необхідно приймати до уваги, що показники питомої витрати енергетичних ресурсів самі по собі не дозволяють зробити висновок наскільки високим або низьким є рівень ефективності енерговикористання, досягнутий на тому чи іншому технологічному або виробничо-господарському об'єкті. Для цього потрібен певний додатковий показник, своєрідний «еталон», з яким можна було б порівнювати фактичний питома витрата палива або енергії. Однак, на відміну від ККД, показники

питомої витрати енергії не мають навіть ідеального значення, з яким їх можна було б порівнювати.

Тому для оцінки та контролю ефективності використання енергетичних ресурсів, крім їх фактичних питомих витрат, необхідно встановлювати додаткові показники – так звані норми питомої витрати палива і енергії.

Процес визначення таких норм, який називається нормуванням або нормалізацією енергоспоживання, досить складний і трудомісткий. Однак, у разі використання показників питомої витрати енергетичних ресурсів, встановлення таких норм є принципово важливим етапом аналізу та контролю енергоефективності.

Виходячи з наведених вище міркувань, в Україні ще і раніше для оцінки, контролю та аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів в усіх галузях суспільного виробництва традиційно застосовувалася саме система нормування питомих витрат палива та енергії.

Необхідно відзначити, що протягом деякого часу (приблизно з 1990 по 1996 рік) в країні практично повністю був відсутній будь-який контроль енергоефективності. Однак вже у 1996 році в Україні на державному рівні була відновлена система контролю ефективності використання енергетичних ресурсів. Причому, як і раніше, вона базується на встановленні норм питомої витрати палива і енергії для різних виробничо-господарських об'єктів.

Очевидно, що метою відновлення системи нормування енергоспоживання було створення умов для управління ефективністю енерговикористання в усіх галузях економіки. Для досягнення цієї мети в Україні була проведена значна робота щодо розроблення та затвердження численних методичних матеріалів з нормування питомих витрат палива та енергії, по встановленню та контролю виконання відповідних норм для підприємств різних галузей виробництва, житлово-комунального господарства, бюджетної сфери.

Однак при виконанні цієї роботи далеко не в повній мірі був врахований практичний досвід нормування енергоспоживання, яке здійснювалося протягом багатьох десятиліть. Більш того, можна сказати, що діюча зараз в нашій країні

система контролю енергоефективності, в цілому базуючись на «радянському» підході до нормування енергоспоживання, з методичної та організаційної точки зору була відновлена в дещо спрощеному вигляді.

З цих причин результати розв'язання задачі оцінки, контролю та аналізу рівня ефективності використання енергетичних ресурсів, які є в нашій країні протягом останніх 10-15 років, свідчать про те, що відновлена система нормування питомих витрат енергії має ряд істотних недоліків, навіть у порівнянні з її «радянським» прототипом. Ці недоліки не дозволяють вважати досить обґрунтованими і прогресивними норми питомих витрат палива та енергії, що встановлюються на підставі методик, розроблених вже в Україні для підприємств, організацій і установ різних галузей суспільного виробництва. На основі таких норм не може бути вироблена оптимальна стратегія енергозбереження в державі, не може правильно здійснюватися економічне стимулювання підвищення ефективності енерговикористання, не можуть коректно застосовуватися штрафні санкції за нераціональне використання енергії, тобто, не може здійснюватися якісне управління енергозбереженням.

Проте, не дивлячись на ряд істотних недоліків, які притаманні чинної в Україні системи нормування питомих витрат енергетичних ресурсів, необхідно відзначити, що її відновлення зіграло (і продовжує грати) певну позитивну роль у вирішенні проблеми енергозбереження. Відновлення системи нормування питомих витрат енергії змусило керівників і фахівців вітчизняних підприємств, установ і організацій «згадати» про дбайливе, раціональне споживання палива та енергії, про необхідність підвищення ефективності їх використання.

Таким чином, можна зробити висновок, що проста ліквідація існуючої в Україні системи нормування питомих витрат енергетичних ресурсів (не дивлячись на всі її недоліки) недоцільна, принаймні, найближчим часом. Але, з іншого боку, діюча система нормування питомих витрат енергії вимагає якнайшвидшого докладного аналізу та удосконалення. Причому удосконалення системи нормування необхідно здійснити як в методичному, так і в «ідеологічному» плані. Тобто, необхідно чітко визначити, з якою метою і як

повинні використовуватися в ринкових умовах норми (або планові величини) питомих витрат ПЕР, якими методами і спосіб керування ефективністю енерговикористання з боку держави, органів місцевого самоврядування тощо

Не менш очевидно також, виходячи, з закордонного досвіду, що в нашій країні якомога швидше необхідно активізувати науково-дослідні роботи в напрямку розроблення, експериментальної перевірки та впровадження альтернативних нормуванню підходів до контролю і управління ефективністю енерговикористання (тобто, таких, які не базуються на визначенні та нормалізації питомих витрат енергетичних ресурсів).

1.2.3. Контроль та аналіз енергоефективності на основі побудови систем контролю і планування енергоспоживання (систем КіП)

Протягом декількох останніх десятиліть в ряді країн Західної Європи для вирішення завдань управління ефективністю енерговикористання активно застосовується підхід, що принципово відрізняється від нормування питомих витрат палива та енергії, заснований на встановленні базових рівнів енергоспоживання для моніторингу енергоефективності в системі енергетичного менеджменту.

Відповідно до цього підходу підприємство або організація на базі розгалуженого технічного обліку створює системи моніторингу енергоспоживання, які дозволяють не тільки оперативно контролювати ефективність використання палива і енергії, але і настільки ж оперативно управляти ефективністю енерговикористання на об'єкті.

Найбільш реально контролювати ефективність використання енергетичних ресурсів може тільки експлуатаційний персонал підприємства (організації). Виходячи з цих міркувань, в зарубіжній практиці системи моніторингу енергоспоживання будують виключно для локальних технологічних об'єктів (для окремих установок, машин, агрегатів, технологічних ліній або процесів тощо). З цієї причини на будь-якому виробничо-

господарському об'єкті створюють досить велику кількість таких систем. Крім того, вибір саме таких, локальних об'єктів для побудови систем моніторингу енергоспоживання виправданий також необхідністю дотримання умови, щоб відповідні об'єкти мали єдиний облік витрати палива або енергії, а також керувалися, по можливості, мінімальним числом операторів.

Очевидно також, що на будь-якому технологічному об'єкті необхідно створювати стільки окремих, незалежних систем моніторингу енергоспоживання, скільки видів палива та енергії на ньому використовується.

Методологія побудови систем моніторингу універсальна, що дозволяє використовувати їх для оперативного контролю ефективності використання будь-якого виду палива або енергії. Однак при цьому необхідно розуміти, що система моніторингу сама по собі не є енергоефективним заходом, тобто, не забезпечує енергозбереження на відповідному об'єкті, а лише створює умови для підтримки ефективності використання енергетичних ресурсів на заданому рівні і періодичне, цілеспрямоване підвищення цього рівня.

Безліч таких систем моніторингу, створених на виробничо-господарських об'єктах ряду країн Західної Європи, зокрема, у Великобританії, з'явилися логічним розвитком багаторічної практики періодичного проведення на цих об'єктах енергетичних аудитів, результати яких представляють собою свого роду «моментальну фотографію» постійно мінливих ситуації в сфері споживання палива і енергії.

З цієї точки зору побудова і використання систем моніторингу енергоспоживання прийнято розглядати як «динамічний енергоаудит», здійснюваний практично безперервно на об'єкті управління. Однак при цьому слід зауважити, що системи моніторингу не є альтернативою проведення енергетичних аудитів, а лише необхідним і дуже корисним доповненням до них.

Функціонування системи моніторингу енергоспоживання на будь-якому об'єкті можна представити у вигляді певної послідовності дій, яка відображає алгоритм аналізу та контролю ефективності енерговикористання. При цьому основними функціями, які виконує будь-яка система моніторингу, є:

- 1) Облік споживання палива або енергії на відповідному об'єкті.
- 2) Облік результатів енергоспоживання (кількості виробленої продукції або виконаної роботи), а також умов функціонування об'єкта контролю (основних параметрів технологічного процесу, параметрів зовнішніх, в тому числі, кліматичних умов тощо).
- 3) Визначення планових змінних, тобто, деякого «нормативного» рівня споживання палива або енергії, який встановлюється для відповідного об'єкта контролю у вигляді базового рівня енергоспоживання.
- 4) Контроль і аналіз виконання встановлених базових рівнів енергоспоживання (тобто, контроль ефективності використання того чи іншого виду енергетичних ресурсів).
- 5) Планування і реалізація заходів, спрямованих на підтримку встановленого для даного об'єкта рівня енергоефективності або на періодичне підвищення цього рівня.

Таким чином, система моніторингу здатна виконувати такі функції, як оперативний контроль і аналіз досягнутого рівня ефективності використання палива або енергії на деякий об'єкт, оперативне прогнозування і планування обсягів їх споживання на відповідну перспективу, поступова нормалізація (тобто, підвищення ефективності) енерговикористання, а також непрямий контроль технічного стану обладнання, правильності ведення технологічних процесів та ін.

В основу побудови таких систем покладено визначення залежності обсягу споживання палива або енергії на якомусь об'єкті від ряду показників (чинників), які істотно впливають на процеси енергоспоживання. Тому створення системи моніторингу енергоспоживання на будь-якому технологічному об'єкті починається зі збору фактичних даних про витрату палива або енергії, про результати відповідних технологічних процесів і умов їх перебігу (наприклад, обсяг випущеної продукції або виконаної роботи, тривалість роботи обладнання, основні параметри технологічного процесу, зовнішніх умов тощо).

При цьому щоб визначити, які показники, крім витрати енергії і обсягу випуску продукції, треба обрати, в зарубіжній практиці рекомендується з'ясувати заздалегідь, облік яких параметрів технологічного процесу, зовнішніх умов систематично здійснюється на даному об'єкті, і по можливості, не збільшувати їх склад.

У практиці зарубіжних країн оперативний моніторинг ефективності використання палива або енергії здійснюється щотижня. Тому збір вихідних даних для побудови такої системи на будь-якому об'єкті здійснюється, як мінімум, протягом 5-10 тижнів.

Зібрані вихідні дані в подальшому аналізуються. Такий аналіз здійснюється в двох аспектах. Перш за все, аналізується динаміка зміни в часі обсягів споживання палива або енергії на об'єкті. У зарубіжній практиці з цією метою по наявним вихідним даним прийнято будувати графік зміни в часі витрати відповідного енергетичного ресурсу, і візуально оцінювати ступінь рівномірності його споживання.

Якщо енергоспоживання на даному об'єкті має явно виражений нерівномірний характер, то додатково необхідно проаналізувати, які саме виробничі або технологічні показники і наскільки сильно впливають на зміну витрати пального або енергії на об'єкті. З цією метою в практиці зарубіжних країн визначають і аналізують значення коефіцієнтів парної кореляції між споживанням палива або енергії і відповідними параметрами, що впливають на нього.

На підставі виконаного таким чином аналізу наявних вихідних даних необхідно зробити черговий крок побудови системи моніторингу енергоспоживання – визначити планові змінні, тобто, певний «нормативний» рівень споживання палива або енергії на об'єкті. З цією метою для даного об'єкта встановлюється відповідний базовий рівень енергоспоживання.

Такий базовий рівень енергоспоживання необхідно мати, щоб в подальшому в процесі моніторингу енергоефективності порівнювати з ним фактичні значення витрати палива або енергії. При цьому базовий рівень

енергоспоживання повинен являти собою деякий максимально реалістичний прогноз «нормативного» рівня витрат того чи іншого енергетичного ресурсу, який необхідно і можливо досягти на даному об'єкті.

При цьому необхідно звернути увагу ще на одну особливість систем моніторингу: контроль ефективності використання палива або енергії в таких системах на відміну, наприклад, від системи нормування їх питомих витрат здійснюється безпосередньо на підставі фактичних обсягів енергоспоживання, що отримані за допомогою відповідних приладів обліку.

Таким чином, базовий рівень енергоспоживання в системі енергетичного менеджменту є деякою математичною моделлю витрати відповідного виду палива або енергії в залежності від значень істотно впливаючих на нього виробничих і технологічних параметрів. Базовий рівень енергоспоживання в системі енергетичного менеджменту ($W_{\text{БРЕ}}$) може бути встановлений у вигляді:

- 1) Константи: $W_{\text{БРЕ}} = \text{const.}$
- 2) Однофакторного лінійного рівняння регресії: $W_{\text{БРЕ}} = c_0 + c_1 x$.
- 3) Багатофакторного лінійного рівняння регресії: $W_{\text{БРЕ}} = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$.
- 4) Однофакторного або багатофакторного нелінійного рівняння регресії.

Як показує досвід зарубіжних країн, у 99% випадків побудови систем моніторингу споживання палива або енергії базовий рівень енергоспоживання встановлюють у вигляді перших трьох з наведених вище типів.

Базовий рівень енергоспоживання може бути встановлений тільки у вигляді константи, якщо жоден з наявних виробничих і технологічних параметрів істотно не впливають на витрату палива або енергії на об'єкті. Якщо ж на споживання відповідного енергетичного ресурсу істотно впливає один або декілька з наявних параметрів, то базовий рівень встановлюють у вигляді рівняння однофакторної або багатофакторної, як правило, лінійної регресії. При цьому в методиках побудови систем моніторингу при встановленні базового рівня не рекомендується використовувати більше трьох параметрів, які суттєво впливають на енергоспоживання даного об'єкту.

Методика побудови відповідних рівнянь регресії, яка використовується в зарубіжній практиці, заснована на застосуванні методу найменших квадратів (методу Гауса), а також інших методів регресійного аналізу, які добре відомі вітчизняним фахівцям і не потребують окремого опису.

Таким чином, базовий рівень енергоспоживання, що встановлюється в будь-якій системі моніторингу, являє собою деяку «норму» абсолютної, а не питомої витрати палива або енергії. Така «норма» не є «ідеальною», тобто мінімально необхідною для даного об'єкта, як норма питомої витрати енергії в традиційному її розумінні. Проте базовий рівень енергоспоживання є досить добре обґрунтованим, оскільки він цілком відповідає даному об'єкту і конкретним умовам його функціонування (параметрам технологічного процесу, зовнішнім умовам тощо). Тобто базовий рівень енергоспоживання відображає рівень ефективності використання палива або енергії, реально досягнутий на даному об'єкті.

До того ж, базовий рівень енергоспоживання в системі моніторингу встановлюється не у вигляді конкретного числового значення, як це зазвичай робиться при встановленні норм питомої витрати енергії, а як вже було сказано, є деякою математичною моделлю витрати енергії, свого роду «енергетичною характеристикою» об'єкта, для якого він встановлений. Тобто, базовий рівень енергоспоживання є не тільки цілком обґрунтованою «нормою» споживання палива або енергії на даному об'єкті, але також і досить гнучким еталоном ефективного використання відповідного енергетичного ресурсу, що враховує можливі зміни обсягів продукції, параметрів технологічного процесу, а також зовнішніх (в тому числі, і кліматичних) умов виробництва.

Після того, як базовий рівень енергоспоживання встановлений в аналітичному і, по можливості, у графічному вигляді, можна вважати, що побудова системи моніторингу на даному об'єкті завершено, і дана система може бути застосована для оперативного контролю ефективності використання палива або енергії на даному об'єкті.

Однак, як показує практика, системи моніторингу недоцільно, та й неможливо успішно застосовувати безпосередньо для контролю ефективності використання палива або енергії на якомусь об'єкті. Такі системи є дієвим «інструментом» для оперативного контролю результатів впровадження тих чи інших заходів з енергоефективності.

Це означає, що, перш ніж система моніторингу почне функціонувати, необхідно не тільки встановити відповідний базовий рівень енергоспоживання, але також намітити і реалізувати на даному об'єкті заходи з енергоефективності. Тільки в цьому випадку для експлуатаційного персоналу об'єкта може бути поставлене обґрунтоване завдання постійно забезпечувати таке використання палива або енергії, щоб фактичні обсяги їх споживання не перевищували встановленого базового рівня. Очевидно, що при цьому експлуатаційному персоналу ставиться також завдання систематично збирати статистичні дані про роботу об'єкта, які необхідні для нормального функціонування на ньому системи моніторингу.

Періодичний контроль ефективності використання палива або енергії на об'єкті та результатів впровадження на ньому відповідного заходу з енергоефективності, в системах моніторингу може здійснюватися по-різному.

У найпростішому випадку, коли базовий рівень енергоспоживання встановлений у вигляді константи або у формі однофакторної (лінійної або нелінійної) регресійної залежності, контроль виконання цього базового рівня може здійснюватися графічно, тобто, безпосередньо за допомогою його графіка. При цьому на відповідний графік базового рівня споживання палива або енергії на об'єкті щотижня наносять значення фактичної витрати палива або енергії. Очевидно, знаходження фактичних значень енергоспоживання нижче лінії встановленого базового рівня, свідчить про його виконання, а також про те, що на даному об'єкті протягом відповідного періоду контролю досягнута економія енергії (тобто, впроваджений захід з енергоефективності дійсно дав очікуваний результат).

Поява ж фактичних значень енергоспоживання, що знаходяться вище базового рівня, свідчить про те, що за відповідний період часу (тиждень) заплановане енергозбереження на об'єкті досягнуто не було.

Однак при встановленні на об'єкті більш складних базових рівнів енергоспоживання, що являють собою лінійні або нелінійні багатофакторні рівняння регресії, графічний спосіб контролю ефективності енерговикористання вже неможливий. В такому випадку з метою контролю досягнутих результатів енергозбереження в системах моніторингу використовується спеціальних графік, який в зарубіжній практиці називають графіком CUSUM (графіком кумулятивної суми). Цей графік представляє тенденцію зміни в часі (накопичення) результатів енергозбереження, фактично досягнутих (або не досягнутих) на даному об'єкті.

Побудова графіка CUSUM ґрунтується на поступовому визначенні і накопиченні відхилень («дисперсії»), які виникають між фактичними і отриманими на підставі відповідного базового рівня обсягами споживання палива або енергії на даному об'єкті. При цьому величина «дисперсії» фактичної величини споживання палива або енергії щодо встановленого базового рівня енергоспоживання для деякого i -го кроку (періоду) контролю визначається:

$$\Delta W_i = W_{\text{факт}} - W_{\text{прогн}},$$

де $W_{\text{факт}}$ – фактичний обсяг споживання енергії за даний період; $W_{\text{прогн}}$ – очікувана величина енергоспоживання на той же період, що визначається на підставі встановленого базового рівня.

Для визначення значення кумулятивної суми «дисперсій» фактичних витрат палива або енергії ΔW_i на деякому k -му кроці контролю виконання встановленого базового рівня енергоспоживання необхідно обчислити величину:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k, \quad (2.1)$$

де $\Delta W_{\Sigma k}$ – сумарне відхилення фактичних обсягів споживання палива або енергії від їх значень, отриманих на основі базового рівня протягом минулих k періодів контролю; ΔW_i – «дисперсія» фактичних витрат палива або енергії на i -му кроці контролю; $\Delta W_{\Sigma k-1}$ – сумарне відхилення фактичного споживання енергії від базового рівня, отримане протягом минулих $k-1$ періодів контролю; ΔW_k – відхилення фактичної витрати палива або енергії від їх значення, визначених на основі базового рівня на останньому k -му кроці контролю.

Таким чином, графік кумулятивної суми являє собою деяку ламану лінію, координати точок перегину якої відповідають обчисленим значенням (2.1).

При цьому контроль результатів впровадження будь-якого енергоефективного заходу з використанням графіка CUSUM також здійснюється візуально, на підставі аналізу загальної тенденції зміни в часі величини кумулятивної суми.

Від’ємне значення «дисперсії» фактичних витрат палива або енергії на черговому (наприклад, k -му) кроці контролю свідчить про те, що на даному об’єкті протягом відповідного періоду контролю досягнуто певне енергозбереження (тобто, запроваджений на об’єкті енергоефективний захід дійсно приніс очікуваний результат). Очевидно, що при такому, позитивному результаті контролю втручання енергоменеджера в роботу контрольованого об’єкта не потрібно, і в системі моніторингу може здійснюватися черговий крок контролю енергоефективності.

Поява ж додатного значення «дисперсії» енергоспоживання на будь-якому етапі контролю свідчить про те, що за відповідний період часу заплановане енергозбереження на об’єкті не було досягнуто. При такому, негативному результаті контролю обов’язково необхідне втручання в роботу даного об’єкту енергоменеджера, завданням якого є виявлення і усунення причин отримання перевитрати енергії. Як показує практика, основними з цих причин можуть бути людський фактор (тобто невиконання будь-яким співробітником своїх обов’язків, пов’язаних з реалізацією енергоефективного заходу на даному об’єкті), поява деяких «тимчасових» об’єктивних причин, що призвели до

зменшення обсягу запланованого енергозбереження (наприклад, зміна якості сировини або матеріалів, параметрів технологічного процесу або зовнішніх умов виробництва).

Крім того, слід пам'ятати, що однією з причин невиконання встановленого базового рівня енергоспоживання може бути також недосконалість самого базового рівня, який, починаючи з деякого моменту, може не враховувати стабільних об'єктивних змін, що відбулися на об'єкті. Тобто, одним з можливих дій енергоменеджера, у разі появи негативного результату контролю енергоефективності, може бути коригування базового рівня споживання палива або енергії, встановленого для даного об'єкта.

Однак необхідність перегляду встановленого базового рівня енергоспоживання в системі моніторингу періодично виникає також і при позитивних результатах контролю енергоефективності. Метою коригування базового рівня енергоспоживання в цьому випадку є періодичне цілеспрямоване підвищення ефективності їх використання на даному об'єкті.

Періодичний перегляд встановленого базового рівня енергоспоживання можливий і доцільний за умови, що на даному об'єкті протягом досить тривалого часу спостерігається стабільне енергозбереження, тобто, реалізований на даному об'єкті захід з енергоефективності систематично приносить очікуваний результат. При цьому графік кумулятивної суми має стійку тенденцію до зменшення.

У цьому випадку встановлений раніше базовий рівень енергоспоживання переглядається (тобто, встановлюється заново) з урахуванням фактичних обсягів витрати палива або енергії, досягнутих на об'єкті в результаті впровадження відповідного енергоефективного заходу. Після цього на даному об'єкті виявляється і реалізується чергова можливість енергозбереження та процес контролю результатів її впровадження здійснюється вже по відношенню до нового базового рівня енергоспоживання.

Таким чином, в системі моніторингу забезпечується підтримання на заданому рівні ефективності використання палива або енергії на даному об'єкті,

а також поступове підвищення цього рівня. За аналогією з нормуванням питомих витрат енергетичних ресурсів такий процес можна назвати поступовою «нормалізацією» енергоспоживання.

Наведена в лекції методологія побудови і функціонування систем моніторингу енергоспоживання в певному сенсі може бути названа традиційною, так як на ній засновані численні системи моніторингу, які протягом досить тривалого часу використовуються в ряді країн Західної Європи, зокрема, у Великобританії.

Такі системи зарекомендували себе в зарубіжній практиці як дієвий «інструмент» оперативного контролю ефективності використання палива або енергії на локальних технологічних об'єктах.

Зарубіжний досвід побудови та використання систем моніторингу енергоспоживання на господарських об'єктах підтверджує, що з практичної точки зору такі системи, безсумнівно, становлять значний інтерес для вітчизняних фахівців в області енергозбереження та енергоефективності як один з можливих напрямків розвитку методів контролю ефективності використання енергетичних ресурсів.

Методологія створення і використання таких систем привертає, перш за все, простотою і незначними витратами часу на здійснення контролю енергоефективності, що дозволяє оперативно вирішувати це завдання. Причому період контролю ефективності використання палива або енергії на якомусь об'єкті з допомогою систем моніторингу може бути дуже коротким, наприклад, рівним тривалості однієї робочої зміни або навіть одній годині.

Однак, в теоретичному та методологічному відношенні методики побудови та використання систем моніторингу, що традиційно застосовуються в зарубіжних країнах, мають цілий ряд істотних недоліків, спрощень, невирішених питань, які не дозволяють «механічно» використовувати їх в умовах України або інших країн СНД для контролю ефективності енерговикористання.

