

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

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ. ЧАСТИНА 2 КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Навчальний посібник

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

Укладачі: О. В. Бориченко, В. Ф. Находов

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

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 № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту
(протокол № 10 від 31.05.2022 р.)*

Навчальний посібник призначено для вивчення, поглиблення та закріплення теоретичного матеріалу з курсу лекцій з дисципліни «Енергетичний менеджмент. Частина 2». Висвітлено основні теми щодо структури енергетичного господарства промислового підприємства, класифікації показників енергоефективності, нормалізації питомих витрат енергії для технологічних та господарських об'єктів, енергетичних балансів та енергетичних характеристик технологічних і господарських об'єктів, визначення енергетичної економічності роботи енергоспоживаючих агрегатів та вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Для опрацювання теоретичного матеріалу запропоновано запитання для самоперевірки.

Навчальний посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, буде також корисним фахівцям з ефективного використання енергетичних ресурсів.

Реєстр. № НП 21/22-622. Обсяг 8,2 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГЕТИЧНЕ ГОСПОДАРСТВО ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ТА ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	9
ТЕМА 1. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І ПРОБЛЕМА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ	9
ТЕМА 2. ЕНЕРГЕТИЧНЕ ГОСПОДАРСТВО ПІДПРИЄМСТВА ТА ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.....	21
ТЕМА 3. ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	29
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ. НОРМАЛІЗАЦІЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ	45
ТЕМА 4. СУТНІСТЬ ТА ЗАДАЧІ НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ПРОМИСЛОВОСТІ. ВИДИ НОРМ ПИТОМОЇ ВИТРАТИ ЕНЕРГІЇ ТА ВИМОГИ ДО НИХ	45
ТЕМА 5. СКЛАД НОРМ ПИТОМОЇ ВИТРАТИ ЕНЕРГІЇ. ВИБІР ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ ОБСЯГУ ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ	57
ТЕМА 6. НОРМАЛІЗАЦІЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	65
ТЕМА 7. НОРМАЛІЗАЦІЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ	81
РОЗДІЛ 3. ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ	100
ТЕМА 8. ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ ТА ЇХ РІЗНОВИДИ	100
ТЕМА 9. ЕНЕРГОБАЛАНСИ АГРЕГАТІВ ТА ФОРМИ ЇХ ПОДАННЯ	116
ТЕМА 10. ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ АГРЕГАТІВ	122
ТЕМА 11. ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АГРЕГАТІВ	128
ТЕМА 12. МЕТОДИ ПОБУДОВИ ЕНЕРГОБАЛАНСІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ АГРЕГАТІВ	134
РОЗДІЛ 4. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ РОБОТИ ЕНЕРГОСПОЖИВАЮЧИХ АГРЕГАТІВ	148
ТЕМА 13. РЕЖИМИ РОБОТИ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБЛАДНАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ	148
ТЕМА 14. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ	154

РОЗДІЛ 5. ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ДОСЯГНУТОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗОВИХ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	174
ТЕМА 15. ОТРИМАННЯ НЕОБХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ СТОСОВНО РІВНЯ ДОСЯГНУТОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ	174
ТЕМА 16. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	190
ТЕМА 17. ВСТАНОВЛЕННЯ БАЗОВИХ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ	199
ТЕМА 18. ВИКОРИСТАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА БАЗОВИХ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	211
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	220

ВСТУП

В умовах ринкових відносин значно підвищилися вимоги до професійної підготовки інженерно-технічних працівників та управлінських кадрів, особливо у сфері енерговикористання. Без підвищення рівня знань фахівців неможливе прискорення економічного розвитку, швидке впровадження в практику новітніх досягнень науки та техніки. Існує об'єктивна необхідність у розвитку теорії управління енерговикористанням, впровадження її світових досягнень у виробництво всіх галузей народного господарства. В умовах енергетичної кризи, значного підвищення цін на енергоносії, функціонування енергоринку дуже актуальними стають питання ефективного використання енергії, прийняття тактичних та стратегічних рішень в енерговикористанні на всіх стадіях виробничого циклу. Для реалізації цих завдань велику допомогу надасть навчальна дисципліна "Енергетичний менеджмент", яка передбачає вивчення основних понять управління енерговикористанням, ознайомлення з питаннями організації, розробки стратегії, прийняття технічних, економічних, фінансових та управлінських рішень, мотивації працівників в умовах функціонування системи енергетичного менеджменту на підприємстві. Навчальна дисципліна "Енергетичний менеджмент" є складовою частиною програми професійної підготовки фахівців з питань енергоменеджменту.