1.2.4. Оцінка ефективності використання ПЕР на основі визначення їх прямих втрат у обладнанні та мережах

Такий підхід до оцінки ефективності використання палива і енергії застосовувався, зокрема, працівниками колишньої Державної інспекції України з енергозбереження в процесі проведення планових перевірок на підприємствах, в організаціях та установах.

Шляхом відповідних вимірювань і розрахунків, які виконуються також на підставі затверджених методик, визначається фактична величина втрат палива та енергії в обладнанні та мережах. В результаті порівняння фактичних втрат до нормативних робиться висновок щодо ефективності (а точніше, щодо рівня неефективності) використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві, в організації чи установі.

Безумовно, такий підхід не може дати досить повного уявлення про рівень ефективності енерговикористання на даному об'єкті, оскільки мова йде про визначення та аналізі тільки однієї складової енергетичних балансів обладнання або процесів – прямих втрат палива або енергії. При цьому поза увагою залишається ефективність корисного витрат ПЕР. Крім того, на підставі діючих методик, як правило, визначаються і аналізуються втрати палива і енергії в процесах виробництва, перетворення, передачі і розподілу енергії (в котельно-пічному обладнанні, в інших енергогенеруючих установках, в теплових і електричних мережах і т.п.). Тобто неохопленим залишається майже все технологічне обладнання підприємства.

Однак з практичної точки зору такий підхід до оцінки і контролю ефективності енерговикористання на рівні окремих агрегатів, технологічних процесів, підприємств, організацій, їх підрозділів становить певний інтерес. До того ж, цей підхід на сьогоднішній день є, мабуть, єдиним практично застосовуваним способом оперативної оцінки рівня ефективності (або неефективності) використання ПЕР у суспільному виробництві.

Запитання для самоперевірки

1. Наведіть коротку характеристику існуючих показників та підходів до оцінки рівня ефективності використання ПЕР.
2. Охарактеризуйте здійснення контролю та аналізу енергоефективності на основі показників типу коефіцієнту корисної дії (ККД).
3. У чому полягає сутність здійснення контролю та аналізу ефективності використання ПЕР на основі показників їх питомої витрати.
4. Опишіть здійснення контролю та аналізу енергоефективності на основі побудови систем контролю і планування енергоспоживання (систем КіП).
5. Які основні функції системи моніторингу енергоефективності?
6. Що являє собою графік CUSUM (графіком кумулятивної суми)?
7. Опишіть оцінювання ефективності використання ПЕР на основі визначення їх прямих втрат у обладнанні та мережах.

РОЗДІЛ 2. ВИМІРЮВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ НА ОСНОВІ ДІЮЧОЇ В УКРАЇНІ СИСТЕМИ НОРМУВАННЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ПЕР (НА ПРИКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ)

2.1. Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії (ПОРЯДОК)

Встановлення норм питомої витрати електричної енергії для об'єктів теплоенергетики, зокрема, для котельних здійснюється на підставі нормативно-методичного документу, який має назву «Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії», який затверджено наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України №12 від 02.02.2009 р.

2.1.1. Загальні положення Порядку

Порядок визначає методику розрахунку нормативних витрат електроенергії, обґрунтованих параметрами технологічного процесу, на потреби підприємств теплоенергетики (ПТ) при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії для надання послуг з централізованого постачання гарячої води (ГВП), опалення і вентиляції житлових і громадських будівель.

Дія Порядку поширюється на всі підприємства теплоенергетики незалежно від відомчої належності та форм власності, крім систем з ТЕЦ, ТЕС, АЕС та іншими когенераційними установками; установками, що використовують нетрадиційні або поновлювані джерела енергії.

Метою цього Порядку є забезпечення єдиної методології при розрахунках витрат електроенергії, їх нормуванні, розрахунку тарифів на теплову енергію та послуги централізованого опалення і постачання гарячої води. Також забезпечення достовірності і обґрунтованості нормативних витрат електроенергії ПТ з урахуванням існуючого обладнання, його технічного стану та конкретних умов функціонування підприємства; можливості інженерного аналізу питомих витрат електроенергії за етапами технологічного процесу: виробництво, транспортування, постачання; можливості розрахунку тарифів на теплову енергію за етапами технологічного процесу та підвищення ефективності і якості функціонування ПТ.

У Порядку наведені формули для обчислення обсягів споживання електроенергії на кожному етапі технологічного процесу, які дозволяють визначати: планові нормативні витрати енергії та експлуатаційні нормативні витрати енергії.

Основними приймачами електроенергії в котельних та центральних теплових пунктах (ЦТП) є:

- асинхронні електродвигуни технологічного обладнання;
- насоси різного призначення;
- димососи;
- вентилятори;
- пристрої паливо приготування;
- контрольно-вимірювальні прилади (КВП);
- засоби автоматики;
- прилади освітлення.

Основним методом визначення нормативних витрат електроенергії є розрахунково-аналітичний, який передбачає розрахунок за статтями витрат енергії на основі побудови та аналізу енергетичних балансів окремих агрегатів, установок, їх систем, ПТ в цілому, врахування запланованих заходів з економії енергії.

Розрахунок нормативних витрат електроенергії здійснюється ПТ щоразу при перерахунках тарифів на теплову енергію, послуги централізованого опалення і гарячого водопостачання, при суттєвих змінах у режимі роботи електрообладнання або його заміні, які спричиняють зміни нормативних витрат електроенергії більше ніж на 5%, але не рідше одного разу на 2 роки.

Затвердження норм питомих витрат електроенергії ПТ та контроль за їх дотриманням здійснюються відповідно до наказу Держкоменергозбереження України від 22.10.2002 № 112 «Про затвердження Основних положень з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві», Постанови КМУ від 3 серпня 2011 р. № 841 «Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження та альтернативних видів палива».

У Порядку терміни вживаються у такому значенні:

1) індивідуальні (групові) нормативні витрати електроенергії – обсяги витрат електроенергії на виробництво, транспортування і постачання планованого обсягу теплової енергії, що розраховуються по:

- окремій котельній та приєднаних до неї ЦТП;
- району котельних;
- району теплових мереж;
- ПТ в цілому;

2) індивідуальна (групова) норма питомої витрати електроенергії – норма витрат електроенергії на виробництво, транспортування і постачання 1 Гкал теплової енергії, що розраховується по:

- окремій котельній та приєднаних до неї ЦТП;
- району котельних;
- району теплових мереж;
- ПТ в цілому;
- на основі:

= індивідуальних (групових) нормативних витрат електроенергії;

= запланованого обсягу виробництва і реалізації теплової енергії.

Всі інші терміни, що використовуються у Порядку, визначено Законом України «Про тепlopостачання».

2.1.2. Класифікація нормативних витрат електричної енергії на потреби підприємств теплоенергетики

Нормативні витрати електроенергії на потреби ПТ класифікуються за:

- складом витрат та втрат енергії (технологічні та загальновиробничі);
- ступенем агрегації (індивідуальні і групові);
- періодом дії (річні, за опалювальний і неопалювальний сезони поточного півріччя та на інші періоди (у разі необхідності)).

Технологічні нормативні витрати електроенергії ПТ визначаються:

- на основні і допоміжні технологічні процеси (власна тепла енергія);
- на транспортування купованої теплової енергії;
- враховують технічно неминучі втрати енергії у технологічних процесах.

Загальновиробничі нормативні витрати електроенергії ПТ включають:

- технологічні нормативні витрати електроенергії;
- нормативні витрати електроенергії на допоміжні потреби;
- ремонт основних засобів та інших необоротних активів загальновиробничого призначення;
- вентиляція і освітлення виробничих приміщень;
- випробування тепломереж тощо.

Індивідуальні нормативні витрати електроенергії визначаються для котельної, розраховуються для конкретних умов функціонування, типу, потужності і терміну роботи обладнання, виду палива, виду та параметрів теплоносія, теплових втрат у мережах тепlopостачання, наявності теплових пунктів, режиму роботи системи опалення та ГВП, схеми тепlopостачання та кліматичних умов та інших факторів.

Групові нормативні витрати електроенергії ПТ складаються на основі індивідуальних нормативних витрат електроенергії котельними, що входять до складу цього ПТ.

До нормативних витрат електроенергії не включаються її витрати на:

- будівництво і капітальний ремонт будівель і споруд;
- монтаж, пуск і налагодження нового технологічного обладнання;
- науково-дослідні і експериментальні роботи.

При розрахунку нормативних витрат електроенергії ПТ не враховуються також її витрати, пов'язані з:

- відхиленнями від прийнятої технології;
- відхиленнями від встановлених режимів роботи;
- іншими нераціональними витратами електроенергії.

2.1.3. Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії та норм її питомої витрати на підприємствах теплоенергетики

Визначення нормативних витрат електроенергії на потреби ПТ повинно проводитися в такій послідовності:

1. Розраховуються індивідуальні нормативні витрати електроенергії по кожній котельній та приєднаних до неї ЦТП. Розрахунки виконуються за такими вихідними даними: приєднані теплові навантаження (максимальні теплові потужності систем опалення, вентиляції, середні або максимальні потужності систем гарячого водопостачання, режими споживання); схеми теплопостачання; температурні графіки регулювання систем теплопостачання; розрахункові температури зовнішнього повітря згідно БНіП 2.01.01-82 «Будівельна кліматологія і геофізика»; тривалість роботи систем та обладнання; вид палива та його питома витрата на виробництво теплової енергії кожним котлом; тип, марка, встановлена електрична потужність технологічного обладнання; паспортні або експлуатаційні аеродинамічні або гідравлічні характеристики обладнання.

Розраховані індивідуальні нормативні витрати слід порівнювати з фактичними витратами (за даними приладів обліку за попередні роки). При великих відхиленнях (більше 10%) розрахункових нормативних витрат від фактичних слід робити аналіз причин, що викликають ці відхилення, та вживати організаційно-технічні заходи щодо їх усунення.

2. На базі індивідуальних нормативних витрат розраховуються групові нормативні витрати по району котельних та теплових мереж, ПТ в цілому.

3. Після завершення опалювального періоду звітного півріччя проводяться перерахунки нормативних витрат електроенергії відповідно до фактичних температур зовнішнього повітря, режимів роботи обладнання та систем, інших факторів впливу.

4. Індивідуальні нормативні витрати енергії по кожній котельній, є основою для розрахунку:

- індивідуальних норм питомої витрати електроенергії для цих котельних;
- групових норм питомої витрати електроенергії по району котельних та теплових мереж, ПТ в цілому.

5. Нормативні витрати електроенергії (індивідуальні та групові) розраховуються, виходячи з метеорологічних умов, усереднених за відповідні періоди.

6. Нормативні витрати електроенергії на потреби ПТ визначаються за формулою:

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{вир}} + W_{\text{тр}} + W_{\text{розп}} + \Delta W + W_{\text{дод}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.1)$$

де $W_{\text{вир}}$ – нормативні витрати на технологічні процеси виробництва теплової енергії (розділ 4 Порядку); $W_{\text{тр}}$ – нормативні витрати енергії обладнанням, що транспортує теплоносій від котельної до ЦТП або до ІТП споживачів (розділ 5 Порядку); $W_{\text{розп}}$ – нормативні витрати енергії обладнанням ЦТП або ІТП (розділ 6 Порядку); ΔW – нормативні втрати електроенергії при її транспортуванні і

трансформації (розділ 7 Порядку); $W_{\text{дод}}$ – нормативні витрати електроенергії на допоміжні (загальновиробничі) потреби (розділ 8 Порядку).

7. Індивідуальні нормативні витрати електроенергії на потреби i -ї котельної W_i (кВт · год) за розрахунковий період визначаються за формулою:

$$W_i = \sum_{j=1}^m W_{ij}, \quad (2.2)$$

де W_{ij} – нормативні витрати електроенергії j -м типом (або одиницею) обладнання i -ї котельні за відповідний період (кВт · год).

8. Нормативні витрати електроенергії j -м типом (або одиницею) обладнання i -ї котельні за розрахунковий період визначаються за загальною формулою (кВт · год):

$$W_{ij} = P_{ij} \cdot T_{ij}, \quad (2.3)$$

де P_{ij} – середня споживана електрична потужність j -го типу (або одиниці) обладнання, яке працює в межах дії i -ї котельної, кВт; T_{ij} – тривалість роботи цього обладнання протягом розрахункового періоду, год.

9. Групова нормативна витрата електроенергії по ПТ за розрахунковий період визначається за формулою (кВт · год):

$$W = \sum_{i=1}^m W_i, \quad (2.4)$$

де m – кількість котелень, що входять до складу ПТ.

10. Індивідуальна норма питомої витрати електроенергії на потреби i -ї котельної (w_i) (кВт · год/Гкал) розраховується окремо навиробництво та відпуск теплової енергії визначається за формулами:

$$w_{\text{вир.}i} = \frac{W_{\text{вир.}i}}{Q_{\text{вир.}i}}, \quad (2.5)$$

$$w_{\text{відп.}i} = \frac{W_{\text{відп.}i}}{Q_{\text{відп.}i}}, \quad (2.6)$$

де $Q_{\text{вир.}i}$, $Q_{\text{відп.}i}$ – кількість відповідно виробленої і відпущеної теплової енергії i -ю котельною (Гкал). Розраховується згідно КТМ 204 України 246-99 «Галузева методика нормування витрат палива на виробництво та відпуск теплової енергії котельнями теплового господарства».

11. Групова норма питомої витрати електроенергії по ПТ встановлюється на базі групових нормативних витрат електроенергії по ПТ, окремо на виробництво та відпуск теплової енергії визначається за формулами:

$$w_{\text{вир.}} = \frac{W_{\text{вир.}}}{\sum_{i=1}^m Q_{\text{вир.}i}}, \quad (2.7)$$

$$w_{\text{відп.}} = \frac{W_{\text{відп.}}}{\sum_{i=1}^m Q_{\text{відп.}i}}, \quad (2.8)$$

12. У загальному вигляді залежність потужності, споживаної електродвигуном відцентрового нагнітача (насоса, вентилятора, димососа), від його робочих характеристик виражається формулою:

$$P = k \frac{L \cdot H}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{е}} \cdot \eta_{\text{м}}}, \quad (2.9)$$

де L – продуктивність нагнітача; H – тиск нагнітача; k – коефіцієнт, який враховує одиниці вимірювання; $\eta_{\text{н}}$ – коефіцієнт корисної дії (ККД) на валу нагнітача (60-84%); $\eta_{\text{е}}$ – ККД електродвигуна (85-92% при навантаженні більше 60%); $\eta_{\text{м}}$ – ККД механічної передачі (93-98%).

13. При регулюванні роботи нагнітача дроселюванням повний тиск (H), ККД $\eta_{\text{н}}$ або споживану потужність на валу нагнітача визначають за його гідравлічною або аеродинамічною характеристикою для заданої розрахункової продуктивності;

За відсутності цієї характеристики необхідний тиск приймається як розрахунковий для даної гідравлічної або аеродинамічної системи.

При паралельній роботі на одну систему продуктивність кожного з нагнітачів становить:

- для двох однакових нагнітачів – 0,5 загальної продуктивності;
- для трьох однакових нагнітачів – 0,34 загальної продуктивності;
- для різних нагнітачів – визначається за графіком їх спільної роботи.

14. ККД асинхронного електродвигуна в залежності від його завантаження визначається за таблицею 2.1.

Таблиця 2.1 Залежність ККД асинхронного електродвигуна від його завантаження

$P/P_{\text{ном}}$	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
$\eta_e, \%$	92	92	90	89	87	87	86	85	83	82

15. Розподіл нормативних витрат електроенергії основним обладнанням ПТ та їх частка на виробництво, транспортування, розподіл та трансформацію теплової енергії наведено в додатку 2 Порядку; є довідковими і не можуть бути використані замість розрахунків.

Запитання для самоперевірки

1. Що визначає «Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії»?
2. Перерахуйте основні приймачі електроенергії в котельних та центральних теплових пунктах.
3. Для яких об'єктів розраховуються індивідуальні (групові) нормативні витрати електроенергії?

4. Яким чином класифікуються технологічні та загальновиробничі нормативні витрати електричної енергії на потреби підприємств теплоенергетики?

5. Які витрати не включають до нормативних витрат електроенергії?

6. У якій послідовності визначаються нормативні витрати електроенергії на потреби підприємств теплоенергетики?

7. Яким чином розраховується індивідуальна нормативна витрата електроенергії на потреби підприємств теплоенергетики?

8. Яким чином розраховується групова нормативна витрата електроенергії на потреби підприємств теплоенергетики?

9. Яким чином розраховується індивідуальна норма питомої витрати електроенергії на потреби підприємств теплоенергетики?

10. Яким чином розраховується групова норма питомої витрати електроенергії на потреби підприємств теплоенергетики?

2.2. Визначення теплового навантаження, планового обсягу виробництва та відпуску тепла з котельної на розрахунковий період

Відомо, що питомі витрати палива та енергії (і, відповідно, норми цих питомих витрат) суттєво залежать від багатьох чинників (виробниче обладнання, його завантаження (продуктивність), режими роботи, параметри технологічних процесів, зовнішніх та внутрішніх умов виробництва тощо). Тому правильно (коректно, обґрунтовано) встановлювати норми питомої витрати ПЕР, необхідні для контролю ефективності енерговикористання, можливо тільки на основі відомих планів виробництва продукції, відповідних технологічних процесів та їх параметрів, складу обладнання та його технічних характеристик, завантаження та режимів роботи, умов виробництва тощо.

Тому цю тему ми розглядатимемо на прикладі підприємств теплоенергетики, зокрема котельних (студентам мають бути добре відомі технологія, обладнання для виробництва тепла і тепlopостачання).

Отже, встановлення норм питомої витрати палива чи енергії для котельної слід починати з визначення її планового теплового навантаження, планових обсягів виробництва та відпуску тепла, з визначення котлоагрегатів, що будуть знаходитись в роботі, їх продуктивності, режимів та умов роботи.

Загальну кількість теплоти, що виробляється котельною за деякий період (рік, опалювальний сезон тощо) визначають як суму корисної теплоти, втрат тепла в теплових мережах та внутрішніх трубопроводах котельної, а також витрат тепла на власні потреби котельної:

$$Q_{\text{вир.}} = Q_{\text{кор.}} + Q_{\text{т.м.}} + Q_{\text{вн.тр.}} + Q_{\text{в.п.}} \quad (2.10)$$

Теплове навантаження котельної розраховується, перш за все, виходячи з величин корисного теплового навантаження відповідних споживачів тепла, які живляться від цієї котельної. Корисні витрати теплової енергії на потреби опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, а також втрати тепла у відповідних мережах визначаються на підставі нормативів, наведених, зокрема, у керівних технічних матеріалах «Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні» (КТМ 204 України 244-94) / Державний комітет України по житлово-комунальному господарству, Київ, 2005).

$$Q_{\text{кор.}} = Q_{\text{о.}} + Q_{\text{в.}} + Q_{\text{ГВП.}} \quad (2.11)$$

У всіх наших прикладах та розрахункових завданнях теплові навантаження споживачів будуть задані як вихідні величини. При цьому приймається, що ці навантаження вже враховують втрати тепла в теплових мережах. Тобто, як вихідні дані будемо задавати кількість теплоти, яка має бути відпущена з котельної:

$$Q_{\text{відп.}} = Q_{\text{кор.}} + Q_{\text{т.м.}} \quad (2.12)$$

Корисні теплові навантаження споживачів на опалення та вентиляцію здебільшого визначають як максимальні теплові потоки, а навантаження та гаряче водопостачання – як середні теплові потоки (в усіх наших прикладах та розрахункових завданнях вважатимемо, що у якості вихідних даних задані максимальні величини теплового навантаження на опалення та вентиляцію і середні теплові навантаження на ГВП). Тим часом розрахунки нормативних витрат енергії, зокрема електричної, базуються не на максимальних, а на середніх значеннях теплового навантаження котельної на відповідний плановий період.

Середній тепловий потік на опалення визначають за формулою:

$$Q_{\text{o.сep.}} = Q_{\text{o.max}} \frac{t_{\text{вн.}} - t_{\text{сep.o}}}{t_{\text{вн.}} - t_{\text{p.o}}} \quad (2.13)$$

де $t_{\text{вн.}}$ – середня температура внутрішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$ (в місцевостях з $t_{\text{p.o}}$ до мінус 31°C приймається рівною 18°C); $t_{\text{сep.o}}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{p.o}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, $^{\circ}\text{C}$.

Середній тепловий потік на вентиляцію визначається аналогічним чином.

Річна потреба в тепловій енергії на опалення (що те ж саме, що і потреба в теплі на опалювальний сезон) розраховується:

$$Q_{\text{o.pіk}} = Q_{\text{o.max}} \frac{t_{\text{вн.}} - t_{\text{сep.o}}}{t_{\text{вн.}} - t_{\text{p.o}}} \cdot P_0 \cdot 24, \quad (2.14)$$

де P_0 – тривалість опалювального періоду, діб.

При цьому вираз:

$$k'_0 = \frac{t_{\text{вн.}} - t_{\text{сep.o}}}{t_{\text{вн.}} - t_{\text{p.o}}} \cdot P_0 \cdot 24, \quad (2.15)$$

являє собою один з розрахункових коефіцієнтів, що наведені у довідковій літературі (зокрема, у КТМ 204) і використовуються для визначення потреби в тепловій енергії на опалення:

$$Q_{o.pik} = Q_{o.max} \cdot k_o'.$$
 (2.16)

Якщо у якості вихідних даних задана величина середнього теплового потоку, то річна потреба в тепловій енергії на опалення визначається простіше:

$$Q_{o.pik} = Q_{o.cer} \cdot P_0 \cdot 24.$$
 (2.17)

Подібним чином визначається річна потреба в теплі на вентиляцію (у наших прикладах та розрахункових завданнях прийматимемо, що витрати тепла на вентиляцію відсутні).

Для визначення річної потреби в теплі на гаряче водопостачання в довідковій літературі (КТМ 204) наводяться числові значення іншого розрахункового коефіцієнта ($k_{г.в.}$). Цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$k_{г.в.} = 1,2 \cdot [(55 - t_{х.з.}) \cdot P_0 + \beta \cdot (350 - P_0) \cdot (55 - t_{х.л.})].$$

Однак, слід мати на увазі, що розраховані таким чином коефіцієнти $k_{г.в.}$ можна використовувати тільки в тому випадку, якщо у якості вихідних даних задані нормативні витрати гарячої води (літрів/добу), а не тепловий потік (теплове навантаження) на ГВП (Гкал/год.).

Якщо у якості вихідних даних задане середнє теплове навантаження на ГВП, то коефіцієнт $k_{г.в.}$ для опалювального періоду слід визначати:

$$k_{г.в.} = 1,2 \cdot P_0 \cdot 24.$$

У цьому випадку потреба в теплі на ГВП протягом опалювального періоду визначається:

$$Q_{\text{Г.В.сез.}} = Q_{\text{Г.В.сер.}} \cdot k_{\text{Г.В.}}$$

Отже, плановий обсяг виробництва котельною теплової енергії на опалювальний період дорівнює:

$$Q_{\text{вир.сез.}} = (Q_{\text{о.рік}} + Q_{\text{Г.В.сер.}}) \cdot 1,022,$$

де 2,2 % - норматив витрат теплової енергії на власні потреби котельної.

Середнє теплове навантаження котельної протягом опалювального сезону:

$$Q_{k.\text{сер.}} = \frac{Q_{\text{вир.сез.}}}{\Pi_0 \cdot 24}.$$

Щоб встановити для котельної норми питомої витрати палива та електричної енергії на відповідний плановий період (сезон, рік), необхідно знати не тільки середнє теплове навантаження котельної в цілому, але й розподіл цього навантаження між окремими котлоагрегатами, які планується використовувати для виробництва потрібного обсягу теплової енергії.

Щоб визначити, які саме котлоагрегати слід задіяти у плановому періоді, доцільно вибрати серед наявних котлів найбільш енергоефективні і визначити черговість (порядок) їх завантаження. Для цього, зокрема, можна побудувати енергетичні характеристики котлів (характеристики залежності питомої витрати умовного палива від продуктивності котлоагрегатів). (Необхідні для цього дані найбільш доцільно приймати на підставі режимних карт котлів). Очевидно, що завантажувати у першу чергу необхідно найбільш енергоефективні котли. При цьому відповідні контролюючі органи (зокрема ДАЕЕ) рекомендують найбільш енергоефективні котлоагрегати завантажувати на максимально можливу

продуктивність. Таким способом, принаймні, можна визначити, які котлоагрегати планувати до використання у відповідному розрахунковому періоді.