Метою опанування дисципліни є формування у студентів здатностей визначати основні показники та встановлювати критерії ефективності використання енергетичних ресурсів технологічними та виробничо-господарськими об'єктами; керувати енергоефективністю технологічних та виробничо-господарських об'єктів на основі планування та нормалізації питомих витрат енергетичних ресурсів; створювати та застосовувати системи моніторингу енергоспоживання технологічних об'єктів.

Предметом навчальної дисципліни є методи та способи контролю і аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів на основі нормування їх

питомих витрат, а також шляхом побудови та застосування систем моніторингу енергоспоживання.

Програмні результати навчання:

Компетентності: (K1) здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу; (K2) здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; (K5) здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; (K6) здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми; (K7) здатність працювати в команді; (K8) здатність працювати автономно; (K23) здатність забезпечувати функціонування систем енергетичного менеджменту та ефективного використання електричної енергії, впроваджувати енергоефективні методи і технології відповідно до найкращих світових практик; (K26) здатність об'єктивно оцінювати можливі позитивні і негативні соціальні, економічні, екологічні та технічні наслідки прийнятих рішень в системі енергетичного менеджменту; (K27) здатність аналізувати та оцінювати рівень досягнутої енергетичної ефективності з використанням показників енергоефективності та базових рівнів енергоспоживання в системі енергетичного менеджменту; (K28) здатність будувати баланси енергоспоживання організацій та визначати суттєве споживання енергії для потенційного поліпшення енергетичної результативності в системі енергетичного менеджменту; (K29) здатність складати калькуляції робіт в області енергоменеджменту та енергетичного аудиту, розробляти техніко-економічне обґрунтування заходів з енергоефективності; (K30) здатність управляти проектами у галузі енергетичного менеджменту і енергоефективності та оцінювати їх фінансові результати.

Програмні результати навчання: (ПР10) знаходити необхідну інформацію в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність; (ПР 11) вільно спілкуватися з професійних проблем державною та іноземною мовами усно і письмово, обговорювати результати професійної діяльності з фахівцями та нефахівцями, аргументувати свою позицію з дискусійних питань; (ПР 21) демонструвати знання та розуміння етапів розроблення і впровадження систем енергетичного

менеджменту в організаціях; (ПР 26) вміти вибудовувати та налагоджувати ділові комунікації на підприємстві, ендогенні та екзогенні, зокрема, відомчі комунікації, комунікації між рівнями та підрозділами, реалізовувати підготовку та організацію комунікації в кризових ситуаціях; (ПР 27) знати методи оцінки, аналізу та планування в енерговикористанні, розробляти енергоефективні заходи для виробництва, комунально-побутової сфери, комерційного і житлового секторів, складати програми енергозбереження, які враховують технічні, економічні, фінансові й адміністративні чинники; (ПР 28) знати джерела інвестування та моделі фінансування енергоефективних заходів в системі енергетичного менеджменту; (ПР 29) вміти будувати енергетичні баланси енергоспоживання організацій та визначати суттєве споживання енергії для потенційного поліпшення енергетичної результативності в системі енергетичного менеджменту; (ПР30) вимірювати рівень досягнутої енергетичної ефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання і показників енергоефективності в системі енергетичного менеджменту; (ПР31) вміти виконувати фінансову оцінку проєктів з енергоефективності за різних умов інвестування та фінансування, розраховувати капітальні та поточні витрати, заощадження від заходів з енергоефективності, складати бізнес-план проєкту з енергоефективності; (ПР32) вміти планувати ресурси для виконання проєкту з енергоефективності, організовувати процес його виконання, здійснювати мотивацію працівників для його виконання; управляти виконанням проєкту; планувати кількісні показники проєкту з енергоефективності; розробляти графіки виконання проєкту; контролювати терміни виконання проєкту та витрат на нього; (ПР33) Здійснювати аналіз ринкових та специфічних ризиків проєкту, використовувати його результати для прийняття управлінських рішень в системі енергетичного менеджменту.