Найбільш доцільно задачу розподілу планового теплового навантаження котельної між окремими котлоагрегатами вирішувати як задачу оптимального програмування. При цьому цільовою функцією може бути досягнення мінімальної величини середньозваженої питомої витрати умовного палива на котельній:

$$b_{\text{сер.зв.}} = \frac{\sum b_{k.i} \cdot Q_{k.i}}{\sum Q_{k.i}}.$$

Однак при цьому сума теплопродуктивностей котлів, при яких досягається мінімум такої цільової функції, може суттєво відрізнятись від планового середнього теплового навантаження котельної.

Тому оптимальний розподіл навантаження котельної між котлоагрегатами краще здійснювати за критерієм мінімуму годинної витрати умовного палива на котельній або (що те ж саме) – мінімуму загальної витрати умовного палива а котельній протягом відповідного періоду (сезону, року).

Запитання для самоперевірки

1. Які основні групи чинників впливають на обсяг витрат електричної енергії на котельній?
2. Які складові включає загальний обсяг теплової енергії, що виробляється котельною протягом опалювального сезону? Які складові не входять до загального обсягу теплової енергії, що відпускається з котельної?
3. Як визначають кількість тепла, необхідну для опалення будівель?
4. Як визначають кількість тепла, необхідну для гарячого водопостачання будівель?

5. Як визначити середнє теплове навантаження котельної? Середнє теплове навантаження на опалення? Середнє корисне теплове навантаження на опалення? Середнє теплове навантаження на гаряче водопостачання?

2.3. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на виробництво тепла. Нормативні витрати електроенергії тяго-дутьовим обладнанням котельної

Котельна установка продуктивністю вище ніж 1,5 Гкал/год оснащується індивідуальним тяго-дутьовим обладнанням з регулюванням продуктивності направляючими апаратами та дроселюванням шиберами.

Споживана електродвигуном потужність (кВт) розраховується за формулою:

$$P = \frac{k \cdot V \cdot H_p}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_n \cdot \eta_e \cdot \eta_m}, \quad (2.18)$$

де k – коефіцієнт запасу (для димососів – 1,2; для вентиляторів – 1,1); V – середня за розрахунковий період продуктивність тяго-дутьового обладнання, м³/год.; H_p – повний тиск, який створює тяго-дутьове обладнання при середній за розрахунковий період продуктивності, кг/м²; η_n – експлуатаційний коефіцієнт корисної дії на валу нагнітача (димососа або вентилятора). Для електродвигунів, обладнаних частотним регулятором, для розрахунку береться $\eta_{пасп}$ з коефіцієнтом 0,96; η_m – коефіцієнт корисної дії, який враховує втрати енергії в механічній передачі, $\eta_m = 0,93/0,98$ (менший коефіцієнт – для димососів); для ремінної передачі $\eta_m = 0,93$; η_e – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Середня продуктивність тяго-дутьового обладнання визначається за формулами:

для вентилятора (м³/год.):

$$V_B = \frac{b_{ki} \cdot Q_{ki} \cdot V_1 \cdot \alpha_T}{k_e \cdot T} \cdot \frac{273 + t_{x.п.}}{273} \cdot \frac{760}{h_{бар}}; \quad (2.19)$$

для димососа (м³/год.):

$$V_D = \frac{b_{ki} \cdot Q_{ki} \cdot V_2 \cdot \alpha_{д.г.}}{k_e \cdot T} \cdot \frac{273 + t_{д.г.}}{273} \cdot \frac{760}{h_{бар}}; \quad (2.20)$$

де b_{ki} – норма питомої витрати палива на виробництво теплової енергії для i -го котла при плановому навантаженні, кг у.п./Гкал (приймається за режимними картами або розраховується згідно КТМ 204 України 246-99 «Галузева методика нормування витрат палива на виробництво та відпуск теплової енергії котельнями теплового господарства»); Q_{ki} – планове виробництво теплової енергії котлом за розрахунковий період, Гкал; k_e – тепловий еквівалент перерахування натурального палива в умовне, визначається за формулою:

$$k_e = \frac{Q_{p.н.}}{7000},$$

де $Q_{p.н.}$ – нижча теплота згорання робочого складу палива, ккал/кг (або ккал/н.м²); V_1 – теоретичний питомий об'єм повітря, необхідного для згорання розрахункової одиниці натурального палива, нм³/кг (або нм³/нм³); V_2 – теоретичний питомий об'єм димових газів, що утворюються при згоранні розрахункової одиниці натурального палива, нм³/кг (або нм³/нм³); ($Q_{p.н.}$, V_1 , V_2 наведені в технічній літературі, визначаються розрахунком або режимними випробуваннями котла); α_T – коефіцієнт надлишку повітря в топці; $\alpha_{д.г.}$ – коефіцієнт надлишку повітря в димових газах.

Середні значення коефіцієнтів визначаються згідно таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Середні значення коефіцієнтів α_T та $\alpha_{д.г.}$.

Вид палива	α_T	$\alpha_{д.г.}$
Тверде паливо	1,2-1,25	1,55-1,7
Мазут, природний газ	1,05-1,1	1,2-1,6

Більші значення $\alpha_{д.г.}$ відповідають роботі котла з навантаженням $(0,3-0,5)Q_n$; T – тривалість роботи тяго-дутьового обладнання протягом розрахункового періоду, год; $t_{х.п.}$ – температура «холодного» повітря, $^{\circ}\text{C}$ (25 - 30 $^{\circ}\text{C}$); $t_{д.г.}$ – температура димових газів, $^{\circ}\text{C}$ (приблизно 140-200 $^{\circ}\text{C}$);

Оптимальні температури викидних газів перед димососом визначаються згідно таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Оптимальні температури викидних газів перед димососом

Вид палива	Температури викидних газів перед димососом		
	для парових котлоагрегатів продуктивністю		для водогрійних котлоагрегатів продуктивністю
	20-50 Гкал/год	2-20 Гкал/год	2-50 Гкал/год
Мазут, газ	130-170	120-170	180-230
Газ	110-130	120-140	150-180
Кам'яне вугілля	120-150	120-150	170-200
Буре вугілля	120-170	120-170	180-210

$h_{бар}$ – барометричний тиск у місцевості, де встановлено котел, мм рт.ст.

α_T , $\alpha_{д.г.}$, $t_{д.г.}$ приймаються за даними теплових випробувань котлоагрегатів.

Повний розрахунковий тиск нагнітача H_p для певного режиму роботи котла визначається за даними аеродинамічних розрахунків або випробувань котельного агрегату.

Експлуатаційний коефіцієнт корисної дії на валу нагнітача η_n визначається за паспортною аеродинамічною характеристикою тяго-

дутьового обладнання для розрахованої продуктивності (м³/год.), для розрахункового тиску, приведенного до «паспортних» умов складання характеристики ($t_{\text{пасп}}$, °С та нормального атмосферного тиску 760 мм рт.ст.). Приведений тиск визначається за формулою:

$$H_{\text{пасп}} = H_p \cdot k_p, \quad (2.21)$$

де k_p – коефіцієнт приведення, який розраховується за формулою:

$$k_p = \frac{1,293 \cdot (273 + t_p)}{\rho_0 \cdot (273 + t_{\text{пасп}})} \cdot \frac{760}{h_{\text{бар}}}, \quad (2.22)$$

де t_p – розрахункова температура повітря або димових газів ($t_{\text{х.п.}}$ або $t_{\text{д.г.}}$), °С; $t_{\text{пасп}}$ – температура, за якої складена паспортна аеродинамічна характеристика нагнітача, °С; ρ_0 – густина димових газів або повітря за «нормальних» умов (+0 °С, 760 мм рт.ст.), кг/м³.

Густина димових газів визначається згідно таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Значення густини димових газів в залежності від виду палива

Коефіцієнт $\alpha_{\text{д.г.}}$	Густина димових газів, кг/м³				
	паливо				
	природний газ	мазут	антрацит АШ	кам'яне вугілля	буре вугілля
1,25	1,252	1,29	1,35	1,335	1,31
1,5	1,245	1,285	1,34	1,325	1,305
2,0	1,23	1,28	1,325	1,32	1,3
2,5	1,225	1,28	1,32	1,31	1,28

За відсутності аеродинамічних характеристик обладнання споживана електрична потужність тяго-дутьового обладнання (за наявності направляючого апарата) може бути визначена як частка від номінальної паспортної потужності, що споживається цим обладнанням, за формулою:

$$P = \frac{P_{\text{пасп.ном.}} \cdot k_{\text{експ}} \cdot k}{k_{\rho}}, \quad (2.23)$$

де $P_{\text{пасп.ном.}}$ – номінальна паспортна потужність, що споживається нагнітачем, яка розраховується за формулою (кВт):

$$P_{\text{пасп.ном.}} = \frac{V_{\text{пасп.ном.}} \cdot H_{\text{пасп.ном.}}}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{пасп.ном.}}}, \quad (2.24)$$

де $H_{\text{пасп.ном.}}$ – паспортний номінальний тиск нагнітача, кгс/м²; $V_{\text{пасп.ном.}}$ – паспортна номінальна продуктивність нагнітача, м³/год.; $\eta_{\text{пасп.ном.}}$ – паспортний номінальний коефіцієнт корисної дії нагнітача; $k_{\text{експ}}$ – експлуатаційний коефіцієнт, який визначається в залежності від відношення розрахункової продуктивності нагнітача до номінальної $V_{\text{розн.}}/V_{\text{ном.}}$.

Величина визначається згідно таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 Значення експлуатаційного коефіцієнта в залежності від відношення розрахункової продуктивності нагнітача до номінальної

$V_{\text{розн.}}/V_{\text{ном.}}$	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
$k_{\text{експ}}$	0,43	0,46	0,5	0,53	0,58	0,63	0,68	0,74	0,8	0,86	0,91	0,97	1,1

k – коефіцієнт запасу, значення якого наведені у формулі (2.18).

Для тяго-дутьового обладнання модернізованого, працюючого понад встановлений термін, нестандартних марок тощо треба користуватися даними режимних випробувань цього обладнання

Запитання для самоперевірки

1. Як визначається тепловий еквівалент перерахування натурального палива в умовне?

2. Як знайти числові значення коефіцієнту надлишку повітря в топці? Коефіцієнту надлишку повітря в димових газах?
3. В якому випадку при визначенні середньої продуктивності димососу не потрібно враховувати тривалість його роботи протягом розрахункового періоду?
4. Які паспортні номінальні дані димососу потрібні для визначення паспортної номінальної електричної потужності, що ним споживається?
5. Чому густину димових газів при нормальних умовах і числові значення експлуатаційного коефіцієнту димососу потрібно визначати шляхом інтерполяції? Як вона виконується?
6. Чому формулу (2.18) не можна відразу застосувати для визначення середньої електричної потужності, що споживається димососом з мережі?
7. Як визначити експлуатаційний ККД електродвигуна димососу?
8. В чому полягають основні відмінності розрахунку нормативної витрати електричної енергії дугтьовими вентиляторами котельної від аналогічного розрахунку, що виконується для димососів?

2.4. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на виробництво тепла. Загальні положення розрахунку нормативних витрат електроенергії насосним обладнанням котельної

У діючих котельнях в основному встановлені відцентрові крильчасті насоси; загальна кількість насосних агрегатів одного призначення 2...4; в роботі знаходяться 1...3 агрегати.

Споживана електродвигуном насоса потужність визначається за формулою (кВт):

$$P = \frac{G \cdot H \cdot 10^3}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_n \cdot \eta_e \cdot \eta_m}, \quad (2.25)$$

де G – середня продуктивність насоса, т/год.; H – повний тиск насоса за гідравлічною характеристикою для даної продуктивності, м в.ст.; η_n – ККД на

валу насоса (визначається за гідравлічною паспортною або експлуатаційною характеристикою).

ККД насоса у режимах, близьких до номінального, визначений за паспортною гідравлічною характеристикою, коригується за формулою:

$$\eta_n = \eta_{\text{пасп.}} - \eta_{\text{кр.}} - \eta_{\text{напр.}} \quad (2.26)$$

де $\eta_{\text{пасп.}}$ – паспортний ККД насоса, %; $\eta_{\text{кр.}} = 1,5 \cdot (n - 3)$, %, зниження ККД після $n > 3$ капітальних ремонтів насоса.

Необхідна кількість капремонтів визначається в залежності від тривалості роботи насоса за рік:

- від 5000 до 8000 год./рік – міжремонтний період – 2 роки;
- від 4000 до 5000 год./рік – міжремонтний період – 3 роки;
- менше 4000 год./рік – міжремонтний період – 4 роки).

$\eta_{\text{напр.}}$ – зниження ККД внаслідок тривалої експлуатації насоса між капітальними ремонтами (визначається за окремим графіком); η_e – ККД електродвигуна; η_m – коефіцієнт корисної дії, який враховує втрати енергії в механічній передачі, $\eta_m = 0,98$.

Для визначення витрат електроенергії насосами нестандартними або модернізованими у формулі (2.25) застосовуються фактичні значення величин H , G , η_e , η_n згідно з даними режимних випробувань цього обладнання.

Для електродвигуна, обладнаного частотним регулятором, враховується ККД регулятора 0,98 та втрати електроенергії при зміні частоти струму – 0,02 за формулою:

$$P = \frac{G_1 \cdot H_1 \cdot 10^3 \cdot 1,02}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_n \cdot \eta_e \cdot \eta_m \cdot 0,96} \quad (2.27)$$

де G_1 та H_1 – продуктивність, т/год., та тиск в мережі, м в.ст. при зміненому навантаженні мережі; η_n – номінальний ККД насоса; η_e – номінальний ККД двигуна.

Запитання для самоперевірки

1. Яким чином визначається споживана електродвигуном насоса потужність?
2. Яким чином коригується ККД насоса у режимах, близьких до номінального, визначений за паспортною гідравлічною характеристикою?
3. Як визначається споживана потужність для електродвигуна, обладнаного частотним регулятором?

2.5. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на виробництво тепла. Нормативні витрати електроенергії рециркуляційними насосами котельної

Витрата електроенергії насосами рециркуляційними розраховується за формулою (2.25).

Середня загальна продуктивність рециркуляційного насоса G визначається за формулою:

$$G_{\text{рец.заг.}} = G_m \cdot \frac{t_{k.min} - \tau_2}{t_k - t_{k.min}} \cdot \left(1 - \frac{t_k - \tau_1}{t_k - \tau_2}\right), \quad (2.28)$$

де G_m – витрата мережевої води, т/год; $t_{k.min}$ – мінімальна допустима температура води на вході в сталевий котел за умови недопущення корозії, °C.

При роботі на газоподібному паливі $t_{k.min} = 70$ °C; при роботі на малосірчистому мазуті та твердому паливі $t_{k.min} = 90$ °C; при роботі на сірчистому мазуті $t_{k.min} = 100-110$ °C.

τ_1, τ_2 – середня за розрахунковий період роботи котла температура відповідно в подавальному та зворотному трубопроводах теплової мережі, $^{\circ}\text{C}$;
 t_k – температура води на виході з котла, $^{\circ}\text{C}$.

$$t_k = \frac{\Delta t_{k.n.} \cdot Q_k}{Q_{k.n.}} + t_{k.min}, \quad (2.29)$$

де $\Delta t_{k.n.}$ – номінальний перепад температур води на виході та вході в котел, $^{\circ}\text{C}$;
 Q_k – середня продуктивність котла, Гкал/год; $Q_{k.n.}$ – номінальна продуктивність котла, Гкал/год.

Тиск та ККД насоса визначаються за гідравлічною характеристикою відповідно до продуктивності.

При відсутності гідравлічної характеристики насоса величина тиску (H) орієнтовно становить: 15...25 м в.ст. – для котлів продуктивністю до 10 Гкал/год.; 25...35 м в.ст. – для котлів продуктивністю від 10 до 50 Гкал/год.

Тривалість роботи насоса (T) дорівнює тривалості роботи котла, коли температура τ_2 менша за температуру $t_{k.min}$.

Запитання для самоперевірки

1. Як визначається середньозважена температура води в подавальному трубопроводі котельної?
2. Як визначається середньозважена температура води у зворотному трубопроводі котельної?
3. За яким критерієм оцінюється ступінь близькості режиму роботи рециркуляційних насосів до номінального?
4. У зв'язку з якими показниками використання рециркуляційних насосів у режимах роботи, близьких до номінального, здійснюється коригування їх номінального ККД?

5. Як визначається середня електрична потужність, що споживається кожним рециркуляційним насосом з мережі?

2.6. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на виробництво тепла. Нормативні витрати електроенергії насосами сирової води. Нормативні витрати електроенергії насосами хімоводообробки, іншими дрібними нагнітачами та допоміжним обладнанням котельної

Нормативні витрати електроенергії для насосів сирової води визначаються за формулами (2.25).

Для розрахункової продуктивності за гідравлічною характеристикою визначаються загальний тиск та ККД насоса η_n .

За відсутності характеристики величину тиску насоса H приймають в межах 25...30 м в.ст., ККД насоса $\eta_n = 0,7$.

Середня продуктивність насоса визначається:

— для котелень зі сталевими водогрійними котлами:

$$G_{с.в.} = 1,2 \cdot (G_{підж.} + k \cdot G_{т.м.}), \quad (2.30)$$

де 1,2 – коефіцієнт, який враховує втрати води на технічні потреби ХВО; $G_{т.м.}$ – витрати мережевої води, т/год. (розраховуються за формулами (2.34)-(2.36)); k – коефіцієнт, який враховує втрати сирової води на внутрішні потреби, $k = 1...2\%$.

Для розрахунку споживання електроенергії насосами ХВО та іншими нагнітачами використовується формула:

$$W = \sum_{i=1}^n P_{уст.} \cdot k_n \cdot T, \quad (2.31)$$

де $P_{уст.}$ – установлена потужність (паспортна) електроприймача, кВт; k_n – коефіцієнт використання електричної потужності, визначається згідно з таблицею 2.6.

Таблиця 2.6 Значення коефіцієнта використання електричної потужності

Обладнання	Коефіцієнт використання
Насоси ХВО та насоси різні	0,7 - 0,8
Вакуум-насоси, насоси ежектора	0,7 - 0,9
Вентилятори пальників	0,95
Сантехнічні вентилятори	0,65 - 0,75

T – тривалість роботи електроприймача, год.; n – кількість електроприймачів.

Запитання для самоперевірки

1. Які числові значення експлуатаційного тиску та ККД насосу сирової води у Порядку рекомендується приймати за відсутності гідравлічної характеристики такого насосу?
2. Як визначається обсяг мережевої води у внутрішніх системах опалення будівель?
3. Якими можуть бути режими роботи насосу сирової води? Як визначити середню продуктивність такого насосу у різних режимах його роботи?
4. За якою загальною формулою визначається середня електрична потужність, що споживається насосами системи хімводообробки та іншими дрібними споживачами електроенергії котельної?

2.7. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на транспортування теплової енергії до центральних та індивідуальних теплових пунктів. Нормативні витрати електроенергії насосами підживлення мереж тепlopостачання та опалення

Загальні відомості щодо розрахунку нормативних витрат електроенергії на транспортування теплової енергії:

1. Нормативні витрати електроенергії на транспортування теплової енергії при якісному регулюванні її відпуску майже не залежать від кількості виробленої теплової енергії.

2. Нормативні витрати електроенергії на транспортування теплової енергії від котельної до ЦТП або ІТП складаються із спожитої електроенергії двигунами мережевих насосів та насосів підживлення систем тепlopостачання (для котельних з двотрубною схемою) або мережевих насосів та насосів підживлення систем опалення, а також підвищувальних та циркуляційних насосів ГВП (для котельних з чотиритрубною схемою мереж). Нагадую, що в усіх наших розрахунках прийнято, що схема мереж є двотрубною.

Зазначені насоси, крім підвищувальних, встановлюються у приміщеннях котельних. Насоси підвищення п'єзометричного тиску на подавальних трубопроводах або його зниження на зворотних трубопроводах теплових мереж встановлюються в насосних підстанціях.

3. Для транспортування теплоносіїв застосовуються насоси відцентрові різних марок з регулюванням продуктивності дроселюванням, регулювальними клапанами тиску або з регулюванням обертів електродвигуна.

Нормативні витрати електроенергії насосами підживлення мереж тепlopостачання та опалення:

1. Нормативна витрата електроенергії насосами підживлення мереж тепlopостачання та опалення розраховується за формулами (2.25).

2. Середня робоча продуктивність постійно діючого насоса за розрахунковий період (т/год.) визначається:

$$G_{\text{підж.}} = k_{\text{підж.}} \cdot V \cdot \gamma, \quad (2.32)$$

де V – об'єм трубопроводів мережі тепlopостачання, обладнання ЦТП (ІТП), розподільчих трубопроводів опалення після ЦТП (ІТП), внутрішніх систем опалення (куб. м); $k_{\text{підж.}}$ – коефіцієнт підживлення, що визначається за діючими нормативними документами (в наших розрахунках – за КТМ 204); γ – густина

води при середній її температурі в подавальному та зворотному трубопроводах (т/м^3).

Зауваження: величина $G_{\text{підж}}$ вже визначалася з використанням (2.32) при розрахунку нормативної витрати електроенергії насосами сирієї води.

Для котельних з чотиритрубною схемою тепломереж враховується тільки об'єм трубопроводів опалення та внутрішніх систем опалення.

Питомі об'єми трубопроводів тепломережі ($\text{м}^3/\text{км}$) та внутрішніх систем ($\text{м}^3/\text{Гкал}$) наведено у КТМ 204.

3. Тиск конкретного встановленого насоса визначається за його гідравлічною характеристикою при середній продуктивності насоса. Розрахунковий тиск при виборі насоса встановлюється за п'єзометричним графіком тиску для даної тепломережі і знаходиться в межах від 10 до 40 м в.ст.

Додаткові зауваження:

1. В усіх наших розрахунках приймаємо, що насос підживлення теплової мережі працює з перервами з чергуванням його номінальної продуктивності і повного відключення.

2. Тривалість роботи насосу протягом опалювального сезону визначається як тривалість його роботи з паспортною номінальною продуктивністю.

Запитання для самоперевірки

1. Яким чином розраховуються нормативні витрати електроенергії на транспортування теплової енергії до центральних та індивідуальних теплових пунктів?

2. Як визначаються нормативні витрати електроенергії насосами підживлення мереж тепlopостачання та опалення.

3. Як розраховується середня робоча продуктивність постійно діючого насоса за розрахунковий період?

2.8. Розрахунок нормативних витрат електроенергії на транспортування теплової енергії до центральних та індивідуальних теплових пунктів. Нормативні витрати електроенергії мережевими насосами системи тепlopостачання

1. Нормативна витрата електроенергії цими насосами визначається за формулами (2.25). При цьому середня загальна продуктивність всіх мережевих насосів, що знаходяться в роботі, розраховується за формулою:

$$G_{\text{мер.}} = 1,05 \cdot (G_{\text{м}} + G_{\text{підж}}). \quad (2.33)$$

2. Витрата теплоносія (води) в мережі $G_{\text{м}}$ протягом опалювального періоду визначається:

- для котельних з загальною тепловою потужністю більше 100 МВт при цілодобовому постачанні гарячої води:

$$G_{\text{м}} = G_{\text{оп.}} + G_{\text{вент.}} + G_{\text{hm}}, \quad (2.34)$$

- для котельних з загальною тепловою потужністю від 10 до 100 МВт:

$$G_{\text{м}} = G_{\text{оп.}} + G_{\text{вент.}} + 1,2 \cdot G_{\text{hm}} \quad (2.35)$$

- для котельних з загальною тепловою потужністю до 10 МВт (включно):

$$G_{\text{м}} = G_{\text{оп.}} + G_{\text{вент.}} + G_{\text{hmax}}. \quad (2.36)$$

3. Витрата мережевої води на опалення та вентиляцію розраховується за формулою:

$$G_{\text{оп.}} (\text{або } G_{\text{вент.}}) = \frac{\sum Q_{\text{оп.}} (\text{або } \sum Q_{\text{вент.}}) \cdot 10^3}{(\tau_1 - \tau_2) \cdot c}, \quad (2.37)$$

4. Витрата мережевої води на гаряче водопостачання визначається (при паралельній схемі підключення):

$$G_{hm} (\text{або } G_{hmax}) = \frac{\sum Q_{hm} (\text{або } \sum Q_{hmax}) \cdot 10^3}{(\tau'_1 - 30) \cdot c}, \quad (2.38)$$

де $Q_{\text{оп.}}$, $Q_{\text{вент.}}$, Q_{hm} , Q_{hmax} – теплове навантаження на опалення, вентиляцію та на ГВП (відповідно максимальне та середнє) з урахуванням тепловтрат у тепловій мережі (Гкал/год.); τ_1 та τ_2 – температура теплоносія (води) у подавальному та зворотному трубопроводах тепломережі ($^{\circ}\text{C}$); τ'_1 – температура води в подавальному трубопроводі в «точці зламу» температурного графіка ($^{\circ}\text{C}$); c – теплоємність води ($c = 1 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$).