Навчальна дисципліна включає п'ять розділів:

– Розділ 1. Енергетичне господарство промислового підприємства та показники енергоефективності.

– Розділ 2. Основи нормалізації енергоспоживання. Нормалізація питомих витрат енергії для технологічних та господарських об'єктів.

– Розділ 3. Паливно-енергетичні баланси та енергетичні характеристики технологічних і господарських об'єктів.

– Розділ 4. Енергетична економічність роботи енергоспоживаючих агрегатів.

– Розділ 5. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності.

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

РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГЕТИЧНЕ ГОСПОДАРСТВО ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ТА ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Тема 1. Енергозбереження і проблема оцінювання ефективності енерговикористання

1.1. Проблеми, вирішення яких досягається шляхом енергозбереження (глобальні та національні питання, питання бізнесу). Мета та задачі енергозбереження з точки зору держави та підприємства. Необхідність вирішення глобальних, національних питань та питань бізнесу для України.

1.2. Ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні у порівнянні з економічно розвиненими державами світу.

1.3. Стан вирішення задач енергозбереження в Україні.

1.4. Задачі у сфері енергоефективності, вирішення яких є неможливим без здійснення контролю ефективності використання ПЕР.

1.1. Проблеми, вирішення яких досягається шляхом енергозбереження (глобальні та національні питання, питання бізнесу). Мета та задачі енергозбереження з точки зору держави та підприємства. Необхідність вирішення глобальних, національних питань та питань бізнесу для України

Однією з найбільш актуальних та життєво важливих проблем для України є забезпечення раціонального, ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), тобто практичне вирішення питань енергозбереження в усіх ланках національної економіки [1].

Як відомо, у економічно розвинених країнах світу цій проблемі приділяється велика увага. Що ж змушує передові держави світу займатися енергозбереженням? Не що інше як необхідність вирішення трьох груп питань: глобальних, національних та питань бізнесу (підприємництва).

Глобальні питання, очевидно, так чи інакше стосуються всіх держав світу. Зміст цієї групи питань стисло можна визначити одним реченням: «Виробництво та використання енергії є шкідливим для навколишнього середовища». Іншими словами, уникаючи недоцільного, нераціонального споживання ПЕР, можна зменшувати шкідливий вплив на екологію з боку об'єктів паливно-енергетичного комплексу.

Екологічна ситуація в нашій державі, хоч останнім часом вона дещо і покращилася, не залишає сумнівів щодо необхідності якнайскорішого вирішення глобальних питань в Україні.

Національні питання пов'язані із забезпеченням держави ПЕР, з необхідністю їх збереження як національного багатства, з розумним витрачанням коштів на видобуток палива та виробництво енергії.

Важливість вирішення у нашій державі цих питань теж не викликає сумнівів. Як відомо, на даний час Україна забезпечує себе необхідними ПЕР менш як на 50%, і тому в енергетичному відношенні значною мірою залежить від кількох країн-експортерів палива. Незважаючи на суттєве скорочення енергоспоживання у промисловості, в нашій державі продовжує існувати певний дефіцит енергетичних ресурсів (зокрема, електричної потужності та енергії). Про це свідчать, наприклад, періодичні відключення споживачів електричної енергії, до яких час від часу змушені вдаватись енергопостачальні компанії, щоб уникнути системних аварій.

Дефіцит потужності та енергії у об'єднаній енергосистемі України пов'язаний з різними причинами, основними з яких є значне «старіння» енергетики (генеруюче обладнання значною мірою відпрацювало свій ресурс і потребує заміни) та дуже несприятлива структура енергогенеруючих потужностей (в країні зберігається значна нерівномірність попиту на електричну потужність і енергію протягом доби, разом з тим, у об'єднаній енергосистемі практично відсутні маневрові генеруючі потужності). З цих причин зменшення дефіциту енергоресурсів, зокрема у електроенергетиці, вимагає значних капітальних вкладень, які наша держава зараз зробити не в змозі.