Зауваження: формули (2.34)–(2.38) раніше вже обговорювалися і використовувалися при розрахунку нормативних витрат електроенергії рециркуляційними насосами.

5. Тиск мережевих насосів дорівнює сумі втрат тиску на джерелі теплопостачання, в подавальному і зворотному трубопроводах тепломереж, втрат тиску в ЦТП або ІТП і перебуває в межах від 15 до 150 м в.ст.

Для існуючих конкретних мережевих насосів, які забезпечують необхідний розрахунковий гідравлічний режим мереж, тиск насоса, його ККД (експлуатаційний) або споживана електрична потужність при регулюванні продуктивності дроселюванням визначається за гідравлічною характеристикою насоса.

Запитання для самоперевірки

1. Як визначається середньозважена температура води в подавальному трубопроводі котельної?

2. Як визначається середньозважена температура води у зворотному трубопроводі котельної?
3. Чому і яким чином прийнято числове значення температури води у зворотному трубопроводі в точці “зламу” температурного графіку котельної?
4. Як розподіляються загальні витрати мережевої води на котельній між окремими котлоагрегатами?
5. За яким критерієм оцінюється ступінь близькості режиму роботи рециркуляційних насосів до номінального?
6. У зв'язку з якими показниками використання мережевих насосів у режимах роботи, близьких до номінального, здійснюється коригування їх номінального ККД?
7. Як визначається середня електрична потужність, що споживається кожним мережевим насосом?

2.9. Встановлення норм питомої витрати електроенергії на котельній, контроль та аналіз їх виконання

Норми питомої витрати електричної енергії на відповідний плановий період (зокрема, на опалювальний сезон) встановлюються на підставі одержаних результатів розрахунку нормативних витрат електроенергії, які визначаються за методикою, наведеною у Порядку.

На будь-якій котельній необхідно встановлювати такі норми окремо для кожного з етапів технологічного процесу виробництва (відпуску), транспортування та постачання (розподілу) теплової енергії, що необхідно для забезпечення можливості подальшого контролю ефективності використання електричної енергії у на кожному з зазначених етапів. При цьому, відповідно до класифікації норм питомої витрати електроенергії, наведеної у Порядку, для кожного з етапів потрібно встановлювати норми питомої витрати електроенергії двох різновидів: технологічні і загальновиробничі.

Таким чином, обсяг виконання розрахунків у якій є дещо скороченим, необхідно встановити для котельної на опалювальний сезон шість показників норм питомої витрати електроенергії (w):

$$W_{\text{техн.вир.}}, W_{\text{техн.відп.}}, W_{\text{техн.трансп.}};$$

$$W_{\text{заг.вир.}}, W_{\text{заг.відп.}}, W_{\text{заг.трансп.}}.$$

Як відомо, будь-яка з зазначених норм являє собою відношення нормативних витрат електроенергії (W) для кожного з етапів технологічного процесу, визначених на відповідний плановий період, до запланованого на цей період обсягу (Q) виробництва (або відпуску) теплової енергії.

Отже:

$$w_{\text{техн.вир.}} = \frac{W_{\text{техн.вир.}}}{Q_{\text{вир.}}};$$

$$w_{\text{техн.відп.}} = \frac{W_{\text{техн.відп.}}}{Q_{\text{відп.}}};$$

$$w_{\text{техн.трансп.}} = \frac{W_{\text{техн.трансп.}}}{Q_{\text{трансп.}}}.$$

Приймаючи до уваги, що $W_{\text{техн.вир.}} = W_{\text{техн.відп.}}$, а $Q_{\text{трансп.}} = Q_{\text{відп.}}$, одержимо:

$$w_{\text{техн.вир.}} = \frac{W_{\text{техн.вир.}}}{Q_{\text{вир.}}};$$

$$w_{\text{техн.відп.}} = \frac{W_{\text{техн.вир.}}}{Q_{\text{відп.}}};$$

$$w_{\text{техн.трансп.}} = \frac{W_{\text{техн.трансп.}}}{Q_{\text{відп.}}}.$$

Визначення планових обсягів виробництва і відпуску тепла на котельній розглядалося раніше в процесі виконання розрахунку теплового навантаження котельної.

Технологічні витрати електричної енергії на виробництво тепла згідно Порядку включають:

$$W_{\text{техн.вир.}} = W_{\text{вент.}} + W_{\text{дим.}} + W_{\text{рецир.нас.}} + W_{\text{нас.СВ}} + W_{\text{нас.ХВО}},$$

де наведені у формулі складові є нормативними витратами електроенергії відповідно дуттьовими вентиляторами, димососами, рециркуляційними насосами, насосами сирової води та насосами системи хімводообробки.

У свою чергу, технологічні витрати електричної енергії на транспортування тепла включають:

$$W_{\text{техн.трансп.}} = W_{\text{нас.підж.}} + W_{\text{мер.нас.}},$$

де наведені складові є нормативними витратами електроенергії відповідно насосами підживлення системи теплопостачання та мережевими насосами цієї системи.

Як відомо, загальновиробничі норми питомої витрати електричної енергії, крім нормативних технологічних її витрат, включають також нормативні витрати електроенергії на допоміжні потреби котельної (освітлення, сантехнічна вентиляція, виконання ремонтних робіт, короткотермінові пуски обладнання після ремонту, випробування теплової мережі тощо). Методику розрахунку нормативних витрат електроенергії на ці потреби наведено у Порядку.

Однак, перш ніж визначати відповідні загальновиробничі норми питомої витрати електричної енергії для котельної, необхідно загальні (сумарні) її витрати на допоміжні потреби розподілити між двома процесами: виробництвом (відпуском) і транспортуванням тепла. Такий розподіл завжди є достатньо умовним, і його найбільш доцільно здійснювати пропорційно «прямим» (технологічним) нормативним витратам електроенергії на відповідні процеси.

Отже, визначивши загальні (сумарні) нормативні витрати електроенергії на допоміжні потреби ($W_{\text{доп.сум.}}$), їх розподіл між процесами виробництва (відпуску) і транспортування тепла можна виконати таким чином:

$$W_{\text{доп.вир.}} = W_{\text{доп.сум.}} \frac{W_{\text{техн.вир.}}}{W_{\text{техн.вир.}} + W_{\text{техн.трансп.}}},$$

$$W_{\text{доп.трансп.}} = W_{\text{доп.сум.}} \frac{W_{\text{техн.трансп.}}}{W_{\text{техн.вир.}} + W_{\text{техн.трансп.}}}.$$

Таким чином загальновиробничі норми питомої витрати електричної енергії на відповідні етапи технологічного процесу необхідно визначати за формулами:

$$w_{\text{заг.вир.}} = \frac{W_{\text{техн.вир.}} + W_{\text{доп.вир.}}}{Q_{\text{вир.}}};$$

$$w_{\text{заг.відп.}} = \frac{W_{\text{техн.вир.}} + W_{\text{доп.вир.}}}{Q_{\text{відп.}}};$$

$$w_{\text{заг.трансп.}} = \frac{W_{\text{техн.трансп.}} + W_{\text{доп.трансп.}}}{Q_{\text{відп.}}}.$$

Контроль та аналіз виконання встановлених норм питомої витрати електричної енергії на котельній

Аналіз виконання встановлених норм питомого енергоспоживання на промислових підприємствах доцільно проводити щомісячно. Це пов'язано з періодичністю планування і обліку випуску продукції, енергоспоживання і інших параметрів виробничого процесу.

Такий аналіз заснований на зіставленні фактичних і планових результатів енерговикористання, як по технологічних об'єктах (окремим агрегатам, установкам, технологічним процесам), так і по господарських об'єктах (по підприємству в цілому і по його виробничим підрозділах). При цьому величина розбіжності між вказаними результатами енергоспоживання з метою

попереднього аналізу причин виникнення ситуації, що склалася, має бути розділена на дві складові: залежна і незалежна від дії персоналу відповідного об'єкту.

Для проведення аналізу виконання встановлених норм питомого енергоспоживання по відповідному об'єкту необхідно знати:

- скільки продукції за цей місяць мало бути випущено за планом ($A_{\text{пл}}$);
- які корективи були внесені до плану виробництва продукції у зв'язку з об'єктивними, незалежними від дій персоналу цього об'єкту змінами умов виробництва ($A_{\text{пл.скор}}$);
- скільки фактично було випущено продукції ($A_{\text{ф}}$) і спожито енергії ($W_{\text{ф}}$) за цей період часу.

Фактична питома витрата енергії по об'єкту за відповідний місяць визначається співвідношенням:

$$d_{\text{ф}} = \frac{W_{\text{ф}}}{A_{\text{ф}}} \quad (2.39)$$

За сімейством нормалізованих енергетичних характеристик цього технологічного або господарського об'єкту потрібно визначити значення планової норми питомої витрати енергії ($d_{\text{пл}}$), а також питому витрату енергії, що називається нормальною питомою витратою ($d_{\text{норм}}$), яка відповідає фактичному обсягу випуску продукції і змінам виробничих умов, що сталися (або мали статися) з об'єктивних, не залежних від дій персоналу причин (рис. 2.1).

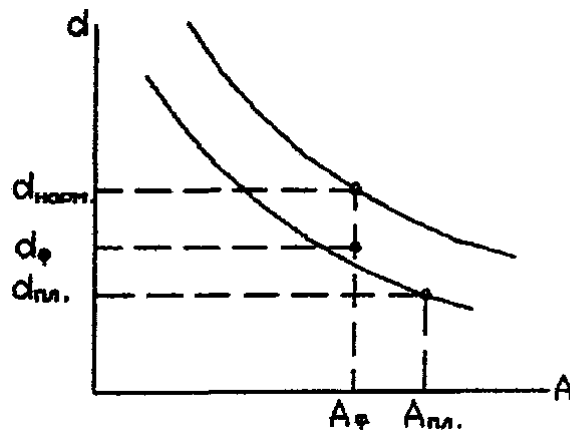


Рис. 2.1 Визначення планової та нормальної питомої витрати енергії

Рівень ефективності використання енергії на цьому об'єкті можна оцінити, порівнюючи між собою величину фактичної (d_{ϕ}) і нормальної ($d_{\text{норм}}$) питомої витрати енергії. При цьому очевидно, що ефективному енергоспоживанню повинно відповідати відношення $d_{\phi} \leq d_{\text{норм}}$. Проте на підставі такої оцінки ще рано робити остаточні висновки. Для цього потрібно проаналізувати також основні причини отриманих результатів енерговикористання по об'єкту.

Помноживши значення питомої витрати енергії $d_{\text{пл}}$ і $d_{\text{норм}}$, встановлені за нормалізованими енергетичними характеристиками (рис. 2.1), на фактичний обсяг випуску продукції A_{ϕ} , можна визначити відповідно скориговану планову величину енергоспоживання ($W_{\text{пл.скор}}$) і нормальну величину витрати енергії ($W_{\text{норм}}$) по цьому об'єкту:

$$\begin{aligned} W_{\text{пл.скор}} &= d_{\text{пл}} \cdot A_{\phi}, \\ W_{\text{норм}} &= d_{\text{норм}} \cdot A_{\phi}. \end{aligned} \quad (2.40)$$

Тоді загальну економію енергії, що мала місце на цьому об'єкті за відповідний період (чи перевитрату енергії), можна обчислити по формулі:

$$\Delta W = W_{\text{пл.скор}} - W_{\phi}. \quad (2.41)$$

При цьому економія енергії, що виникла з причин, не залежних від дій персоналу об'єкту (чи перевитрата енергії з тих же причин), визначається за виразом:

$$\Delta W_{\text{незав}} = W_{\text{пл.скор}} - W_{\text{норм}}, \quad (2.42)$$

а економія енергії, пов'язана з причинами, залежними від персоналу цього об'єкту (чи перевитрата енергії з цих причин), розраховується по формулі:

$$\Delta W_{\text{зав}} = W_{\text{норм}} - W_{\text{ф}}. \quad (2.43)$$

Якщо норми питомої витрати енергії були встановлені не диференційовано по усіх видах продукції, що випускається даним об'єктом, а укрупнено (тобто на одиницю приведеної або узагальненої продукції), подібний розрахунок необхідно виконувати не лише у разі зміни кількості вироблюваної продукції, але також і при зміні її асортименту, якості або розміру матеріалів, які використовуються для її виготовлення тощо. Аналіз результатів енерговикористання в цих випадках також здійснюється на підставі нормалізованих енергетичних характеристик відповідного об'єкту.

Запитання для самоперевірки

1. Які різновиди норм питомої витрати електричної енергії потрібно встановлювати для котельної?

2. Які складові електроспоживання включають технологічні витрати електричної енергії на виробництво тепла на котельній? Технологічні витрати електроенергії на відпуск тепла з котельної? Технологічні витрати електроенергії на транспортування тепла?

3. Чим загальновиробничі норми питомої витрати електричної енергії відрізняються від технологічних норм на відповідні етапи технологічного процесу виробництва, відпуску і транспортування тепла?

4. Чим відрізняються між собою планові скориговані і нормальні витрати електричної енергії?

5. Яким чином визначається загальна економія (перевитрата) електроенергії на об'єкті, що контролюється? Залежна та незалежна складові економії (перевитрати) енергії?

РОЗДІЛ 3. ВСТАНОВЛЕННЯ «ПРОСТИХ» ТА НАСКРІЗНИХ НОРМ ПИТОМОЇ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ З ШИРОКИМ АСОРТИМЕНТОМ ПРОДУКЦІЇ, ЩО ВИРОБЛЯЄТЬСЯ

На багатьох підприємствах виробляється велика кількість видів, сортів чи типорозмірів кінцевої продукції, а також так звані напівфабрикати (проміжні види продукції), які теж можуть бути призначені на продаж.

В залежності від мети контролю та аналізу енергоефективності норми питомої витрати енергії, зокрема електричної, на таких підприємствах можуть встановлюватись окремо для кожного з етапів виробництва кінцевої продукції. Такі норми враховують нормативні витрати та втрати енергії окремо на кожному етапі виробництва продукції і їх встановлення дає змогу контролювати і аналізувати ефективність використання електроенергії окремо на кожному з цих етапів (без врахування витрат та втрат енергії на інших етапах). Для спрощення такі норми можна назвати «простими».

Крім того, на будь-якому підприємстві обов'язково потрібно встановлювати норми питомої витрати електроенергії окремо для кожного з видів, сортів чи типорозмірів кінцевої продукції, що дозволяє контролювати та аналізувати енергетичну ефективність виробництва окремо кожного з цих видів продукції. Такі норми за визначенням є наскрізними, тобто такими, що враховують сумарні нормативні витрати та втрати енергії на всіх етапах виробництва кожного виду продукції.

Теж саме стосується і напівфабрикатів, що призначені на продаж. Для них потрібно встановлювати як «прості», так і наскрізні норми питомої витрати енергії, які враховують витрати та втрати енергії не тільки на завершальному етапі, але також і на всіх попередніх етапах їх виробництва.

При цьому як для кінцевої продукції, та і для напівфабрикатів необхідно встановлювати всі різновиди «простих» та наскрізних норм: технологічні, загальновиробничі цехові та загальновиробничі заводські норми. У зв'язку з цим

доцільно пригадати, які витрати та втрати енергії повинен включати кожен з цих різновидів норм.

3.1. Склад норм питомої витрати електроенергії для підприємств з широким асортиментом продукції

Під складом норм розуміють перелік статей витрати енергії, які необхідно враховувати при формуванні норм питомої витрати енергії на виробництво цієї продукції або виконання роботи.

При встановленні норм енергоспоживання треба точно знати, які витрати енергії слід включати до їх складу, а які не слід. У зв'язку з цим, передусім, необхідно пам'ятати, що нормалізації підлягають усі види витрати енергії, не залежно від об'єму її споживання і джерел енергопостачання. Крім того, не менш важливо забезпечити, щоб склад норм витрати енергії встановлювався на єдиній методичній основі і відбивав дійсну енергоємність виробництва (що вже було вказане у вимогах до норм питомої витрати енергії, перерахованих в попередньому питанні). Тому, незважаючи на «індивідуальний» підхід до рішення задачі нормалізації енергоспоживання на кожному окремому підприємстві, треба усвідомлювати, що довільна зміна складу норм питомої витрати енергії в процесі їх встановлення недопустима, оскільки це призводить до спотворення об'єктивної оцінки ефективності енерговикористання на підприємстві і, тим самим, не дозволяє прийняти правильні рішення по її підвищенню.

Безумовно, склад норм витрати енергії специфічний для різних галузей промисловості. Тому склад норм повинен регламентуватися, передусім, галузевими методиками і інструкціями по нормалізації енергоспоживання. Проте, існують певні міжгалузеві правила, на основі яких може бути встановлений укрупнений склад норм питомої витрати енергії, відповідний будь-якій галузі промисловості.

Склад технологічних норм питомої витрати енергії (цехових або заводських) може бути представлений у вигляді наступної формули:

$$d_T^H = \frac{W_{T.пр.} + W_{пуск.т.} + W_{втр.т.}}{Q}, \quad (3.1)$$

де d_T^H – технологічна норма питомої витрати енергії (цехова або заводська); $W_{T.пр.}$ – витрати енергії на основні і допоміжні технологічні процеси виробництва продукції або роботи (відповідно по цеху або підприємству в цілому); $W_{пуск.т.}$ – витрата енергії на підтримку енерговикористовуючих агрегатів в гарячому резерві, на їх розігрівання і пуск після планових поточних ремонтів і холодних простоїв; $W_{втр.т.}$ – технічно неминучі втрати енергії в технологічній і енергетичній частинах енерговикористовуючих агрегатів; Q – обсяг випуску продукції (відповідно по цеху або по підприємству в цілому).

У свою чергу, склад загальновиробничих цехових норм витрати енергії можна представити залежністю:

$$d_{заг.ц.}^H = \frac{W_{т.} + W_{доп.ц.} + W_{втр.ц.}}{Q_{ц.}}, \quad (3.2)$$

де $d_{заг.ц.}^H$ – загальновиробнича цехова норма питомої витрати енергії; $W_{т.}$ – витрати енергії, що входять до складу цехової технологічної норми; $W_{доп.ц.}$ – витрата енергії на допоміжні потреби цеху (на опалювання, освітлення, вентиляцію, на внутрішньо цеховий транспорт, цехові ремонтні майстерні, господарчо-побутові і санітарно-гігієнічні потреби цеху); $W_{втр.ц.}$ – технічно неминучі втрати енергії у внутрішньоцехових мережах і перетворювачах; $Q_{ц.}$ – обсяг випуску продукції по цеху.

Склад загальновиробничих заводських норм питомої витрати енергії може бути представлений у вигляді наступної формули:

$$d_{\text{заг.з.}}^{\text{н}} = \frac{W_{\text{заг.ц.}} + W_{\text{доп.з.}} + W_{\text{втр.з.}}}{Q_3}, \quad (3.3)$$

де $d_{\text{заг.з.}}^{\text{н}}$ – загальновиробнича заводська норма питомої витрати енергії; $W_{\text{заг.ц.}}$ – витрати енергії, що входять до складу загальновиробничих цехових норм; $W_{\text{доп.з.}}$ – витрата енергії на допоміжні потреби підприємства (на виробництво стисненого повітря, холоду, кисню, азоту та ін.; на водопостачання, на виробничі потреби допоміжних і обслуговуючих підрозділів; ремонтних, інструментальних цехів, заводських лабораторій, складів, адміністративних будівель, включаючи їх освітлення, опалювання і вентиляцію, на внутрішньозаводський транспорт, зовнішнє освітлення території та ін.); $W_{\text{втр.з.}}$ – технічно неминучі втрати енергії в заводських мережах і перетворювачах (до цехових пунктів обліку); Q_3 – обсяг випуску продукції по підприємству.

При рішенні задачі нормалізації енергоспоживання потрібно враховувати, що на промислових підприємствах, окрім норм витрати енергії на виробництво продукції, необхідно встановлювати також норми питомої витрати енергії окремо на опалювання, освітлення, вентиляцію, виробництво стисненого повітря, кисню, подачу води і інші допоміжні потреби виробництва.

З іншого боку, при визначенні норм витрати енергії необхідно пам'ятати також, що до їх складу не включаються витрати енергії, викликані відступом від прийнятої технології виробництва, від встановлених режимів роботи устаткування, пов'язані з недодержанням вимог до якості сировини і матеріалів, і інші варіанти нераціональної витрати енергії. У норми витрати енергії не включаються також витрати енергії на будівництво і капітальний ремонт будівель і споруд, на монтаж, пуск і наладку нового технологічного устаткування, на науково-дослідні і експериментальні роботи, а також відпуск енергії стороннім споживачам (селищам, їдальням, клубам, дитячим дошкільним установам тощо). Крім того, якщо підприємство, окрім основної продукції, випускає напівфабрикати для реалізації іншим організаціям або товари народного споживання, витрата енергії на їх виробництво також не включається

в норми витрати енергії на виробництво основної продукції або роботи. Витрата енергії на кожну з цих потреб має бути нормалізована окремо.

Таким чином, підводячи підсумок сказаному, ще раз звернемо увагу на те, що на будь-якому промисловому підприємстві для всебічної і повної оцінки ефективності споживання енергії необхідно встановити норми питомої її витрати не лише на випуск основної продукції, але також і на допоміжні потреби виробництва, на капітальне будівництво і ремонт будівель, споруд, на виробництво напівфабрикатів для реалізації, товарів народного споживання тощо. Іншими словами, необхідний рівень ефективності енерговикористання має бути встановлений практично по усіх видах виробничо-господарської діяльності підприємства. Ясно, що проведення такого величезного обсягу робіт по нормалізації енергоспоживання пов'язане з певними методичними складнощами, а також з великими витратами часу і праці працівників енергетичної і інших служб підприємства.

Запитання для самоперевірки

1. Розкрийте сутність поняття «склад норм питомої витрати енергії».
2. Які витрати і втрати енергії повинні бути включені до складу технологічної норми питомої витрати енергії?
3. Які витрати і втрати енергії повинні бути включені до складу загальновиробничої цехової норми питомої витрати енергії?
4. Які витрати і втрати енергії повинні бути включені до складу загальновиробничої заводської норми питомої витрати енергії?
5. Які витрати та втрати енергії не включаються до складу норм питомої витрати енергії?
6. Опишіть вибір одиниць вимірювання обсягу виробництва для розрахунку та нормалізації питомих витрат енергії.
7. Визначте основні переваги, недоліки та область використання натуральних, зведених (умовних) та вартісних показників обсягу виробництва продукції.

3.2. Розрахунок «простих» та наскрізних норм питомої витрати електроенергії

Розглянемо методику розрахунку «простих» та наскрізних норм питомої витрати електроенергії на прикладі виробництва вкладишів. Розрахунок норм питомих витрат електричної енергії на цей вид продукції здійснювався на підставі планових витрат електричної енергії по відділенню мідно-цинкових сплавів (виробництво вкладишів) на рік, а також, виходячи з розподілу обладнання на технологічне і допоміжне цехове.

Норми питомих витрат електричної енергії визначені у кВт·год. на 1 т загального обсягу виробництва вкладишів.