З іншого боку, з численних публікацій відомо, що інтегральний показник енергоефективності економіки – енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП) в Україні у три-п'ять разів перевищує значення цього показника, досягнуті у економічно розвинених країнах світу. Тобто, наша держава має величезний потенціал енергозбереження, який складає 42...48% від сучасного обсягу споживання ПЕР [3, 4]. Використання цього потенціалу дозволило б практично зняти проблему зовнішньої енергетичної залежності України.

Таким чином, енергозбереження в нашій державі необхідно розглядати як додаткове, надзвичайно важливе, цілком реальне і ефективне «джерело» ПЕР (уникнення нераціонального споживання одиниці енергії дозволяє зберігати на стадії її виробництва та передачі більше трьох одиниць первинних енергоресурсів).

До того ж це «джерело» є значно дешевшим, ніж інші шляхи скорочення дефіциту ПЕР. Підраховано, наприклад, що витрати на створення 1 кВт нових енергогенеруючих потужностей у два рази перевищують витрати на зменшення споживання електричної потужності на ту ж величину.

Нинішня структура промислового виробництва в Україні, структура енергоспоживання та діючі ціни і тарифи на ПЕР свідчать про те, що вирішення питань підприємництва в Україні також має велике значення. Порівняно незначне підвищення ефективності використання ПЕР, яке може бути досягнуте у тому чи іншому виробництві за рахунок впровадження заходів з енергозбереження, могло б суттєво скоротити частку витрат на споживання ПЕР і, тим самим, збільшити прибутки підприємства.

Крім того, низький рівень ефективності енерговикористання, як відомо, суттєво знижує конкурентоспроможність українських товаровиробників на зовнішньому ринку і лягає важким тягарем на економіку нашої держави.

Таким чином, якнайскоріше вирішення проблеми енергозбереження в Україні з державної точки зору є конче необхідним для збереження власних енергоресурсів як національного багатства, зменшення шкідливого впливу

енергетичних об'єктів на екологію, а також з метою розумного витрачання коштів на розвиток паливно-енергетичного комплексу.

Основною ж метою енергозбереження з точки зору підприємництва є забезпечення з мінімальними витратами економії палива та енергії при одночасному збереженні незмінними (або підвищенні) обсягів виробництва та якості продукції, а також зменшення її собівартості, підвищення рентабельності та конкурентоспроможності українських підприємств.

Таким чином, необхідність якнайскорішого вирішення проблеми енергозбереження та енергоефективності в Україні не викликає жодних сумнівів. Усвідомлюється ця необхідність і на найвищому, державному рівні. Про це свідчить те, що у 2021 році в Україні був прийнятий Закон України «Про енергетичну ефективність»; створено Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України – центральний орган виконавчої влади, який забезпечує реалізацію державної політики у сферах ефективного використання ПЕР, енергозбереження, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива; розроблені та поступово виконуються Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року, концепція Державної цільової економічної програми з енергоефективності та розвитку відновлюваних джерел енергії на 2022-2026 роки, Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року, а також регіональні та галузеві програми з енергозбереження, здійснюється моніторинг виконання цих програм [3].

У 2017 році Україна прийняла Енергетичну стратегію на період до 2035 року, тим самим визначивши шлях розвитку енергетики до сталого виробництва та споживання енергії. Вказаний документ, що є планом забезпечення енергетичної безпеки країни, разом з Директивою 2012/27/EU Європейського Парламенту та Ради від 25 жовтня 2012 р. про енергоефективність, яка змінює Директиви 2009/125/EC та 2010/30/EU і скасовує Директиви 2004/8/EC та 2006/32/EC (далі – EED, Директива) є основою для розробки другого Національного плану дій з енергоефективності. Директива про енергоефективність 2012/27/EC була прийнята 25 жовтня 2012 року, скасовуючи

Директиву про енергетичні послуги (ESD – 2006/32/ЄС), а також Директиву про когенерацію (2004/8/ЄС).

За останні роки в Україні розроблена та запроваджена значна кількість законодавчих актів, нормативно-правових та методичних документів з енергоефективності. В країні виконані та продовжують виконуватись численні науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки у галузі створення енергозберігаючого обладнання, технологій та заходів, впровадження яких дозволило б значно підвищити ефективність використання ПЕР у нашій державі.

1.2. Ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні у порівнянні з економічно розвиненими державами світу

Українська економіка залишається однією з найменш енергоефективних у світі. За останні 20 років основні економіки світу кардинально скоротили споживання енергоресурсів, в Україні значна їхня частка витрачається дарма через зношеність фондів, старе обладнання та неефективне житлово-комунальне господарство. Однак не можна стверджувати, що в нашій державі протягом останніх 10-12 років досягнуто значних практичних результатів у сфері вирішення проблеми енергозбереження. Навпаки, починаючи з 1990 року, відбулося значне збільшення енергоємності ВВП (більше як на 40%). Тільки після 2000 року цей показник дещо стабілізувався і, навіть, намітилася деяка тенденція його зменшення (протягом кількох останніх років приблизно на 6-7%). Проте, вважати це скорочення суттєвим і достатнім неможливо. Для порівняння, у США за останні 20-25 років енергоємність ВВП зменшилася майже на 50% [4].

За показником енергоємності ВВП Україна в декілька разів перевищує показники розвинених країн Західної і Східної Європи. Так, енергоємність ВВП України склала 0,55 т у.п. на 1000 доларів ВВП у порівнянні з 0,1 – для Німеччини, 0,2 – для Польщі. Висока енергоємність України є наслідком особливостей структури національної економіки, зміщеної у бік більш енергоємних галузей, істотного технологічного відставання більшості галузей

економіки від рівня розвинених країн, а також цінових викривлень на внутрішніх енергетичних ринках. В умовах залежності країни від імпорту таких енергоносіїв як газ та нафта висока енергоємність обмежує конкурентоспроможність національного виробництва й лягає важким навантаженням на економіку. Крім економічної й екологічної доцільності, збільшення енергоефективності є необхідним Україні для зміцнення національної енергетичної безпеки, а також для приєднання до європейського та світового енергетичних ринків. Зниження енергоємності економіки має стати однією з пріоритетних цілей державної політики в області енергетики.

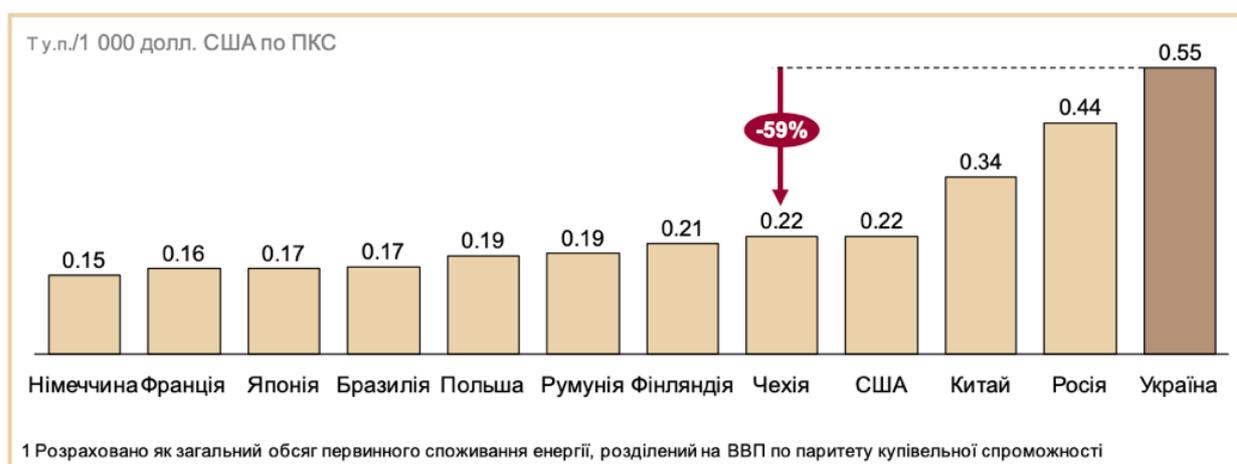


Рис. 1.1 – Порівняння енергоємності ВВП різних країн

Основними чинниками, які перешкоджають подальшому зниженню енергоємності ВВП, є:

- Високий ступінь фізичного зношення основних фондів і технологічне відставання в найбільш енергоємних галузях і житлово-комунальній сфері;
- Невідповідність тарифів і цін на енергоресурси до видатків на їх виробництво, що ускладнює модернізацію енергетичних об'єктів;
- Неефективність функціонування природних монополій;
- Високий рівень втрат енергоресурсів при їх передачі та споживанні;
- Обмеженість стимулів до зниження споживання енергоресурсів при відсутності приладів обліку;

– Низький рівень впровадження енергоефективних технологій і устаткування як у промисловості, так і серед населення.

1.3. Стан вирішення задач енергозбереження в Україні

Існують різні причини такого стану справ у сфері енергозбереження України. Але дві з них, без сумніву, можна вважати основними.

Перша причина – це недостатній рівень економічної зацікавленості (економічного стимулювання) споживачів ПЕР у впровадженні енергозберігаючого обладнання, заходів і технологій, а також недостатня зацікавленість інвесторів у вкладенні коштів в енергозбереження.

Друга причина, яка швидше є наслідком першої причини, це практична відсутність необхідних коштів на впровадження енергозберігаючого обладнання, заходів та технологій. Сюди слід віднести і вкрай недостатній рівень фінансування енергозбереження з державного бюджету, і відсутність необхідних обігових коштів на підприємствах, в організаціях, установах, де безпосередньо потрібно впроваджувати енергозберігаючі заходи. Ускладнює існуючу ситуацію також недосконалість вітчизняного законодавства, яке не дає можливості залучати на енергозбереження кошти, одержані в результаті зменшення витрат на оплату за споживання ПЕР за рахунок вже впроваджених енергозберігаючих заходів.

Разом з тим в Україні розроблено чимало пропозицій щодо можливих (і цілком реальних!) шляхів економічного стимулювання енергозбереження. Сюди, наприклад, слід віднести такі пропозиції як [4]:

- широке використання діючого положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників підприємств, організацій та установ за економію ПЕР у суспільному виробництві;
- застосування економічних санкцій за нераціональне використання ПЕР;
- стимулювання раціонального використання ПЕР при здійсненні державного регулювання цін і тарифів на паливо та енергію;

- запровадження системи оплати праці на підприємствах-постачальниках палива та енергії з урахуванням економії ПЕР;
- запровадження пільгового (50%) оподаткування частини прибутку підприємств, отриманого в результаті реалізації енергозберігаючих проектів;
- створення господарюючими суб'єктами спеціальних фондів енергозбереження, до яких має спрямовуватись приріст прибутку підприємств, отриманий в результаті запровадження енергозберігаючих проектів;
- використання коштів з фондів енергозбереження на фінансування нових енергозберігаючих проектів, на повернення кредитних ресурсів, залучених на ці проекти, на матеріальне стимулювання підвищення ефективності використання ПЕР тощо.

Ці пропозиції безпосередньо направлені на стимулювання підвищення ефективності використання ПЕР в нашій державі та на покращення стану фінансування енергозберігаючих заходів. Державне агентство енергоефективності та енергозбереження України постійно звертається до Кабінету Міністрів і Верховної ради України з проектами відповідних законодавчих та нормативно-правових актів. Однак більшість з наведених вище пропозицій до цього часу або не прийнята, або з різних причин практично не застосовується.

Таким чином, в Україні у сфері енергозбереження та енергоефективності на цей час склалася досить складна ситуація. З одного боку, на всіх рівнях управління державою, економікою, здається, не викликає сумніву необхідність та економічна доцільність енергозбереження. Однак, з другого боку, розробка і широке впровадження енергоефективного обладнання, заходів і технологій не знаходить необхідної державної підтримки: ні фінансової, ні законодавчої. Очевидно, що така ситуація не сприяє досягненню значних результатів у сфері енергозбереження.