Склад технологічної норми та розрахункові обсяги витрат електричної енергії по відділенню мідно-цинкових сплавів (виробництво вкладишів) на плановий рік за статтями, що входять до цієї норми, наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Склад технологічної норми питомих витрат електричної енергії на виробництво вкладишів та розрахункові обсяги витрат електроенергії за її статтями

<i>№ п/п</i>	<i>Назва статей витрат електричної енергії, що входять до складу норми</i>	<i>Витрати електроенергії протягом планового періоду, кВт·год</i>
1	Витрати електроенергії частиною технологічного обладнання відділення мідно-цинкових сплавів (піч ИСТ, її допоміжне обладнання, машини відцентрового лиття)	1160199,2
2	Витрати електроенергії технологічним обладнанням дільниці обробки вкладишів відцентрового лиття	16523,52
3	Планове скорочення технологічних витрат електроенергії	----
4	Витрати електричної енергії, що входять до складу технологічної норми	1176722,7

Виходячи з того, що план виробництва втулок на рік складає 650 т, технологічна норма питомої витрати електроенергії на виробництво цього виду продукції дорівнює:

$$w_{\text{техн.}} = 1176722,7/650 = 1810,34 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Склад загальновиробничої цехової норми та розрахункові обсяги витрат електричної енергії по відділенню мідно-цинкових сплавів (виробництво вкладишів) на плановий рік за статтями, що входять до цієї норми, наведені у таблиці 3.2.

Виходячи з зазначеного вище планового обсягу виробництва вкладишів на рік, загальновиробнича цехова норма питомої витрати електроенергії на виробництво цього виду продукції дорівнює:

$$w_{\text{заг.цех.}} = \frac{1247200,0}{650} = 1918,77 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Таблиця 3.2 Склад загальновиробничої цехової норми питомих витрат електричної енергії на виробництво вкладишів та розрахункові обсяги витрат електричної енергії за її статтями

<i>n/n</i>	<i>Назва статей витрат електричної енергії, що входять до складу норми</i>	<i>Витрати електроенергії протягом планового періоду, кВт·год</i>
	Витрати електричної енергії, що входять до складу технологічної норми	1176722,7
	Витрати електроенергії частиною допоміжного обладнання відділення мідно-цинкових сплавів (пропорційно електроспоживанню печі ИСТ, її допоміжного обладнання, машин відцентрового лиття)	38528,53
	Витрати електроенергії допоміжним обладнанням дільниці обробки вкладишів відцентрового лиття	31948,8
	Технічно неминучі втрати електроенергії в цехових мережах	----
	Планове скорочення витрат електроенергії на цехові допоміжні потреби та втрат енергії в цехових мережах	----
	Витрати електричної енергії, що входять до складу загальновиробничої цехової норми	1247200,0

Склад загальновиробничої заводської норми та розрахункові обсяги витрат електричної енергії по відділенню мідно-цинкових сплавів (виробництво вкладишів) на рік за статтями, що входять до цієї норми, наведені у таблиці 3.3.

Виходячи з зазначеного вище планового обсягу виробництва вкладишів на рік, загальновиробнича заводська норма питомої витрати електроенергії на виробництво цього виду продукції дорівнює:

$$w_{\text{заг.зав.}} = \frac{1527168,9}{650} = 2349,49 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Визначені таким чином норми питомих витрат електричної енергії характеризують енергоємність виробництва продукції у відділенні мідно-цинкових сплавів (виробництво вкладишів).

Таблиця 3.3 Склад загальновиробничої заводської норми питомих витрат електричної енергії на виробництво вкладишів та розрахункові обсяги витрат електричної енергії за її статтями

<i>№ п/п</i>	<i>Назва статей витрат електричної енергії, що входять до складу норми</i>	<i>Витрати електроенергії протягом планового періоду, кВт·год</i>
1	Витрати електричної енергії, що входять до складу загальновиробничої цехової норми	1247200,0
2	Частина витрат електроенергії на загальнозаводські потреби та технічно неминучих втрат електроенергії в заводських мережах, що відноситься на виробництво вкладишів	279968,93
3	Частина планового скорочення витрат електроенергії на заводські допоміжні потреби та втрат енергії в заводських мережах, що відноситься на виробництво вкладишів	----
4	Витрати електричної енергії, що входять до складу загальновиробничої заводської норми	1527168,9

З метою визначення наскрізних норм питомих витрат електричної енергії на виробництво вкладишів, крім витрат електроенергії безпосередньо на їх виготовлення, необхідно врахувати витрати електричної енергії на цю

продукцію на попередніх етапах її виробництва (на виробництво відповідного обсягу мідно-цинкових сплавів).

Склад наскрізної технологічної норми та розрахункові обсяги витрат електричної енергії по відділенню мідно-цинкових сплавів (виробництво вкладишів) на рік за статтями, що входять до цієї норми, наведені у таблиця 3.4.

Виходячи з того, що план виробництва втулок на рік складає 650 т, наскрізна технологічна норма питомої витрати електроенергії на виробництво цього виду продукції дорівнює:

$$w_{\text{наскр.техн.}} = \frac{2061975,7}{650} = 3172,27 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Таблиця 3.4 Склад наскрізної технологічної норми питомих витрат електричної енергії на виробництво вкладишів та розрахункові обсяги витрат електроенергії за її статтями

<i>№ п/п</i>	<i>Назва статей витрат електричної енергії, що входять до складу норми</i>	<i>Витрати електро- енергії протягом планового періоду, кВт·год</i>
1	Витрати електричної енергії, що входять до складу технологічної норми на виробництво вкладишів	1176722,7
2	Технологічні витрати електричної енергії на виробництво відповідної кількості мідно-цинкових сплавів (з урахуванням втрат при виробництві вкладишів)	$\begin{array}{r} 3761780,7 \cdot 650 \\ \hline 0,6975 \cdot 3960 \end{array} = 885253$
3	Витрати електричної енергії, що входять до складу наскрізної технологічної норми	2061975,7

Склад наскрізної загальновиробничої цехової норми та розрахункові обсяги витрат електричної енергії по відділенню мідно-цинкових сплавів (виробництво вкладишів) на рік за статтями, що входять до цієї норми, наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 Склад наскрізної загальновиробничої цехової норми питомих витрат електричної енергії на виробництво вкладишів та розрахункові обсяги витрат електричної енергії за її статтями

<i>№ п/п</i>	<i>Назва статей витрат електричної енергії, що входять до складу норми</i>	<i>Витрати електроенергії протягом планового періоду, кВт·год</i>
1	Витрати електричної енергії, що входять до складу загальновиробничої цехової норми на виробництво вкладишів	1247200,0
2	Загальновиробничі цехові витрати електричної енергії на виробництво відповідної кількості мідно-цинкових сплавів (з урахуванням втрат при виробництві вкладишів)	3886703,9·650 ----- =914650,94 0,6975·3960
	Витрати електричної енергії, що входять до складу наскрізної загальновиробничої цехової норми	2161850,9

Виходячи з зазначеного вище планового обсягу виробництва вкладишів на рік, наскрізна загальновиробнича цехова норма питомої витрати електроенергії на виробництво цього виду продукції дорівнює:

$$W_{\text{наскр.заг.цех.}} = \frac{2161850,9}{650} = 3325,92 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Склад наскрізної загальновиробничої заводської норми та розрахункові обсяги витрат електричної енергії по відділенню мідно-цинкових сплавів (виробництво вкладишів) на рік за статтями, що входять до цієї норми, наведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 Склад наскрізної загальновиробничої заводської норми питомих витрат електричної енергії на виробництво вкладишів та розрахункові обсяги витрат електричної енергії за її статтями

№ п/п	Назва статей витрат електричної енергії, що входять до складу норми	Витрати електроенергії протягом планового періоду, кВт·год
1	Витрати електричної енергії, що входять до складу загальновиробничої заводської норми на виробництво вкладишів	1527168,9
2	Загальновиробничі заводські витрати електричної енергії на виробництво відповідної кількості мідно-цинкових сплавів (з урахуванням втрат при виробництві вкладишів)	4759183,3·650 ----- =1119969,8 0,6975·3960
3	Витрати електричної енергії, що входять до складу наскрізної загальновиробничої заводської норми	2647138,7

Виходячи з зазначеного вище планового обсягу виробництва вкладишів на рік, наскрізна загальновиробнича заводська норма питомої витрати електроенергії на виробництво цього виду продукції дорівнює:

$$w_{\text{наскр. заг. зав.}} = \frac{2647138,7}{650} = 4072,52 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Визначені таким чином наскрізні норми питомих витрат електричної енергії характеризують загальну енергоємність виробництва вкладишів з урахуванням витрат електричної енергії на цю продукцію на попередніх етапах її виробництва (на виробництво відповідного обсягу мідно-цинкових сплавів).

Запитання для самоперевірки

1. Який склад технологічної норми питомих витрат електричної енергії на виробництво продукції та яким чином розраховуються обсяги витрат електроенергії за її статтями?
2. Який склад загальновиробничої цехової норми питомих витрат електричної енергії на виробництво продукції та яким чином розраховуються обсяги витрат електричної енергії за її статтями?

3. Який склад загальновиробничої заводської норми питомих витрат електричної енергії на виробництво продукції та яким чином розраховуються обсяги витрат електричної енергії за її статтями?

4. Який склад наскрізної технологічної норми питомих витрат електричної енергії на виробництво продукції та яким чином розраховуються обсяги витрат електроенергії за її статтями?

5. Який склад наскрізної загальновиробничої цехової норми питомих витрат електричної енергії на виробництво продукції та яким чином розраховуються обсяги витрат електричної енергії за її статтями?

6. Який склад наскрізної загальновиробничої заводської норми питомих витрат електричної енергії на виробництво продукції та яким чином розраховуються обсяги витрат електричної енергії за її статтями?

3.3. Переваги та недоліки існуючої в Україні системи нормування питомих витрат ПЕР

Методологічною основою оцінки та контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) в Україні є система нормування питомих витрат палива та енергії на виробництво продукції, виконання робіт чи надання послуг.

Нормування питомих витрат ПЕР в нашій державі було відновлене у 1996 році і з того часу здійснюється у відповідності з Законом України «Про енергозбереження», Указом Президента України від 16.06.1999р. № 662 «Про заходи для зменшення енергоспоживання бюджетними установами, організаціями та казенними підприємствами», Постановою КМУ від 30.11.1999р. № 2183 «Про зменшення енергоспоживання бюджетними установами, організаціями та казенними підприємствами», Постановою КМУ від 27.06.2000р. № 1040 «Про невідкладні заходи для виконання Комплексної державної програми енергозбереження України» та іншими нормативними документами.

Метою впровадження в Україні системи нормування питомих витрат палива та енергії було створення умов для державного контролю та управління ефективністю енергоспоживання, забезпечення ощадливого та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів в усіх галузях економіки нашої держави.

Галузевими міністерствами та відомствами, місцевими органами виконавчої влади, колишнім Державним Комітетом України з енергозбереження, Державною інспекцією України з енергозбереження виконана значна робота у напрямку розробки та затвердження методичних матеріалів з нормування питомих витрат ПЕР, зі встановлення та контролю дотримання норм для підприємств різних галузей виробництва, житлово-комунальної та бюджетної сфери тощо. Можна стверджувати, що результати цієї роботи певною мірою сприяли тому, що протягом останніх років відбулася стабілізація та деяке підвищення ефективності споживання паливно-енергетичних ресурсів в державі.

Однак, досвід нормування питомих витрат палива та енергії, яке здійснювалось протягом багатьох десятиріч, а також результати нормування питомих витрат ПЕР, одержані протягом останніх років в Україні, свідчать про те, що існуюча в нашій державі система нормування питомих витрат ПЕР має суттєві недоліки.

Щоб пересвідчитись в тому, що існуюча в нашій державі система нормування питомих витрат ПЕР дійсно має значні недоліки, та визначити, які саме, необхідно звернутися до двох нормативних документів, в яких визначені основні вимоги до норм питомих витрат палива чи енергії, на підставі яких може здійснюватись об'єктивний контроль ефективності використання енергоресурсів. Мова йде про «Загальні положення про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві», затверджені Постановою Кабінету Міністрів України від 15 липня 1997 р. №786 (зі змінами та доповненнями, внесеними постановою Кабміну від 27 червня 2000 р. №1040), та про «Основні методичні положення з нормування питомих

витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві», затверджені наказом Держкоменергозбереження України від 14 жовтня 1997 р. №93.

У зазначених документах визначено, що норми питомих витрат ПЕР повинні:

- бути технічно та економічно обґрунтованими;
- враховувати:
 - конкретні умови виробництва;
 - досягнення науково-технічного прогресу у відповідній галузі;
 - плани заходів з енергозбереження, намічених на відповідну

перспективу;

- систематично переглядатись з урахуванням змін:
 - технічного стану обладнання;
 - технології та організації виробництва;
 - виробничих умов тощо.

Саме, виходячи з цих вимог, необхідно проаналізувати існуючу в нашій державі систему нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів. З цією метою було розглянуто та проаналізовано близько 20 діючих (погоджених Держкоменергозбереження) методик нормування.

Результати такого аналізу підтвердили, що практично всі розглянуті методики не дозволяють встановлювати норми питомих витрат ПЕР, які відповідали б зазначеним вище вимогам.

Одним з основних недоліків діючих в Україні методик з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів є те, що процес нормування ґрунтується на розрахунку обсягу середнього річного споживання палива та енергії окремими установками, агрегатами чи технологічними процесами виробництва, а також окремими підрозділами, підприємствами, організаціями та установами в цілому. Точніше, проблема полягає в тому, що нормування питомих витрат ПЕР за існуючими методиками базується на побудові фактичного середнього річного балансу споживання палива чи енергії на підприємстві, в організації чи установі. Очевидно, що такий енергобаланс

характеризує не прогресивний, а реально досягнутий на підприємстві рівень ефективності використання палива чи енергії з усіма існуючими їх понаднормативними втратами та нераціональним споживанням. І саме на підставі таких фактичних енергобалансів встановлюються норми питомих витрат палива та енергії, хоч за визначенням вони мають відображати мінімально необхідні витрати ПЕР на одиницю продукції у конкретних прогресивних умовах виробництва.

Таким чином, можна стверджувати, що переважна більшість діючих в нашій державі методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів фактично не містить власне процесу нормування (чи нормалізації) енергоспоживання. Деякий елемент нормалізації або, краще сказати, раціоналізації енергоспоживання присутній тільки в окремих методиках нормування. Зміст його полягає в тому, що після побудови фактичного енергобалансу підприємства, організації чи установи в таких методиках обов'язково вимагається складення плану заходів з енергозбереження, які мають бути впроваджені у плановому періоді, а також здійснюється відповідне коригування річного споживання палива чи енергії (і, відповідно, норм питомої витрати палива та енергії, що встановлюються).

Крім того, необхідно зазначити, що сам процес побудови фактичного енергобалансу підприємства, організації чи установи за діючими методиками нормування питомих витрат ПЕР (зокрема, балансу електричної енергії) також має суттєві недоліки, які роблять цей процес недостатньо об'єктивним.

Теоретично для складення енергобалансів будь-яких технологічних чи виробничо-господарських об'єктів можуть бути застосовані експериментальний (дослідний), розрахунково-аналітичний або комбінований методи. В окремих методиках нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів зазначено, що вони базуються на використанні експериментального методу, хоча при цьому з тексту цих методик не зрозуміло, яким чином, в яких умовах, з якою періодичністю, за допомогою яких приладів здійснювались експериментальні вимірювання витрат енергії чи споживаної потужності (що практично

унемоżliвлює перевірку обґрунтованості норм, встановлених на підставі таких методик).

У переважній же більшості методик нормування для побудови енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів використовується розрахунково-аналітичний метод.

Основні напрямки корисного споживання та втрат енергії (тобто, статті витратної частини енергобалансу) у діючих методиках нормування питомих витрат ПЕР, як правило, визначаються досить повно та детально. Зокрема, при побудові балансу електричної енергії будь-якого господарського об'єкту статті електробалансу визначається на підставі складу будівель та споруд, які належать до цього об'єкту, його виробничої структури (тобто, складу основних і допоміжних підрозділів), схеми електропостачання, а також складу основного та допоміжного технологічного обладнання, що належить до кожного з підрозділів.

Що ж стосується кількісної оцінки статей енергобалансу, то при застосуванні розрахунково-аналітичного методу корисна складова витрат енергії і її втрати в усіх напрямках мають визначатись на підставі відповідних фізико-хімічних або емпіричних залежностей. Причому, згідно наведених вище вимог до норм питомих витрат палива та енергії, такі розрахункові формули повинні враховувати конкретні умови виробництва.

В текстах діючих методик нормування питомих витрат ПЕР, як правило, наводяться необхідні формули, на підставі яких можуть бути визначені обсяги споживання енергії або потужності для окремих машин, установок чи агрегатів. Але наведені у більшості методик розрахункові формули, здебільшого, мають загальний вигляд і практично не враховують конкретних умов виробництва (тобто, параметрів технологічного процесу, зовнішнього середовища тощо).

Більше того, при виконанні практичних розрахунків у діючих методиках нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів для більшості установок чи агрегатів очікуване річне споживання електричної енергії визначається просто як добуток середньої потужності, що споживається агрегатом протягом відповідного календарного періоду, на тривалість роботи

агрегату. Очевидно, що застосування такої спрощеної розрахункової формули не тільки не дозволяє враховувати конкретні умови, в яких працює обладнання на тому чи іншому підприємстві, але й створює низку додаткових проблем, що виникають при нормуванні питомих витрат ПЕР.

Основний недолік застосування спрощеної формули для розрахунку середнього річного електроспоживання окремих агрегатів, установок чи технологічних процесів полягає в тому, що середня електрична потужність, яка споживається кожною одиницею основного та допоміжного обладнання, за діючими методиками нормування, здебільшого, визначається зі значною похибкою.

Для того, щоб визначати достатньо точні значення середньої потужності технологічних установок чи агрегатів, обов'язково потрібно знати характерні умови, тривалість та режими їх роботи. В ідеальному випадку з цією метою для кожної одиниці основного чи допоміжного обладнання необхідно одержати розрахунковим чи експериментальним шляхом характерний графік електричного навантаження.

Кількість основних та допоміжних споживачів електричної енергії на тому чи іншому господарському об'єкті може налічувати сотні і тисячі одиниць. Очевидно, що за таких умов навіть дані про їх номінальну електричну потужність не завжди відповідають дійсності (зокрема, після проведення капітальних ремонтів чи модернізації обладнання). Що ж до характерних графіків електричного навантаження основного та допоміжного обладнання, то жодна існуюча методика нормування питомих витрат ПЕР зі зрозумілих причин (значна кількість та різноманітність обладнання, швидкі зміни режимів та умов його роботи, відсутність або недостатня кількість необхідних вимірювальних приладів чи приладів обліку, недостатня чисельність персоналу енергетичних служб тощо) не передбачає їх визначення та застосування.

В умовах відсутності характерних графіків електричного навантаження технологічного обладнання середня електрична потужність кожної його одиниці зазвичай розраховується як добуток відповідної номінальної потужності на

середнє значення коефіцієнта завантаження обладнання за потужністю (або коефіцієнта використання встановленої потужності).

Числові значення таких коефіцієнтів для кожної одиниці обладнання найбільш точно можуть бути визначені експериментальним шляхом, але через зазначені вище причини у виробничих умовах такі вимірювання виконуються досить рідко. Однак у діючих методиках нормування питомих витрат ПЕР також не передбачається визначення та застосування реальних значень коефіцієнтів завантаження основного і допоміжного обладнання за потужністю.

Тому в існуючих методиках нормування для розрахунках середнього електричного навантаження установок та агрегатів, як правило, приймаються деякі середньостатистичні значення таких коефіцієнтів, наведені у довідковій літературі для відповідних типів обладнання. Ці коефіцієнти не тільки є середньостатистичними величинами і, здебільшого, не відповідають конкретним виробничим умовам того чи іншого підприємства, але, до того ж, вони наводяться в довідниках для кожного типу обладнання у вигляді досить широкого інтервалу можливих їх числових значень. Прийняття ж тих чи інших можливих числових значень довідкових коефіцієнтів завантаження (наприклад, мінімальних або максимальних) фактично є довільним і дуже помітно впливає на результати розрахунку середнього річного споживання електроенергії технологічним обладнанням того чи іншого типу (відповідно, в досить широких межах можуть змінюватись числові значення норм питомої витрати електричної енергії, що встановлюються).

До цього необхідно додати, що наведені в довідковій літературі коефіцієнти використання встановленої потужності свого часу були визначені експериментальним шляхом. Такі дослідження проводилися вже давно (кілька десятиріч тому) на підставі дослідження вже застарілих типів обладнання. Тому застосування цих коефіцієнтів до більш сучасних типів технологічного обладнання навряд чи є коректним і доцільним.

Таким чином, можна стверджувати, що при визначенні середньої потужності, що споживається окремими установками, агрегатами чи

технологічними процесами, діючі методики нормування здебільшого не враховують реальний технічний стан відповідних установок та агрегатів, режими їх роботи, конкретні умови, технологію та організацію виробництва. Очевидно, що в результаті неврахування цих обставин, а також в наслідок використання недостатньо достовірних значень коефіцієнтів використання установок та агрегатів за потужністю розрахункові величини середнього електричного навантаження кожної одиниці основного чи допоміжного обладнання можуть суттєво відрізнятись від реальної середньої потужності, яку вони споживають.

Ще однією, не менш важливою вихідною величиною, необхідною для побудови балансів електричної енергії виробничо-господарських об'єктів розрахунково-аналітичним методом, як зазначалося, є тривалість роботи основного і допоміжного технологічного обладнання. Цей показник у діючих методиках нормування, здебільшого, також визначається і застосовується без необхідного обґрунтування.

Для окремих одиниць обладнання, на яких безпосередньо здійснюються основні процеси виробництва продукції, тривалість їх роботи протягом зміни чи доби можна встановити досить точно, але за умови, що на відповідні процеси розроблені і використовуються технологічні карти. Однак, у більшості методик нормування питомих витрат ПЕР при розрахунку тривалості роботи агрегатів чи установок, як правило, відсутні посилання на технологічні карти чи будь-яку іншу технологічну документацію. Крім того, для значної кількості видів основного і практично для більшості допоміжного обладнання такі технологічні карти в умовах реального виробництва взагалі відсутні.

Виходячи з цього, у більшості діючих методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів рекомендується визначати тривалість роботи обладнання на підставі хронометражних спостережень. При цьому жодна з методик не містить пояснень щодо конкретного способу проведення таких спостережень. Тому в реальних умовах очікувана тривалість роботи установок чи агрегатів визначається орієнтовно на підставі середньої її оцінки працівниками енергетичної служби чи експлуатаційним персоналом

відповідного підприємства, організації чи установи. Очевидно, що така оцінка тривалості роботи обладнання значною мірою має суб'єктивний характер і не може вважатися достатньо обґрунтованою для встановлення норм питомих витрат палива чи енергії.

Певна похибка при побудові електробалансів господарських об'єктів виникає також в процесі визначення втрат електричної енергії в цехових та заводських мережах. Очевидно, що найбільш точно ці втрати можуть бути визначені розрахунковим шляхом на підставі відомої схеми електропостачання підприємства, його підрозділів та окремих основних чи допоміжних технологічних установок. Однак, через значні обсяги необхідних розрахунків, при побудові балансів електричної енергії господарських об'єктів втрати енергії в мережах, здебільшого, визначають «нормативним» шляхом, тобто, розраховують їх на підставі довідкових нормативів втрат у відповідних елементах електричної мережі. Ці нормативи, знову ж таки, є середньостатистичними величинами і, як правило, не відповідають конкретним виробничим умовам багатьох об'єктів.

З іншого боку, не слід очікувати, що помітно кращі результати визначення втрат електричної енергії в мережах можуть бути одержані розрахунковим шляхом. Такого висновку можна дійти, виходячи з зазначених вище проблем оцінки середнього електричного навантаження технологічного обладнання. Очевидно, що не маючи досить точного уявлення про середнє електричне навантаження окремих споживачів, їх груп, неможливо правильно оцінити розмір втрат електроенергії у відповідних елементах мережі. До того ж, відсутність характерних графіків електричного навантаження технологічного обладнання (що також зазначалося вище) не дає змоги застосовувати в розрахунках втрат енергії в мережах коректні числові значення коефіцієнтів форми цих графіків, що також негативно впливає на результати побудови електробалансів.