1.4. Задачі у сфері енергоефективності, вирішення яких є неможливим без здійснення контролю ефективності використання ПЕР

Безумовно основною запорукою успішного вирішення проблеми підвищення енергетичної ефективності національної економіки є формування та практична реалізація політики енергозбереження на державному рівні, державне управління розробкою та впровадженням енергоефективного обладнання, заходів та технологій. Для цього потрібно вирішити чимало проблем технічного, економічного, організаційного і законодавчого характеру.

Однак необхідно звернути увагу ще на одну проблему, без вирішення якої не зможуть спрацювати ні адміністративні, ні економічні механізми стимулювання енергозбереження в нашій державі. Ця проблема на даний час в Україні знаходиться поза увагою більшості науковців, виробників, державних службовців, виробничого персоналу, які займаються вирішенням питань енергозбереження на різних рівнях управління суспільним виробництвом.

Мова йде про те, що до цього часу не можна вважати вирішеною на достатньому рівні **проблему об'єктивної кількісної оцінки та аналізу ефективності використання ПЕР** для різних технологічних і господарських об'єктів (для окремих машин, агрегатів, технологічних процесів, підприємств, організацій та установ, їх підрозділів, галузей економіки, регіонів держави тощо) [4, 5].

Проблема ця існує давно. Свого часу були запропоновані різні підходи, шляхи та методи її вирішення. Проте досвід минулих років, а також отримані результати оцінки та аналізу енерговикористання в нашій державі не дозволяють стверджувати, що ця проблема вирішена задовільно. В першу чергу це стосується господарських об'єктів, особливо на вищих рівнях управління суспільним виробництвом (галузі економіки, регіони та держава в цілому).

Метою діяльності у сфері енергозбереження є **забезпечення в державі раціонального використання та ощадливого споживання первинної і перетвореної енергії та природних енергетичних ресурсів, тобто досягнення максимальної ефективності використання ПЕР при існуючому рівні розвитку техніки та технології [6].**

Вирішення задач енергозбереження, на будь-якому рівні управління державою чи суспільним виробництвом (у галузі, в регіоні), на будь-якому конкретному об'єкті (на підприємстві, у його структурному підрозділі, у технологічному процесі чи окремому агрегаті) перш за все вимагає отримання відповіді на питання: **ефективно чи неефективно на цьому об'єкті використовуються ПЕР.** Тобто однією з першочергових необхідних умов забезпечення реального енергозбереження в державі є систематична оцінка, контроль та аналіз ефективності використання палива та енергії. Очевидно, що при цьому оцінка ефективності енерговикористання має бути кількісною і максимально об'єктивною.

Визначення та аналіз кількісних показників ефективності енерговикористання на всіх рівнях управління економікою необхідні для того щоб [4]:

- забезпечити систематичний контроль (в тому числі і оперативний) за використанням ПЕР в державі, в регіонах, в окремих галузях суспільного виробництва, на конкретних підприємствах, в організаціях та установах;
- створити та правильно застосовувати систему економічного стимулювання ефективного використання ПЕР, впровадження енергозберігаючого обладнання, заходів і технологій;
- коректно застосовувати штрафні санкції за нераціональне використання ПЕР;
- створити та застосовувати дієвий механізм залучення інвестицій у сферу енергозбереження;

- визначати потенціал енергозбереження, економічну доцільність та пріоритетність здійснення енергозберігаючих проектів на конкретних підприємствах, у галузях суспільного виробництва, у регіонах держави;
- здійснювати моніторинг фактично досягнутого енергозбереження та забезпечити повернення інвестованих коштів.

Таким чином, визначення та аналіз об'єктивних кількісних показників ефективності енерговикористання на різних рівнях управління державою чи суспільним виробництвом є необхідною умовою розробки правильної стратегії енергозбереження, а також управління процесом втілення її в життя.

При чому на державному чи регіональному рівнях оцінка та аналіз ефективності енерговикористання має здійснюватись для створення відповідних нормативно-правових та економічних умов, необхідних для формування та реалізації державної політики у сфері енергозбереження, для коректного застосування методів управління цими процесами в Україні.