Таким чином, можна стверджувати, що розрахункові величини середнього річного споживання електричної енергії, що визначаються за діючими

методиками нормування для кожної одиниці основного чи допоміжного обладнання, в результаті використання зазначених вище недостовірних чи неповних вихідних даних можуть значно відрізнятись у будь-який бік від фактичних обсягів електроспоживання відповідних установок чи агрегатів. Не менш хибними можуть бути також результати розрахунку втрат енергії в окремих елементах електричної мережі підприємства та його підрозділів.

Однак при цьому загальне розрахункове споживання електроенергії на виробничо-господарському об'єкті, для якого складається енергобаланс, що визначається як сума розрахункових обсягів електроспоживання всіх одиниць основного і допоміжного обладнання, а також втрат в елементах системи електропостачання, може досить точно співпадати з фактичним середньорічним обсягом споживання електричної енергії, який мав місце на цьому об'єкті протягом останніх кількох років.

Таке співпадіння розрахункових і фактичних середньорічних витрат електричної енергії на тому чи іншому господарському об'єкті звичайно сприймається як ознака достатньої точності побудованого для нього електробалансу. Проте, виходячи з зазначеного вище, необхідно мати на увазі, що оцінки обсягів споживання і втрат електроенергії за окремими статтями електробалансів, одержаних розрахунковим шляхом на підставі діючих методик нормування, здебільшого, виявляються спотвореними і значною мірою не відповідають реальним витратам і втратам енергії на об'єкті, що розглядається.

Частина діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів фактично були створені шляхом простого, «механічного» копіювання відповідних методик. Такі методики з теоретичної точки зору, здебільшого, є дещо більш коректними (тобто, такі методики, як правило, не мають значної частини зазначених вище недоліків). Але з практичної точки зору норми питомих витрат палива та енергії, що встановлюються на підставі таких методик, також не можна вважати достатньо обґрунтованими. Це можна стверджувати, зокрема, виходячи з того, що значна частина розрахункових формул, які використовуються у цих методиках, мають емпіричний характер.

Тобто ці формули не можна вважати достатньо точними, оскільки вони були встановлені для обладнання, яке зараз вже не використовується або технічний стан та умови роботи якого могли суттєво змінитися.

Крім того, не слід забувати, що система нормування питомих витрат палива та енергії, також мала суттєві недоліки, які не дозволяли вважати її досконалим «інструментом» оцінки та контролю ефективності енерговикористання.

Загальною проблемою системи нормування питомих витрат ПЕР з застосуванням як «старих», так і «нових» методик завжди було і є визначення одиниць для розрахунку та нормування питомих витрат палива та енергії для груп споживачів, підприємств в цілому та його підрозділів, особливо у випадку широкого та нестійкого асортименту продукції, що виробляється. У більшості діючих методик норми питомих витрат ПЕР встановлюють на одиницю продукції у натуральному вимірюванні (для підприємств, що виробляють однорідну продукцію) або на одиницю продукції у вартісному вираженні (для більш «складних» виробництв). Однак при цьому необхідно пам'ятати, що питома витрата палива чи енергії на одиницю продукції у вартісному вимірюванні являє собою дуже «нестійкий» показник, який не відображає реальної енергоємності продукції і може застосовуватись тільки у крайніх випадках.

Певною перешкодою у застосуванні діючих методик нормування питомих витрат ПЕР є також значна трудомісткість виконання необхідних вимірювань чи розрахунків, що не дозволяє своєчасно переглядати встановлені норми у зв'язку зі змінами технічного стану обладнання, умов, технології чи організації виробничого процесу тощо. В результаті чого норми питомих витрат ПЕР, що встановлюються на підставі існуючих методик, поступово стають ще менш обґрунтованими та об'єктивними.

Необхідно зазначити також, що діюча в Україні система нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів фактично не є системою управління ефективністю енерговикористання, оскільки в рамках системи

нормування фактично не виконується функція контролю та аналізу виконання (дотримання) встановлених норм енергоспоживання. Жодна з діючих методик нормування не містить розділу, в якому була б визначена чітка та об'єктивна процедура контролю за виконанням встановлених норм.

До того ж, необхідно звернути увагу також на те, що діюча в нашій державі система нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів є практично непридатною для здійснення оперативного (наприклад, щоденного чи щотижневого) контролю ефективності використання палива та енергії.

В рамках існуючої системи нормування питомих витрат ПЕР практично не здійснюється також мотивація працівників та колективів підприємств, організацій та установ за ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів (хоча, як зазначалося вище, в Україні існує Положення про таке стимулювання, затверджене ще у 2000 році наказом Держкоменергозбереження та зареєстроване Міністерством юстиції України). Не діє також Постанова Кабінету міністрів України про застосування штрафних санкцій за нераціональне використання палива та енергії у суспільному виробництві.

Проте, виходячи з зазначеного вище, є цілком зрозумілим, що ефективне та коректне виконання зазначених функцій управління енерговикористанням на сьогодні є практично неможливим. Перш за все, це пояснюється тим, що єдиний "інструмент" оцінки та контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, яким в Україні зараз є система нормування їх питомих витрат ПЕР, не можна вважати достатньо досконалим.

Тобто, на підставі норм питомих витрат палива та енергії, що встановлюються за діючими методиками, не можна приймати достатньо об'єктивні рішення з управління ефективністю енерговикористання як на рівні держави в цілому, так і на рівні окремих підприємств, організацій чи установ.

Запитання для самоперевірки

1. Зазначте мету впровадження в Україні системи нормування питомих витрат палива та енергії.
2. Наведіть вимоги до норм питомих витрат ПЕР.
3. Опишіть основні недоліки діючих в Україні методик з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів.
4. Наведіть особливості застосування розрахунково-аналітичного методу для побудови енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів.

РОЗДІЛ 4. ВИМІРЮВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

4.1. Система енергетичного менеджменту та її основні елементи. Місце та значення контролю і аналізу енергоефективності в системі енергоменеджменту

Відомо, що в сучасній практиці багатьох країн світу діяльність в області енергозбереження називається енергетичний менеджмент (Energy management). Вперше це поняття з'явилося в 70-х роках минулого століття в економічно розвинених країнах Західної Європи, в США і Японії. І під цим терміном прийнято розуміти самостійну область знання, науку, методологію, а також практичний інструментарій здійснення процесу управління використанням всіх видів паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Причому мається на увазі, що управління енергоресурсів має забезпечувати задоволення розумної, доцільною потреби людини або організації в паливі та енергії, мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище, а також умови для найкращого використання ресурсного та інвестиційного потенціалу будь-якого господарського об'єкта.

Таким чином, основною метою енергетичного менеджменту є досягнення високої енергетичної ефективності господарювання на якомусь об'єкті при одночасному найкращому використанні всіх інших його ресурсів. Необхідна для досягнення цієї мети управління використанням паливно-енергетичних ресурсів на той чи інший об'єкт здійснюється шляхом побудови системи енергетичного менеджменту, яка представляє собою упорядковану сукупність взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів, призначених для виконання відповідних функцій.

Безпосередній об'єкт управління в будь-якій системі енергетичного менеджменту являє собою сукупність технологічного та енергетичного обладнання, енергетичних мереж, а також режимів і умов їх роботи. Суб'єктом

же управління є працівники господарського об'єкта: менеджери, фахівці, експлуатаційний і ремонтний персонал.

Сучасне розуміння терміна «енергетичний менеджмент» передбачає, що процес управління, здійснюваний на якомусь об'єкті, може бути направлений на досягнення різних конкретних підцілей і, відповідно, може базуватися на використанні різних концепцій. У практиці економічно розвинутих країнах світу функціонування систем енергетичного менеджменту може бути засноване на застосуванні, зокрема, таких відомих концепцій управління як:

- інтегроване ресурсне планування (Integrated Resource Planning (IRP));
- управління енерговикористанням з боку споживача (Demand Side Management (DSM));
- управління енерговикористанням з боку енергопостачальної компанії (Supply Side Management – SSM or Supply side planning – SSP);
- управління навантаженням (Load Management), яке є складовою частиною концепції DSM;
- управління енергоспоживанням кінцевого споживача (End Users Consumption Management), яке також є частиною концепції DSM.

Управління енергоспоживанням або енерговикористанням, яке здійснюється в системі енергетичного менеджменту, передбачає вироблення і реалізацію певної його стратегії і тактики.

Стратегія енергоменеджменту – це довгостроковий напрям дій його суб'єктів, зайнятих у сфері обслуговування процесів енерговикористання відповідного об'єкта. Вироблення стратегії управління передбачає розробку концепції або прогнозу програми дій, що містить методи і заходи, необхідні для досягнення основної мети енергетичного менеджменту.

Тактика енергоменеджменту – це система заходів, необхідних для реалізації його стратегії протягом тих чи інших періодів «життєвого циклу» відповідного господарського об'єкта. Основна мета здійснення тактичних заходів в системі енергетичного менеджменту – оперативне управління використанням паливно-енергетичних ресурсів.

Таким чином, система енергоменеджменту на будь-якому об'єкті для досягнення її основної мети повинна вирішувати ряд завдань, головними з яких є:

- виявлення реального стану справ в сфері використання паливно-енергетичних ресурсів на об'єкті, і в тому числі, оцінка рівня ефективності їх використання;
- визначення можливих напрямків, способів, методів підвищення ефективності енерговикористання на об'єкті;
- формування конкретних проектів енергозбереження на відповідну перспективу і управління їх реалізацією;
- моніторинг результатів впровадження проектів енергозбереження та оперативне управління використанням паливно-енергетичних ресурсів на об'єкті.

Щоб здійснювати якісне управління використанням паливно-енергетичних ресурсів, перш за все, необхідно чітко уявляти собі реальну ситуацію, що склалася в цій сфері господарської діяльності об'єкта. З цією метою при створенні системи енергоменеджменту і в подальшому в процесі її функціонування (як правило, щорічно) здійснюється так звана ревізія споживання палива і енергії, яку називають також попередніми енергетичним аудитом.

Мета попереднього енергоаудиту полягає у формуванні початкового уявлення про об'єкт управління, а також в отриманні даних про основні результати споживання паливно-енергетичних ресурсів на ньому. Тобто, в ході проведення попереднього енергетичного аудиту необхідно відповісти на ряд питань, основними з яких є:

1. Які паливно-енергетичні ресурси використовуються на об'єкті?
2. Які обсяги річного споживання енергоресурсів і яка динаміка їх зміни за останні кілька років?
3. Скільки коштує щорічне споживання палива і енергії на об'єкті?

4. Наскільки високим є рівень ефективності використання кожного виду споживаних енергоресурсів?

5. Який потенціал енергозбереження є на об'єкті по кожному виду використовуваного палива і енергії?

Таким чином, одним з основних результатів проведення попереднього енергоаудиту є оцінка рівня ефективності використання на об'єкті управління кожного з видів споживаних паливно-енергетичних ресурсів. При цьому як в зарубіжних країнах, так і в Україні для кількісної оцінки рівня ефективності енерговикористання застосовуються однакові показники – питома витрата палива і енергії кожного виду на виробництво одиниці відповідної продукції або виконання одиниці роботи. Однак сам процес визначення рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів дещо не збігається.

В Україні з метою визначення рівня ефективності енерговикористання фактичні питомі витрати палива і енергії на даному об'єкті управління порівнюють з відповідними встановленими для нього нормами питомої витрати ПЕР. У той час як за кордоном для цієї мети фактичні питомі витрати енергоресурсів прийнято зіставляти з кращої вітчизняної або світовою практикою, тобто, з найменшими значеннями цих питомих витрат, фактично досягнутими на подібних об'єктах усередині даної країни або за її межами. При цьому необхідно зауважити, що в зарубіжній практиці оцінка рівня ефективності енерговикористання на якомусь об'єкті, як правило, носить якісний характер і виражається термінами «відмінно», «добре», «задовільно» тощо.

Таким чином, попередній енергоаудит в кінцевому рахунку повинен дати відповідь на питання, наскільки високий або низький рівень енергоефективності на об'єкті управління і яким видам палива і енергії потрібно приділити увагу в першу чергу з точки зору можливості і необхідності підвищення ефективності їх використання.

Виявивши таким чином види споживаного на об'єкті палива або енергії, для яких існує нагальна необхідність підвищення рівня ефективності їх використання, далі слід визначити, чи є для цього реальні можливості і які саме.

Для отримання відповіді на ці питання в системі енергетичного менеджменту створюється підсистема стратегічного управління ефективністю енерговикористання.

Необхідно розрізняти два аспекти функціонування цієї підсистеми. Перший з них – технічний. Перш за все, він полягає в періодичному проведенні на об'єкті управління так званого докладного енергоаудиту або, як прийнято називати в зарубіжній практиці, – докладної ревізії енергоспоживання. При цьому слід зауважити, що детальний енергетичний аудит здійснюється тільки для тих видів палива та енергії, які споживаються на об'єкті, для яких за результатами попереднього енергоаудиту виявлена необхідність підвищення рівня ефективності їх використання.

Одна з перших цілей докладного енергоаудиту полягає в тому, щоб визначити, де саме, для чого і в яких кількостях на даному об'єкті споживається той чи інший паливно-енергетичний ресурс. Тобто, рішення цього завдання полягає у виявленні підрозділів підприємства або організації, технологічних процесів і окремих установок, які є основними споживачами даного виду палива або енергії, а також основними «причинами» низької ефективності його використання на об'єкті управління.

Необхідність визначення основних споживачів палива або енергії і основних місць їх неефективного використання викликана тією очевидною обставиною, що порівняно невелике відносне енергозбереження для енергоємного споживача (або споживача з низьким рівнем ефективності енерговикористання) практично завжди виявляється більш значним в абсолютному вираженні і більш реальним, ніж велике відносне енергозбереження для неенергоємних споживача, тим більше, що має досить високий рівень енергоефективності.

Інша мета докладного енергетичного аудиту полягає в тому, щоб визначити конкретні напрямки, методи, способи підвищення ефективності енерговикористання для виявлених основних споживачів палива або енергії.

Таким чином, в результаті проведення докладного енергетичного аудиту стає можливим формування перспективного (стратегічного) плану заходів з енергозбереження, необхідних для підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на об'єкті управління. На підставі такого стратегічного плану формулюються найбільш доцільні проекти енергозбереження на конкретну, більш коротку перспективу, управління реалізацією яких також здійснює система енергетичного менеджменту, що діє на даному об'єкті.

Необхідно відзначити, що для успішної, результативної роботи системи енергоменеджменту на якомусь об'єкті, а також підсистеми стратегічного управління ефективністю енерговикористання зокрема велике значення має другий аспект її функціонування – облік людського фактора в енергозбереженні.

Йдеться про те, що будь-яка система енергетичного менеджменту по суті своїй є соціально-економічної, а не технічною системою. Тобто, система енергоменеджменту не провадить безпосереднього управління процесами енергоспоживання окремих установок, технологічних процесів. У такій системі об'єктами управління є такі специфічні «елементи» як люди (менеджери, фахівці, експлуатаційний персонал і т.д.), які, в свою чергу, безпосередньо керують ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів на господарському об'єкті.

Отже, в системі енергетичного менеджменту, як в будь-якій іншій соціально-економічній системі, врахування людського фактора має велике значення. Облік цього чинника полягає в тому, що в процесі створення і функціонування системи енергетичного менеджменту на будь-якому об'єкті обов'язково повинні систематично виконуватися такі функції як інструктування і мотивація співробітників. Зокрема, їм необхідно роз'яснювати, з якою метою здійснюється енергозбереження, якими способами, методами воно може бути досягнуто, а також до жодних колективних і особистих результатів, в тому числі і економічним, призведе підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на об'єкті управління.

При цьому треба мати на увазі, що людський фактор істотно впливає на всі етапи вирішення завдань енергозбереження на об'єкті – від попереднього і докладного енергоаудиту, формування і реалізації конкретних проектів енергозбереження аж до повсякденного практичного використання результатів цих проектів протягом усього їхнього часу «життя».

Таким чином, сказане вище робить очевидним також той факт, що для періодичного підвищення ефективності використання палива і енергії і систематичного підтримання вже досягнутого її рівня мало тільки стратегічного управління енергозбереженням на об'єкті, а необхідно також оперативне управління ефективністю використання ПЕР. З цією метою в системі енергоменеджменту створюється і постійно функціонує підсистема з аналогічною назвою.

Ця підсистема являє собою сукупність певної кількості однакових за призначенням елементів, за допомогою яких здійснюється оперативне управління ефективністю енерговикористання на об'єкті. У теорії і практиці енергетичного менеджменту в країнах Західної Європи, США, Японії елементами підсистеми оперативного управління ефективністю використання палива і енергії є так звані системи контролю і планування енергоспоживання (Monitoring and Targeting Systems або системи КіП).

Метою створення і функціонування таких систем, крім оперативного управління ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів, є також моніторинг реально досягнутих результатів впровадження відповідних проектів енергозбереження на об'єкті управління.

Запитання для самоперевірки

1. Визначте основну мету енергетичного менеджменту.
2. На яких відомих концепціях управління засноване функціонування системи енергетичного менеджменту?
3. Охарактеризуйте стратегія і тактика енергоменеджменту.

4. Наведіть основні завдання системи енергоменеджменту.
5. Що являє собою і яка мета попереднього енергетичного аудиту?
6. Що являє собою і яка мета докладного енергетичного аудиту?

4.2. Загальні відомості про побудову та функціонування традиційних систем контролю і планування енергоспоживання (систем КіП). Недоліки традиційних методів побудови і використання систем КіП

Методика побудови та функціонування систем КіП енергоспоживання можна назвати традиційною, оскільки на її основі базуються численні системи КіП, які протягом досить тривалого часу застосовують у країнах Західної Європи, зокрема, у Великобританії.

Такі системи зарекомендували себе в зарубіжній практиці як дієвий інструмент оперативного контролю ефективності використання енергії на локальних технологічних об'єктах.

Методика створення та використання систем КіП є привабливою передусім своєю простотою та незначними витратами часу на здійснення оперативного контролю ефективності енергоспоживання. Період контролю ефективності використання енергії на будь-якому об'єкті за допомогою систем КіП може бути будь-яким, наприклад, таким, що дорівнює тривалості однієї робочої зміни або навіть одній годині.

Однак у теоретичному та методичному відношенні методики побудови та функціонування систем КіП, які традиційно використовуються в зарубіжних країнах, мають низку суттєвих недоліків, спрощень, невирішених питань, що не дозволяють «механічно» застосовувати їх в умовах України для управління ефективністю використання енергії.

Причин недостатньої точності та об'єктивності результатів контролю ефективності використання енергії на основі традиційних систем КіП є декілька. Основні з них такі.

Перш за все, необхідно відзначити, що при використанні традиційних методів побудови систем КіП базові рівні енергоспоживання є надто простими, тобто неадекватними відповідним процесам, вони не враховують впливу багатьох факторів на споживання енергії в конкретних умовах. Основні групи факторів, які в загальному випадку можуть суттєво впливати на споживання електричної енергії на будь-якому технологічному чи виробничому об'єкті, показано на рис. 4.1. Зокрема, до таких факторів необхідно віднести технічний стан і режими роботи обладнання, параметри, що характеризують технологію і організацію відповідних виробничих процесів, а також кліматичні або інші зовнішні умови виробництва. Причому вплив більшості з цих факторів на зміну величини енергоспоживання здебільшого має нелінійний характер.

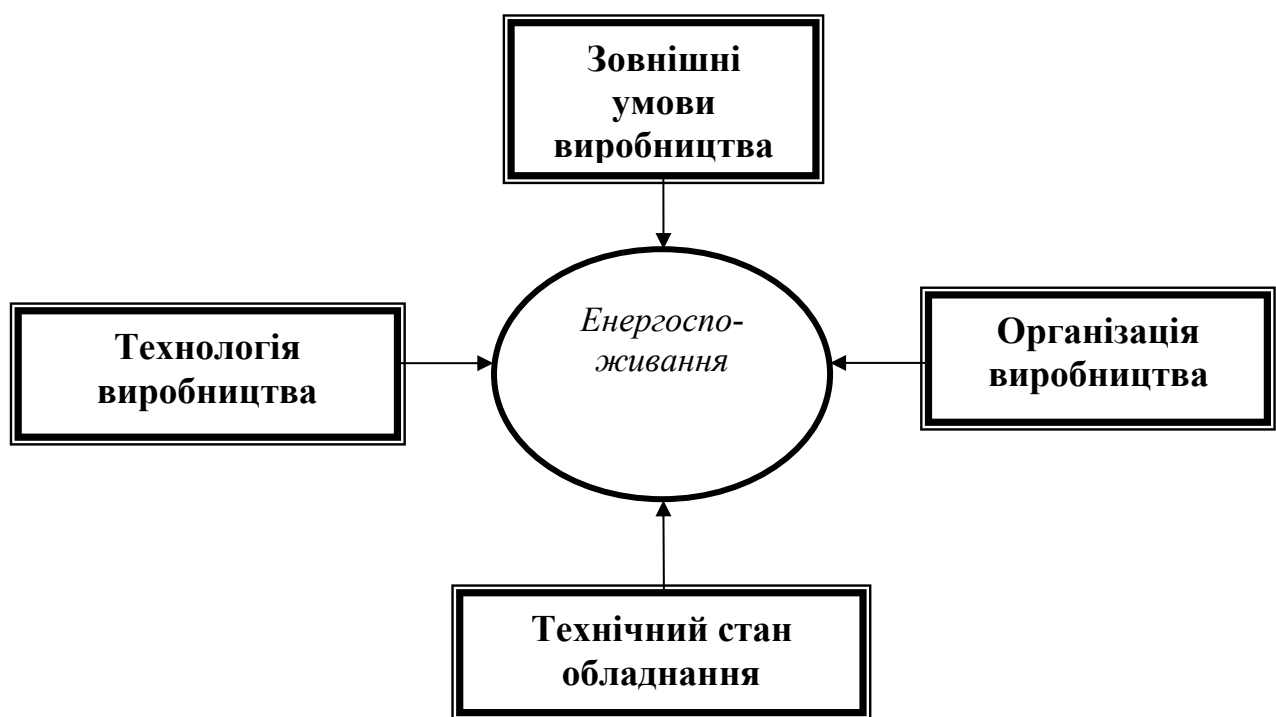


Рис. 4.1. Основні групи факторів, які впливають на зміну величини енергоспоживання виробничих об'єктів

Таким чином, якщо для побудови базового рівня енергоспоживання не враховується достатньо повний склад факторів, що суттєво впливають на обсяги споживання енергії, або характер впливу цих факторів не відповідає реальному,

як це зазвичай відбувається у разі використання традиційних методик побудови систем КіП, то існує ймовірність того, що встановлений базовий рівень виявиться неадекватним процесу.

Крім того, базовий рівень енергоспоживання, що використовується в будь-якій системі КіП, являє собою математичну модель цього процесу, а будь-яка математична модель має залишкову похибку моделювання, що не враховується у процесі створення традиційних систем КіП. Разом з тим, існують відомі математичні методи, які дозволяють враховувати залишкову похибку моделювання і тим самим встановлювати більш обґрунтовані базові рівні енергоспоживання. Адже саме встановлення обґрунтованих базових рівнів є ключовим питанням, від коректного вирішення якого значною мірою залежить можливість отримання об'єктивної кількісної оцінки рівня ефективності використання енергії в системах КіП.

Варто також звернути увагу ще на одну особливість базових рівнів енергоспоживання, які встановлюються в традиційних системах КіП. Навіть якщо такий базовий рівень встановлений достатньо коректно, за своїм змістом він має виключно «індивідуальний» характер, тобто цей базовий рівень адекватний технологічним процесам та виробничим умовам, характерним тільки для об'єкта. Таким чином, порівнювати ефективність використання енергії навіть на однорідних за виробничим призначенням об'єктах, зіставляючи між собою встановлені для них базові рівні енергоспоживання, майже неможливо.

Системи КіП споживання енергії традиційно створюються для локальних технологічних об'єктів. Що стосується виробничо-господарських об'єктів, то для них системи КіП побудувати практично неможливо. Однією з основних причин цього є те, що математичні моделі споживання енергії для таких об'єктів повинні бути дуже складними і побудувати їх за допомогою методів, які традиційно використовуються в системах КіП, неможливо.

Очевидно, що з тієї ж причини неможливо застосовувати системи КіП для контролю ефективності використання енергії на ще більш високих рівнях

управління суспільним виробництвом: у галузях економіки або в регіонах держави.

Функціонування систем КіП на будь-якому об'єкті полягає передусім у періодичному контролі виконання встановлених базових рівнів енергоспоживання. При цьому можна стверджувати, що при функціонуванні традиційних систем КіП енергоспоживання немає чіткої та об'єктивної процедури такого контролю. Використання для цього відомих графіків кумулятивної суми (графіків CUSUM) дозволяє тільки візуально, а, отже, орієнтовно оцінити загальну тенденцію відхилення фактичного енергоспоживання від його значень, отриманих на основі базового рівня. Ґрунтуючись на такому способі контролю, що традиційно використовується в системах КіП, неможливо проаналізувати причину невиконання встановленого базового рівня – вплив будь-яких об'єктивних факторів (недосконалість самої математичної моделі споживання енергії, об'єктивні зміни параметрів технологічного процесу або умов роботи обладнання, які не залежать від експлуатаційного персоналу) чи суб'єктивні дії самого персоналу. Очевидно, що з цих причин отримані при застосуванні традиційних систем КіП результати контролю виконання встановлених навряд чи можна базових рівнів вважати достатньо об'єктивною оцінкою рівня ефективності використання енергії. Тому результати такого контролю ефективності енергоспоживання не можуть бути підставою для прийняття правильних рішень у процесі управління енергозбереженням на будь-якому об'єкті.

Таким чином, можна стверджувати, що побудова і функціонування традиційних систем КіП через їх недосконалість не дозволяє отримувати достатньо об'єктивну кількісну оцінку рівня ефективності використання енергії на різних технологічних і, тим більше, виробничих об'єктах.

Необхідно звернути увагу ще на одну проблему, що виникає при побудові традиційних систем КіП. Періодичність контролю ефективності використання енергії в таких системах здебільшого припускають рівною одному тижню. З цієї причини збір вихідних даних, необхідних для створення і успішного початку

роботи систем КіП на будь-якому технологічному об'єкті, триває 5–10 тижнів. Тобто процес побудови таких систем навіть для кількох десятків енергоємних технологічних процесів із застосуванням традиційних методів розтягується на роки. На реальних же виробничо-господарських об'єктах може виникнути необхідність створення сотень систем КіП, що потребує величезних витрат часу і може зробити це завдання таким, яке неможна вирішити.

Отже, традиційна методика побудови і застосування систем КіП потребує суттєвого вдосконалення і подальшого розвитку. Тобто необхідно розробити новий, більш коректний підхід до створення і функціонування систем оперативного контролю ефективності використання енергії, який дозволить усунути основні, наведені вище недоліки традиційних систем КіП.

Запитання для самоперевірки

1. Опишіть основні недоліки традиційних методів побудови і використання систем КіП.
2. Наведіть основні групи факторів, які впливають на зміну величини енергоспоживання виробничих об'єктів.
3. У чому полягає недолік використання відомих графіків кумулятивної суми (графіків CUSUM)?
4. Яка повинна бути періодичність контролю ефективності використання енергії в системах КіП?

4.3. Побудова і функціонування систем оперативного контролю та аналізу енергоефективності. Встановлення базових ліній енергоспоживання у вигляді константи

Одне з принципових питань, які необхідно вирішити у процесі створення системи оперативного контролю енергоспоживання, це встановлення базових ліній споживання палива чи енергії, за допомогою яких надалі може

здійснюватися контроль та аналіз ефективності енерговикористання на об'єкті, що розглядається.

Як уже зазначалося раніше, до основних недоліків традиційних систем КіП необхідно віднести той факт, що базові лінії в таких системах, як правило, визначаються спрощено, і з цієї причини далеко не завжди досить об'єктивно і однозначно відображають нормальний рівень ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. У той час як встановлення обґрунтованого, коректного “еталону”, з яким необхідно порівнювати фактичні результати енергоспоживання, є основним питанням, від правильності вирішення якого цілком залежить об'єктивність результатів контролю енергоефективності будь-якому об'єкті.

Як було сказано, у зарубіжній практиці побудови та функціонування систем контролю та планування енергоспоживання базові лінії споживання палива чи енергії найчастіше встановлюються у вигляді:

- константи (тобто у вигляді деякої постійної максимально допустимої величини енергоспоживання);
- рівняння однофакторної лінійної регресії в залежності від чинника, що найбільше впливає на зміну витрати палива або енергії на об'єкті;
- рівняння багатфакторної лінійної регресії в залежності від ряду факторів, які суттєво впливають на величину енергоспоживання.

При цьому для побудови відповідних рівнянь регресії як незалежну змінну, як правило, використовують обсяг продукції, що випускається, тривалість роботи обладнання або деякий найважливіший технологічний параметр.

З іншого боку, очевидно, що в реальних умовах на процеси споживання палива або енергії (особливо в промисловості) істотно впливають численні та різноманітні фактори, до яких слід віднести кліматичні умови, параметри технологічного процесу, технічного стану технологічного та енергетичного обладнання тощо. Причому характер впливу багатьох факторів на витрату енергії найчастіше є нелінійним.

Таким чином, якщо базова лінія енергоспоживання не враховує впливу на відповідний процес досить великої кількості факторів або невірно відображає характер цього впливу, завжди існує значна ймовірність того, що фактична витрата енергії на об'єкті, що розглядається, навіть при незмінній ефективності використання енергії, може виявитися вище допустимого рівня, визначеного цією базовою лінією.

В цьому випадку неминує виникає питання: невиконання (перевищення) встановленої цільової змінної енергоспоживання є результатом зниження ефективності використання енергії на даному об'єкті, чи є наслідком недосконалості самої базової лінії, яка не враховує впливу якогось важливого фактора або дає неправильне уявлення про характер його впливу на споживання палива чи енергії. Очевидно, що при використанні базових ліній енергоспоживання, які встановлюються традиційними методами, однозначну відповідь на це питання отримати неможливо і, отже, за результатами контролю можуть бути зроблені зовсім неправильні висновки щодо ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на об'єкті, що розглядається.

Отже, щоб уникнути неправильних висновків за результатами контролю ефективності енерговикористання, необхідно передусім коректніше встановлювати базові лінії та відповідні їм цільові змінні витрати енергії, з якими порівнюються фактичні результати енергоспоживання.

Таким чином, встановлення об'єктивних та обґрунтованих базових ліній має базуватися на побудові більш складних математичних моделей, які в порівнянні з традиційно використовуваними повинні більш адекватно відображати взаємозв'язок між споживанням палива чи енергії та основними факторами, що на нього впливають. Крім того, при встановленні коректніших базових ліній енергоспоживання обов'язково повинна враховуватися також залишкова похибка відповідних рівнянь регресії.

Як відомо, у математичному моделюванні залишкова похибка опису будь-якої залежної змінної зазвичай враховується шляхом побудови на додаток до самої моделі відповідних довірчих інтервалів. Цей прийом успішно може бути

використаний і для встановлення обґрунтованих, коректних базових ліній у системах оперативного контролю енергоспоживання.

Зі сказаного вище випливає, що базові лінії енергоспоживання, які успішно можуть бути застосовані для отримання об'єктивних результатів контролю ефективності використання палива або енергії на якомусь об'єкті, повинні бути не просто деякими, досить адекватними математичними моделями відповідних процесів. Такі, коректніші базові лінії споживання паливно-енергетичних ресурсів необхідно встановлювати у вигляді меж довірчих інтервалів, що визначаються для постійних величин або для математичних моделей енергоспоживання.

У наступних розділах викладено методику встановлення об'єктивних, статистично обґрунтованих базових ліній споживання палива або енергії, необхідних для побудови систем оперативного контролю ефективності енерговикористання на різних технологічних або виробничих об'єктах.

Необхідність встановлення для будь-якого технологічного або невеликого виробничо-господарського об'єкта базових ліній споживання палива чи енергії у вигляді константи виникає у тому випадку, якщо витрата відповідного енергоресурсу на об'єкті за однакові періоди часу змінюється незначно, або серед відомих виробничих показників відсутні фактори, які суттєво впливають зміну витрати енергії (чи на цьому об'єкті з якихось причин неможливо реєструвати значення цих чинників).

У таких випадках немає можливості побудувати якусь математичну модель енергоспоживання та базову лінію можна встановити лише у вигляді деякого максимально допустимого постійного значення витрати палива чи енергії. Для цієї мети, в принципі, немає необхідності в детальному ознайомленні з об'єктом, а також у вивченні «фізики» технологічних та енергетичних процесів, що відбуваються в ньому. Достатньо протягом деякого часу періодично реєструвати статистичні дані про фактичну витрату палива або енергії на об'єкті, що розглядається.

Методика встановлення базової лінії енергоспоживання у вигляді константи може бути розглянута на прикладі визначення максимально допустимого постійного значення витрати електричної енергії (W) для будь-якого технологічного чи виробничо-господарського об'єкта.

Оскільки, як було сказано вище, невідомо, під впливом яких факторів змінюється витрата електроенергії на даному об'єкті, наявні значення споживання енергії за відповідні періоди часу можна розглядати як деяку випадкову величину. При цьому зібрані статистичні дані про фактичну витрату електроенергії на об'єкті за N попередніх періодів (W_i , де $i=1, \dots, N$) є окремою вибіркою значень цієї випадкової величини.

На підставі зазначеної вибірки за відомими формулами для випадкової величини, що розглядається, можуть бути визначені основні її статистичні характеристики: вибіркова оцінка математичного очікування ($W_{\text{сер}}$) і незміщена оцінка дисперсії (D_w):

$$W_{\text{сер}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i, \quad (4.1)$$

$$D_W = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2. \quad (4.2)$$

Якщо споживання електричної енергії розглядати як випадковий процес, то очікувана величина витрати енергії на даному об'єкті в наступні періоди часу, в принципі, може мати будь-яке чисельне значення. Однак очевидно, що на підставі наявної вибірки даних про фактичне електроспоживання можуть бути визначені деякі його величини (W_{max} і W_{min}), в межах яких з певною, досить високою ймовірністю будуть знаходитися всі нові значення фактичної витрати електроенергії на об'єкті.

Зазначені величини W_{max} і W_{min} з точки зору математичної статистики є відповідно верхньою і нижньою межею довірчого інтервалу для можливих індивідуальних значень досліджуваної випадкової величини. Межі такого

довірчого інтервалу в загальному випадку можуть бути подані у вигляді наступних залежностей:

$$\begin{aligned}W_{max} &= \bar{W} + k \cdot S, \\ W_{min} &= \bar{W} - k \cdot S.\end{aligned}\tag{4.3}$$

де S – середньоквадратичне (стандартне) відхилення фактичних значень витрати електричної енергії на об'єкті, що розглядається ($S = \sqrt{D_W}$); k – деяка константа, чисельне значення якої залежить від заданої ймовірності знаходження нових обсягів витрати електроенергії на об'єкті в межах довірчого інтервалу, що встановлюється, а також від закону розподілу випадкової величини, що аналізується.

Таким чином, завдання встановлення для будь-якого технологічного об'єкта базової лінії електроспоживання у вигляді константи, тобто встановлення меж відповідного довірчого інтервалу, по суті, зводиться до коректного вибору постійної величини k в рівняннях (4.3).

Щоб визначити чисельне значення константи k , в принципі, необхідно знати закон розподілу досліджуваної випадкової величини. Однак, як показує практика, у процесі встановлення базових ліній енергоспоживання для будь-яких технологічних чи виробничо-господарських об'єктів закон розподілу витрат палива чи енергії, як правило, є невідомим. Більш того, у зв'язку з невеликим обсягом використовуваних для цієї мети статистичних даних визначити закон розподілу зазначеної випадкової величини взагалі неможливо. З цієї причини єдино доступним способом визначення величини константи k у виразах (4.3) найчастіше виявляється використання відомої нерівності Чебишева, яка для прикладу встановлення базової лінії споживання електричної енергії може бути записана:

$$p(|W_i - \bar{W}| < k \cdot S) > 1 - 1/k^2. \quad (4.4)$$

Ліва частина цієї нерівності являє собою ймовірність того, що будь-яке нове значення фактичної витрати електричної енергії на об'єкті, що розглядається, буде знаходитися в межах деякого довірчого інтервалу, ширина якого залежить від відомого середньоквадратичного відхилення значень аналізованої випадкової величини і прийнятого значення константи k .

Задаючись необхідною величиною зазначеної ймовірності, яка підставляється в ліву частину нерівності (4.4), і вирішуючи цю нерівність, можна обчислити необхідне значення константи k , при якому нові значення витрати електроенергії на об'єкті з заданою ймовірністю будуть знаходитися в межах відповідного довірчого інтервалу.

Встановлений таким чином довірчий інтервал, що задається у вигляді постійних меж W_{max} і W_{min} (4.3), може бути використаний як базова лінія споживання електричної енергії на об'єкті, що розглядається. Тобто ознакою підтримання на даному об'єкті необхідного (запланованого) рівня ефективності використання електроенергії в цьому випадку буде знаходження нових значень фактичного електроспоживання в межах заданого довірчого інтервалу.

Однак при цьому необхідно розуміти, що вихід фактичної витрати електричної енергії на об'єкті за межі зазначеного довірчого інтервалу не завжди свідчить про зміну (зниження або підвищення) рівня ефективності використання енергії. Відхилення величини фактичного електроспоживання від встановленої базової лінії цілком може бути викликане також істотною зміною обсягу продукції, параметрів технологічного процесу або «зовнішніх» умов функціонування об'єкта, що розглядається.

Таким чином, слід пам'ятати, що застосування базових ліній енергоспоживання, які встановлюються у вигляді константи, є виправданим і доцільним лише в тому випадку, якщо протягом досить тривалого часу на об'єкті не відбувається жодних істотних змін. Насамперед, це стосується самих обсягів енергоспоживання.

Якщо ж споживання палива чи енергії на досліджуваному об'єкті має явно виражений нерівномірний характер, то неможливість урахування впливу будь-яких чинників на змінення обсягу енергоспоживання під час встановлення базових ліній такого типу призводить до того, що відповідні довірчі інтервали енергоспоживання виявляються дуже широкими. Очевидно, що застосування базової лінії, що визначає досить широкий діапазон можливої зміни значень споживання паливно-енергетичних ресурсів, навряд чи можна вважати за доцільне з точки зору контролю ефективності їх використання на будь-якому об'єкті, оскільки нові фактичні значення енергоспоживання практично завжди будуть знаходитись всередині встановленого довірчого інтервалу. Тобто, чутливість системи контролю енергоефективності в даному випадку буде дуже низькою.

У зв'язку з цим, як було сказано, встановлення базових ліній енергоспоживання у вигляді константи слід вважати допустимим або доцільним лише в тих випадках, коли на будь-яких об'єктах споживання палива чи енергії має рівномірний характер, або для цих об'єктів з якихось причин неможливо виявити та реєструвати фактори, що істотно впливають на витрату паливно-енергетичних ресурсів.

Запитання для самоперевірки

1. Чому базові рівні та базові лінії енергоспоживання необхідно встановлювати у вигляді меж довірчого інтервалу до постійних величин або до відповідних математичних моделей обсягу споживання палива чи енергії?

2. Які показники потрібно визначити і які дії виконати для того, щоб для будь-якого технологічного чи виробничого об'єкту встановити базові рівні енергоспоживання?

3. Які основні недоліки має застосування базових рівнів енергоспоживання для контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів?

4. Які основні дії потрібно виконати для того, щоб для будь-якого технологічного чи виробничого об'єкту встановити базові лінії енергоспоживання?

4.4. Побудова і функціонування систем оперативного контролю та аналізу енергоефективності. Встановлення базових ліній споживання ПЕР на основі рівнянь однофакторної та багатофакторної регресії

Обсяг споживання палива чи енергії на якомусь технологічному чи виробничому об'єкті, як зазначалося раніше, у принципі, визначається багатьма чинниками різного характеру. У деяких випадках серед цих факторів вдається виявити (або систематично реєструвати) всього один параметр, який істотно впливає на енергоспоживання об'єкта, що розглядається, в той час як інші фактори впливають на цей процес значно слабше або зовсім не впливають на нього. Досить часто таким домінуючим параметром може виявитися кількість продукції, що випускається, тривалість роботи відповідної установки або деякий, найважливіший показник технологічного процесу.

Очевидно, що в такому випадку базова лінія енергоспоживання для об'єкта, що розглядається, може бути встановлена тільки на основі однофакторної регресійної моделі. При цьому, зазвичай, така модель відбиває лінійну залежність між відповідними величинами.

Таким чином, при встановленні базових ліній споживання палива або енергії на основі однофакторної лінійної регресії, перш за все, необхідно відповісти на два питання:

- Які параметри функціонування об'єкта, що розглядається, які характеризують технологічний процес, його результати або умови протікання, в принципі можуть суттєво впливати на споживання паливно-енергетичних ресурсів?

- Який з цих параметрів найбільше впливає на витрату палива чи енергії на даному об'єкті?

Щоб коректно відповісти на перше питання, енергоменеджер, якому необхідно на об'єкті, що розглядається, створити систему оперативного контролю ефективності енерговикористання, повинен мати значний особистий виробничий досвід (добре знати даний тип обладнання, особливості його функціонування), або мати достатній час для вивчення відповідної технічної літератури.

Зважаючи на велику різноманітність технологічних та енергетичних установок, що використовуються в різних виробничих процесах, важко очікувати, що енергоменеджер «априорно» добре знайомий з будь-якою з них. Час, що відводиться на створення кожної окремої системи оперативного контролю енергоефективності на будь-якому об'єкті, як правило, дуже обмежений і навряд чи є достатнім для детального вивчення особливостей цих установок за літературними джерелами. Отже, для енергоменеджера, який створює систему оперативного контролю ефективності енерговикористання на деякому технологічному чи виробничому об'єкті, найчастіше єдиною реальною можливістю визначення достатньо повного складу факторів, що потенційно впливають на витрату палива чи енергії на даному об'єкті, є використання знань та професійного досвіду відповідних фахівців (лінійних менеджерів, технологів, енергетиків, операторів установок). З цією метою енергоменеджер може використовувати різні методи експертного оцінювання. Такі методики вивчаються в інших дисциплінах, і тому в даному курсі їх опис не наводиться.

Відповідь на друге наведене вище питання може бути отримана лише після того, як будуть зібрані статистичні дані про витрату паливно-енергетичних ресурсів на об'єкті, що розглядається, а також про значення всіх доступних для реєстрації факторів, які потенційно можуть істотно впливати на енергоспоживання. Маючи такі дані, виявити, який з відомих параметрів функціонування даного об'єкта найбільш сильно впливає на величину споживання палива або енергії, можна, зокрема, використовуючи також добре відомі методи кореляційного аналізу. Як було зазначено раніше, саме ці методи

застосовують у зарубіжній практиці побудови традиційних систем контролю та планування енергоспоживання.

Визначення параметрів рівняння однофакторної регресії:

Після того, як тим чи іншим способом визначено деякий фактор X , що найбільш істотно впливає на споживання палива або енергії, для об'єкта, що розглядається, може бути встановлена однофакторна регресійна залежність обсягу енергоспоживання від обраного параметра. Якщо ця залежність має лінійний характер, то, наприклад, для витрати електричної енергії (W) шукане рівняння регресії у загальному вигляді може бути записано:

$$W^* = A + B \cdot X, \quad (4.5)$$

де X – фактор, що найбільш істотно впливає на витрату енергії на даному об'єкті; A та B – невідомі константи (параметри) рівняння регресії.

Чисельні значення констант A і B математичної моделі (4.5) визначаються за наявними статистичними даними про фактичну витрату енергії і йому відповідні значення обраного параметра X , синхронно зафіксованих на об'єкті, що розглядається, протягом деякого минулого періоду. При цьому, виходячи з відомих рекомендацій, бажано, щоб кількість елементів статистичних вибірок значень W та X в 5...10 разів перевищувала кількість невідомих коефіцієнтів рівняння (4.5), тобто кожна з цих вибірок повинна містити від 10 до 20 елементів.

Для обчислення констант A і B шуканого рівняння регресії, базуючись на зазначених статистичних даних, складається вихідна система лінійних рівнянь, має наступний загальний вигляд:

$$\begin{cases} W_1 = a + bx_1, \\ \dots \\ W_n = a + bx_n. \end{cases} \quad (4.6)$$

Система рівнянь (4.6), беручи до уваги обсяг використовуваних статистичних вибірок, завжди виявляється перевизначеною, тобто кількість

рівнянь системи перевищує кількість невідомих констант. З цієї причини дана система повинна бути приведена до нормального вигляду (кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих). Таке приведення здійснюється за допомогою відомого методу найменших квадратів.

В результаті використання цього методу вихідна система рівнянь (4.5) перетворюється на систему нормальних рівнянь, яка у разі лінійної залежності (4.5) між відповідними змінними може бути записана в такому вигляді:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n W_i = a \cdot n + b \sum_{i=1}^n x_i, \\ \sum_{i=1}^n W_i \cdot x_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2. \end{cases} \quad (4.7)$$

де n – число рівнянь у вихідній системі (4.6), або, інакше кажучи, наявна кількість елементів статистичних вибірок значень витрати енергії W та фактора X , що істотно впливає на електроспоживання.

Існує інший, спрощений спосіб визначення параметрів (констант) рівняння лінійної регресії. Потрібно знайти параметри лінійного рівняння:

$$W = A + B \cdot X.$$

Будь-яку лінійну залежність можна записати у вигляді рівняння, що пов'язує деякі дві точки (наприклад, будь-яку (i -ту) точку та точку, що відповідає середнім значенням незалежної та залежної змінної). Тобто, рівняння прямої, що проходить через такі дві точки, має вигляд:

$$W_i - W_{\text{сер}} = B \cdot (X_i - X_{\text{сер}}),$$

де B – невідомий параметр рівняння лінійної регресії; W_i та X_i – є невідомими, а $W_{\text{сер}}$ та $X_{\text{сер}}$ – відомими величинами.

Виходячи з зазначеного, можна записати:

$$W_i = W_{\text{сер}} + B \cdot (X_i - X_{\text{сер}}) = (W_{\text{сер}} - B \cdot X_{\text{сер}}) + B \cdot X_i.$$

Невідомий коефіцієнт рівняння лінійної регресії B визначається:

$$B = R_{W,X} \cdot \frac{S_W}{S_X},$$

де $R_{W,X}$ – числове значення коефіцієнта парної кореляції між відповідними залежною та незалежною змінними; S_W та S_X – середньоквадратичні (стандартні) відхилення фактичних значень залежної та незалежної змінних від їх середніх величин.

Дужка ж $(W_{\text{сер}} - B \cdot X_{\text{сер}})$ являє собою числове значення другого невідомого параметру A шуканого рівняння регресії.

Отримана таким чином система нормальних рівнянь (4.7) повинна бути розв'язана будь-яким відомим методом щодо невідомих констант A і B шуканої математичної моделі.

Визначена в результаті розв'язання системи рівнянь (4.7) регресійна залежність між споживанням енергії та одним із параметрів функціонування розглянутого об'єкта, на відміну від традиційних методів побудови систем КіП, ще не може розглядатися як базова лінія споживання енергії для даного об'єкта, а представляє собою лише основу для її встановлення.

Дане рівняння однофакторної регресії, як і будь-яка інша математична модель, має певну залишкову помилку, тобто похибку у описі наявної вибірки значень фактичного обсягу споживання палива або енергії. Наявність такої помилки в значній мірі пов'язана з тим, що побудована математична модель не враховує вплив інших факторів на зміну споживання енергії на розглянутому об'єкті, або реальний характер впливу врахованого фактора є нелінійним.

За цих причин просте застосування побудованого рівняння регресії вигляду (4.5) як базової лінії споживання енергії в процесі контролю ефективності використання енергії може призвести до абсолютно неправильних висновків. Іншими словами, рівняння регресії споживання енергії саме по собі

не може служити достатньо об'єктивним «еталоном» ефективного використання палива або енергії на будь-якому технологічному або виробничому об'єкті.

Як вже було відзначено раніше, значно більш коректним і обґрунтованим є встановлення базових ліній споживання пально-енергетичних ресурсів у вигляді довірчих інтервалів, що визначаються для отриманих математичних моделей споживання енергії.

Запитання для самоперевірки

1. Які основні дії потрібно виконати для того, щоб для будь-якого технологічного чи виробничого об'єкту встановити базові лінії енергоспоживання на основі однофакторного лінійного рівняння регресії?

2. Які основні недоліки має застосування базових ліній енергоспоживання, встановлених на основі однофакторного лінійного рівняння регресії, для контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів?

4.5. Побудова і функціонування систем оперативного контролю та аналізу енергоефективності. Застосування ймовірнісно-статистичних методів для оперативного контролю та аналізу енергоефективності (на прикладі використання методу безперервного аналізу А.Вальда)

Як вже зазначалося, у традиційних системах контролю та планування споживання енергії практично відсутня жорстка об'єктивна процедура контролю досягнення встановлених цільових змінних споживання паливно-енергетичних ресурсів. Єдиним засобом контролю ефективності використання палива чи енергії в таких системах є побудова графіка CUSUM, тобто графіка накопиченої суми відхилень фактичних значень споживання енергії від встановлених цільових змінних, з подальшою візуальною оцінкою тенденції зміни цього графіка з часом.

Очевидно, що результати такого контролю мають досить суб'єктивний характер і тому малоімовірно можуть бути підставою для прийняття коректних управлінських рішень, зокрема, щодо економічного стимулювання енергозбереження або застосування штрафних санкцій за неефективне використання палива чи енергії.

Застосування такого спрощеного способу контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів зумовлене і повністю виправдане тим, що в закордонній практиці використання традиційних систем КПЕ результати контролю ніколи не є підставою для будь-яких економічних методів управління енерговикористанням. З іншого боку, застосовуваний у таких системах спрощений підхід до встановлення базових ліній споживання енергії просто не дозволяє організувати контроль досягнення цільових змінних, визначених на їхній основі, за допомогою більш жорстких та об'єктивних методів.

У попередньому розділі була розглянута методика встановлення базових ліній споживання палива чи енергії, що базується на побудові довірчих інтервалів для відповідних постійних значень або математичних моделей споживання енергії. Такий, більш коректний підхід до визначення базових ліній та цільових змінних витрат паливно-енергетичних ресурсів, з свого боку, дозволяє організувати контроль їх досягнення також у вигляді більш жорсткої процедури, заснованої на використанні об'єктивних математичних методів та критеріїв.

Обсяг споживання палива чи енергії деяким технологічним об'єктом в різні періоди часу в значній мірі є випадковою величиною, оскільки в загальному випадку залежить від великої кількості технічних, технологічних, організаційних, кліматичних факторів, багато з яких, у свою чергу, також є випадковими величинами.

Враховуючи це, процедура контролю досягнення встановлених цільових змінних споживання енергії також повинна базуватися на використанні ймовірно-статистичних методів. З урахуванням характеру та змісту

розглянутої процедури можна стверджувати, що контроль виконання цільових змінних енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності може бути заснованим, зокрема, на застосуванні відомих методів статистичного контролю якості виробництва.

Зазначені методи дозволяють контролювати якість певної продукції шляхом випробування її частини. При цьому результати випробування розглядаються з урахуванням прийнятої ймовірності α помилкового відмову від партії якісної продукції («ризик виробника»), а також ймовірності β помилкового прийняття партії неякісної продукції («ризик споживача»).

Зазначеними умовами партія виробів вважається якісною, якщо параметр, що характеризує якість продукції, не перевищує певного межового значення, і вважається неякісною, якщо відповідний параметр якості має величину, що перевищує інше межове значення.

Як показник, що характеризує якість продукції, зазвичай використовується:

Кількість дефектних (неякісних) виробів (L) в партії (при цьому встановлюються граничні значення L_0 и $L_1 > L_0$);

Середнє значення (λ) деякої характеристики продукції (при цьому встановлюються граничні значення λ_0 и $\lambda_1 > \lambda_0$);

дисперсія значень контрольованого параметра партії продукції (при цьому встановлюються граничні значення D_0 и $D_1 > D_0$).

У разі коли якість продукції підвищується зі збільшенням числового значення контрольованого параметра, зазначені нерівності мають бути замінені на протилежні.

З точки зору методики здійснення статистичного контролю якості продукції використовуються для цієї мети методи, які розділяються на:

- метод однієї вибірки;
- метод двох вибірок;
- метод неперервного аналізу якості продукції.

Процес вибору методології контролю, визначення необхідного обсягу статистичної вибірки даних (або вибірок), а також встановлення меж для прийняття або відмови від контрольованої партії виробів з урахуванням заданих ймовірностей α і β називають побудовою плану контролю.

Очевидно, що в системах оперативного контролю енергоефективності для вирішення задачі контролю досягнення встановлених цільових змінних споживання пального або енергії найбільш доцільно використовувати кількість виходів фактичних значень енергоспоживання за межі відповідного довірчого інтервалу, у вигляді границі якого, як вже було відзначено, встановлюються відповідні базові лінії. Таким чином, у цьому випадку мова йде про контроль кількості «неякісних виробів у партії».

З іншого боку, також очевидно, що процедуру контролю досягнення цільових змінних споживання енергії нецільеспрямовано виконувати на основі методу однієї чи, тим більше, двох вибірок, оскільки у цьому випадку буде потрібно значно більше часу для накопичення необхідного обсягу статистичних даних про фактичне споживання пального або енергії, необхідних для здійснення контролю. Отже, для контролю досягнення цільових змінних споживання енергії, встановлених в системах оперативного контролю енергоефективності, єдиним прийнятним є методика неперервного аналізу.

Зазначена методика (методика А. Вальда) базується на тому, що у процесі контролю якості продукції досліджується певна вибірка виробів, об'єм якої (n) є змінним. У випадку здійснення контролю ефективності використання енергії ця вибірка представляє собою статистичні дані про фактичне споживання пального або енергії на розглянутому об'єкті. При цьому кількість даних, що містяться в цій вибірці, з кожним новим циклом контролю поступово збільшується.

Згідно з методикою Вальда, при появі в досліджуваній вибірці кожного нового фактичного значення контрольованого параметра розраховується так званий коефіцієнт правдоподібності (γ), величина якого порівнюється з межами (A і B) певного заздалегідь встановленого довірчого інтервалу. При цьому числові значення зазначених меж визначаються:

$$B = \frac{\beta}{1-\alpha} \text{ і } A = \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (4.8)$$

Після порівняння кожного наступного значення коефіцієнта правдоподібності (γ) з встановленими межами (A і B) розглядаються три ситуації. Якщо $\gamma \leq B$, розглянута партія продукції приймається, тобто всі вироби в ній вважаються якісними. У випадку, якщо $\gamma \geq A$, увесь аналізований партія продукції відкидається як непридатна. Якщо ж $B < \gamma < A$, процес випробування (контролю) продовжується.

Зазвичай задачу статистичного контролю якості продукції вирішують в умовах, коли загальний об'єм контрольованої партії виробів (N) достатньо великий, а рішення щодо її прийняття чи відмови від неї приймається на основі вибірки відносно невеликого розміру (n). Можна стверджувати, що процес контролю ефективності використання енергії на будь-якому технологічному об'єкті практично завжди відбувається в таких умовах.

Щоб переконатися в цьому, спочатку слід визначити, що слід розуміти під «партією контрольованих виробів», якщо йдеться про процес оперативного контролю ефективності використання енергії. Очевидно, що у випадку контролю досягнення цільових змінних споживання пального або енергії, встановлених в системах оперативного контролю ефективності використання енергії, поняття «партія виробів» має умовний характер. Фактично воно представляє собою певну загальну кількість (N) циклів контролю ефективності використання енергії, які будуть проведені на розглянутому технологічному об'єкті протягом всього періоду його функціонування.

Якщо «тривалість життя» технологічного об'єкта, на якому створена система контролю ефективності використання енергії, достатньо велика, то, враховуючи, що контроль ефективності використання пального або енергії має оперативний характер, можна припустити, що загальний обсяг (N) контрольованої «партії виробів» є досить великим. Принаймні, величина N , як правило, значно перевищує кількість циклів оперативного контролю (n), які вже

виконані після створення на даному об'єкті системи контролю ефективності використання пального або енергії.

Зокрема, у випадку коли $n \leq 0,1 N$, для визначення величини коефіцієнта правдоподібності (γ) у процесі контролю ефективності використання енергії, що здійснюється на будь-якому технологічному об'єкті, можна стверджувати, що контрольована випадкова величина має біноміальний закон розподілу.

Очевидно, що для отримання достовірних результатів контролю з точки зору статистики необхідно мати певний достатньо великий обсяг вибірки значень контрольованого параметра. При біноміальному законі розподілу контрольованої випадкової величини, максимальне значення математичного очікування $M[n]_{max}$ кількості елементів вибірки змінного обсягу (n), яке слід використовувати, визначається залежністю:

$$M[n]_{max} = \frac{\ln B \cdot \ln A}{\ln \frac{P_1}{P_0} \cdot \ln \frac{1-P_0}{1-P_1}} \quad (4.9)$$

У виразі (4.9) величини P_0 і P_1 представляють собою мінімальну та максимальну кількість некачественних виробів, які встановлюються в процесі визначення плану контролю з урахуванням заданих ймовірностей α та β , які використовуються для прийняття або відхилення від контрольованої партії виробів.

Як вже зазначалося, у процесі оперативного контролю енергоефективності під кількістю «неякісних виробів» розуміється кількість виходів фактичних значень споживання енергії за межі довірчого інтервалу, границі якого встановлюються відповідно до базових ліній споживання пального або енергії. При цьому, якщо контрольована випадкова величина має біноміальний закон розподілу, граничні значення кількості «неякісних виробів» (P_0 і P_1) можуть встановлюватися у вигляді відповідних ймовірностей або частот:

$$P_0 = \frac{m_{min}}{n} \text{ і } P_1 = \frac{m_{min}}{n} \quad (4.10)$$

де $m_{\min}$ і $m_{\max}$ – гранично допустима (мінімальна і максимальна) кількість виходів фактичних значень споживання пального або енергії за межі встановлених базових ліній споживання енергії; n – кількість елементів вибірки значень контрольованого параметра, яка змінюється (збільшується) на кожному циклі контролю.

Якщо в тих же умовах використання біноміального закону розподілу контрольованим параметром є кількість «неякісних виробів» (m) у розглянутій вибірці, процедура контролю може бути суттєво спрощена. Зокрема, у цьому випадку процес контролю може здійснюватися без розрахунку значень коефіцієнта правдоподібності (γ). При цьому контрольована "партія виробів" приймається (вважається якісною), якщо $m \leq h_1 + n \cdot h_3$, і відкидається, якщо $m \geq h_2 + n \cdot h_3$. З умовою, що $h_1 + n \cdot h_3 < m < h_2 + n \cdot h_3$, випробування (тобто процес контролю) продовжується.

У поданих нерівностях змінні h_1 , h_2 і h_3 представляють собою параметри відповідних меж довірчого інтервала, який встановлюється безпосередньо для кількості «неякісних виробів» у аналізованій "партії продукції". Числові значення вказаних параметрів визначаються на основі наступних залежностей:

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{\ln B}{\ln \frac{P_1}{P_0} - \ln \frac{1-P_1}{1-P_0}} \\ h_2 &= \frac{\ln A}{\ln \frac{P_1}{P_0} - \ln \frac{1-P_1}{1-P_0}} \\ h_3 &= \frac{\ln \frac{1-P_0}{1-P_1}}{\ln \frac{P_1}{P_0} - \ln \frac{1-P_1}{1-P_0}} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Встановлені на основі розрахунку величини h_1 , h_2 і h_3 (4.11) границі довірчого інтервалу для допустимої кількості «неякісних виробів» в аналізованій «партії продукції» формують певний вид контрольної карти, яку зручно відобразити графічно (рис. 4.2). У майбутньому оперативний контроль енергоефективності численних технологічних об'єктів також цілком доцільно здійснювати графічно, використовуючи подібні контрольні карти.

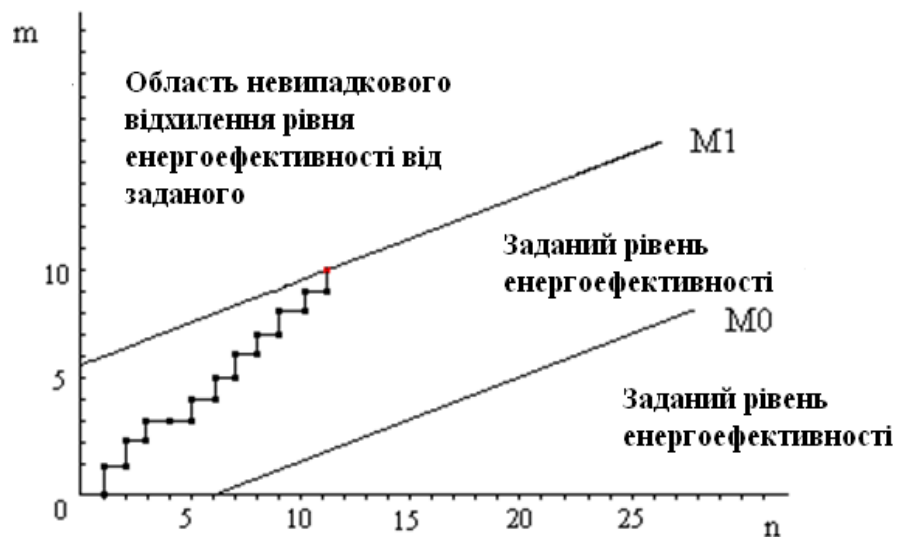


Рис.4.2 Принцип графічного контролю енергоефективності технологічних об'єктів з використанням методу Вальда

На рис. 4.2 прями, позначені як M_1 і M_0 , представляють собою границі даної контрольної карти, визначені за допомогою вище наведених рівнянь: $M_1 = h_2 + n \cdot h_3$, $M_0 = h_1 + n \cdot h_3$. А ступінчаста лінія відображає реальну кількість випадків виходу фактичних значень споживання енергії на розглянутому об'єкті за межі установлених для нього цільових змінних споживання пального або енергії. Кількість таких випадків реєструється на кожному циклі контролю енергоефективності і відображається на контрольній карті у вигляді зазначеної ступінчастої лінії.

На практиці, в процесі контролю виконання установлених цільових змінних енергоспоживання необхідно одночасно вирішувати дві задачі. Ідеться про те, що потрібно контролювати як можливе зниження, так і можливе підвищення ефективності використання пального або енергії на розглянутому технологічному об'єкті. Тобто, при функціонуванні будь-якої системи оперативного контролю ефективності використання енергії необхідно реєструвати як контрольований параметр, з одного боку, кількість (m_1) значень фактичного споживання пального або енергії на об'єкті, які перевищили цільову змінну, встановлену на основі верхньої границі базової лінії енергоспоживання. З іншого боку – кількість випадків (m_2), коли фактичне споживання пально-

енергетичних ресурсів було менше цільової змінної, встановленої на основі нижньої границі відповідної базової лінії.

З цією метою для оперативного контролю ефективності використання енергії будь-якого технологічного об'єкта необхідно будувати і використовувати дві контрольні карти одночасно, подібні до показаної на рис. 4.2. При цьому важливо зауважити, що при вирішенні задачі оперативного контролю ефективності використання енергії на кожній з двох зазначених контрольних карт, в принципі, достатньо наносити тільки верхню границю (M_1) допустимої кількості випадків невиконання відповідних цільових змінних енергоспоживання, оскільки в разі перетину ступінчастою лінією нижньої границі контрольної карти, на відміну від контролю якості продукції, процес контролю не припиняється, а триває далі. Крім того, якщо план контролю для контрольованих параметрів m_1 і m_2 однаковий, то рівняння верхньої границі (M_1) кожної з цих контрольних карт також будуть однаковими.

Таким чином, в результаті здійснення деякого (n -го) циклу оперативного контролю ефективності використання енергії будь-якого технологічного об'єкта з використанням зазначених вище двох контрольних карт можуть спостерігатися наступні ситуації:

- з моменту початку контролю ефективності використання енергії на даному об'єкті загальна кількість випадків, коли фактичні значення споживання пального або енергії виходили за межі установлених цільових змінних споживання енергії з точки зору статистики, є незначною (ступінчаста лінія на жодній з контрольних карт не перетинає пряму M_1), що дозволяє стверджувати, що ефективність використання пального або енергії на об'єкті знаходиться на заданому (запланованому) рівні.

- загальна кількість (m_1) випадків, коли значення фактичного споживання пального або енергії на об'єкті перевищували цільову змінну, встановлену на основі верхньої границі базової лінії споживання енергії, є статистично достатньою (ступінчаста лінія на першій контрольній карті перетинає пряму M_1), що дозволяє стверджувати, що на об'єкті відбулося

зниження ефективності використання енергії порівняно з плановим її рівнем, причому це зниження є не випадковим.

— загальна кількість (m_2) випадків, коли значення фактичного споживання пального або енергії на об'єкті були менше, ніж цільова змінна, встановлена на основі нижньої границі базової лінії споживання енергії, є статистично достатньою (ступінчаста лінія на другій контрольній карті перетинає пряму M_1), що дозволяє стверджувати, що на об'єкті відбулося підвищення ефективності використання енергії порівняно з плановим її рівнем, причому це підвищення є не випадковим.

У першій ситуації процес оперативного контролю ефективності використання енергії на розглянутому об'єкті потрібно просто продовжувати, тобто, після відповідного періоду контролю виконувати черговий, $(n+1)$ -й його цикл.

У двох інших ситуаціях (особливо у другій) енергоменеджер повинен проаналізувати отримані результати контролю споживання пального або енергії, тобто, проаналізувати причини, чому серед фактичних значень споживання пально-енергетичних ресурсів на об'єкті з'являлися "екстремальні" величини, що виходили за межі встановлених відповідних цільових змінних споживання енергії.

Запитання для самоперевірки

1. Яким способом в традиційних системах контролю і планування енергоспоживання (в системах КіП) здійснюється якомога більш об'єктивна процедура оперативного контролю ефективності використання палива чи енергії?

2. Чому процедура контролю виконання встановлених цільових змінних енергоспоживання повинна базуватися на використанні ймовірнісно-статистичних методів?

3. Відповідь на які питання охоплює процес побудови плану статистичного контролю енергоефективності?

4. В чому полягає процес оперативного контролю енергоефективності з використанням контрольної карти припустимої кількості випадків невиконання цільових змінних енергоспоживання?

5. Які ситуації можуть спостерігатися в результаті виконання кожного чергового циклу (етапу) оперативного контролю енергоефективності з використанням контрольної карти припустимої кількості випадків невиконання цільових змінних енергоспоживання? Якими мають бути дії енергоменеджера у кожній з можливих ситуацій?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетичний менеджмент. Частина 2: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Бориченко, В. Ф. Находов. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 224 с. – Назва з екрана. URL:

https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48732/1/Enerhetychnyi_menedzhment_2

2. Енергетичний менеджмент та енергоефективність : підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / І. О. Самойленко, О. Г. Гриб, А. О. Запорожець та ін. Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. 348 с. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/44582>

3. Чернявський А.В., Іншеков Є.М., Соловей О.І., Бориченко О.В., Пертко П.П. Керівництво з впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018 : навч. посіб. / за ред. Є.М. Іншекова, А.В. Чернявського. Київ : Проєкт UNIDO/GEF «Впровадження стандарту систем енергоменеджменту в промисловості України», 2021. 137 с. URL: http://www.ukriee.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/EnMS-Practical-Guide-2021_Ukraine_ukr.pdf

4. Давиденко Л. В., Коменда Н. В., Коменда Т. І. Управління та контроль енергоспоживання : навч. посіб. Луцьк : РВВ Луцького НТУ, 2015. 170 с.

5. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств / А. Чернявський, А. Сафьянц, Н. Усенко, О. Соловей, О. Бориченко, П. Пертко, Ю. Шишко, А. Гоєнко. За ред. Н. Усенко, А. Чернявського. Київ : Проєкт «Консультавання підприємств щодо енергоефективності» Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ), 2020. 280 с. URL:

https://saee.gov.ua/sites/default/files/2021_04_02_Practical_Energy_Audit_Guidebook.pdf?fbclid=IwAR3aJedcPZ6mixqQtel-E2K6KP6rCRYyV9VL9ACIv5hACo9N3YXkRd1-Oas

6. Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії, затверджений наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України № 12 від 02.02.2009 р. і зареєстрований в Міністерстві юстиції України 23.02.2009 р. за № 172/16188.

7. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні (КТМ 204 України 244-94) / Державний комітет України по житлово-комунальному господарству, Київ, 2005.

8. Енергетичний менеджмент: Моніторинг ефективності використання енергії для технологічного об'єкту: розрахункова робота: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Бориченко, В. Ф. Находов, А. В. Чернявський. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 82 с. – Назва з екрана. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/51069>

9. Бориченко О. В. Інтегрована система контролю ефективності використання електричної енергії у виробництві : дис... канд. техн. наук : 05.14.01 / Національний технічний ун-т України «КПІ», 2011.196 с.

10. Праховник А.В., Находов В.Ф., Бориченко О.В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням. Энергосбережение, Энергетика, Энергоаудит. 2009. №8(66). С.41-54.

11. Находов В.Ф., Бориченко О.В., Кочетова К.К. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів. Промислова електроенергетика та електротехніка “Промелектро”. 2007. №2. С. 42-48.

12.Находов В.Ф., Бориченко О.В., Тишко О.В. Удосконалення діючої системи нормалізації енергоспоживання на основі контролю і планування витрат електричної енергії. Промислова електроенергетика та електротехніка «Промелектро». 2010. № 3. С. 51-58.

13.Находов В.Ф., Бориченко О.В. Контроль та аналіз виконання встановлених «стандартів» в системах статистичного контролю ефективності використання електричної енергії. Промислова електроенергетика та електротехніка «Промелектро». 2011. № 2. С. 16-23.

14.Находов В.Ф., Бориченко О.В. Методика встановлення обґрунтованих «стандартів» споживання електроенергії та здійснення об'єктивного контролю їх виконання в системах статистичного контролю ефективності енерговикористання. Науковий твір (Охоронний документ на об'єкт інтелектуальної власності України; Свідоцтво № 38504 ; заявл. 13.05.2011 р. ; зареєстр. 26.05.2011 р. Бюл. 25).

15.ДСТУ 2804-94. Енергобаланс промислового підприємства. Загальні вимоги. Терміни та визначення. Київ, Держспоживстандарт України, 1994.37 с.

16.ДСТУ 4714:2007. Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу. Київ, Держспоживстандарт України, 2007.25 с.

17.ДСТУ 3755-98.Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення у нормативну документацію. Київ, Держспоживстандарт України, 1999. 13 с.

18.ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020. 33 с.

19.ДСТУ ISO 50006:2016. Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова (ISO 50006:2014, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2016. 56 с.

20. ДСТУ ISO 50015:2016. Системи енергоменеджменту. Вимірювання та верифікація енергетичної ефективності організацій. Загальні принципи і настанови (ISO 50015:2014, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2016. 44 с.

21. V. Nakhodov, O. Borychenko, A. Cherniavskyi. The methodical issues of industrial energy monitoring systems implementation. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2020. № 3. С. 47-57.

22. Борищенко О.В., Чернявський А. В. Моделі базових рівнів енергоспоживання для вимірювань та верифікації енергорезультативності систем енергоменеджменту промислових об'єктів. Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'21 : зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф., м. Київ, 23-25 лютого 2021 р. Київ, 2021. С. 38-40. URL: http://pems.kpi.ua/public/conferences/51/PEMS-2021/ZBIRNYK_TEZ_2021PEMS.pdf.

Інформаційні ресурси

EMAS and EnErgy Management - European Commission [Electron. resource] / ЕС. – Access link: <https://ec.europa.eu>

Енергетичний аудит та менеджмент [Електрон. ресурс] / Держенергоефективності України. – Режим доступу: <https://saee.gov.ua/uk/business/energetichny-audit-ta-manadziment>

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukriee.org.ua/>

Електронний каталог Науково-технічної бібліотеки НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua>

«Електронний кампус» НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». – Режим доступу: <https://campus.kpi.ua>