Для регіонів та галузей суспільного виробництва на підставі визначення та аналізу рівня ефективності енерговикористання може (і повинна!) бути зроблена оцінка їх потенціалу енергозбереження. На цій основі можуть і мають бути визначені пріоритетні регіони держави, галузі економіки, в яких в першу чергу необхідно впроваджувати енергозберігаючі проекти. Це дозволить систематизувати та прискорити виконання державних, галузевих та регіональних програм з енергозбереження, а також хоча б частково сприятиме вирішенню проблеми їх фінансування.

Крім того, на рівні регіонів, галузей суспільного виробництва, окремих підприємств, установ та організацій систематична оцінка та аналіз ефективності енерговикористання дозволить створити науково обґрунтовані основи для прогнозування та планування обсягів споживання палива та енергії на відповідну перспективу, а також забезпечити умови, необхідні для правильного стимулювання та практичного досягнення енергозбереження.

Таким чином, оцінка та аналіз ефективності використання ПЕР є необхідним підґрунтям для вирішення практично всіх питань, що виникають у

сфері енергозбереження, і тому являє собою надзвичайно важливий напрям наукових досліджень та розробок.

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.

Тема 2. Енергетичне господарство підприємства та основні напрями енергозбереження

- 2.1. Роль енергетичного господарства як підрозділу підприємства.
- 2.2. Структура енергетичного господарства підприємства та основні його задачі.
- 2.3. Основні напрями підвищення ефективності енерговикористання у промисловому виробництві.

2.1. Роль енергетичного господарства як підрозділу підприємства

Традиційно енергогосподарство промислового підприємства належить до допоміжних підрозділів виробництва. Проте, за своєю суттю споживання енергії є одним з найважливіших процесів, які забезпечують діяльність підприємства, оскільки практично всі виробничі процеси вимагають тих або інших витрат енергії. Тому енергогосподарство не може розглядатися просто як дільниця допоміжного виробництва. Це один з найважливіших підрозділів. Його стану, розвитку і вдосконаленню повинні приділяти найбільшу увагу не тільки працівники енергетичної служби, але і керівництво підприємства.

Енергетичне господарство – це сукупність підрозділів і технічних засобів, які забезпечують підприємство всіма видами енергії: електричною, тепловою, механічною, хімічною, паливом [2, 4].

Енергетичне господарство промислового підприємства – специфічний підрозділ. З одного боку, воно є складовою частиною цього підприємства, але в той же час входить до складу енергогосподарства відповідного регіону, територіально і енергетично пов'язаного з електроенергетичною системою. Як відомо, до складу енергогосподарства промислового підприємства входять численні й різноманітні енергоспоживаючі агрегати, що споживають енергію, цехові і заводські мережі, розподільні пристрої, перетворюючі, генеруючі та утилізаційні енергоустановки.

Енергетичне господарство забезпечує підприємство всіма видами енергії (електроенергія, теплова енергія тощо). До складу енергогосподарства входять:

- Теплове господарство (котельна, бойлерні).
- Водопостачання і каналізація (насосні станції).
- Газове господарство (газогенераторні, компресорні, кисневі і ацетиленові станції, вентиляція, холодильні установки).
- Електросилове господарство (заводська ТЕЦ, трансформаторні підстанції, акумуляторні станції).
- Господарство по обслуговуванню засобів зв'язку (АТС, комутаторні установки, радіотрансляційна мережа, промислове телебачення).
- Паро-, водо-, повітряпровідні і газові мережі, електричні і слаботочні мережі та станції.
- Цехові та загальнозаводські споживачі енергії.
- Ділянка контрольно-вимірювальних приладів і автоматики.
- Електроремонтний цех і ділянки в цехах.
- Складське господарство [4].

2.2. Структура енергетичного господарства підприємства та основні його задачі

У технологічному відношенні енергогосподарство підприємства можна розділити на три складові [2, 4]:

- частину, що пов'язана з виробництвом або перетворенням енергії, до якої належать генеруючі, перетворюючі, утилізаційні, акумулюючі енергоустановки (заводські електростанції, котельні, компресорні, насосні установки, установки з виробництва холоду та ін.);
- частину, що пов'язана з передачею та розподілом енергії, до якої відносять цехові і загальнозаводські мережі і розподільчі пристрої;
- частину, що пов'язана зі споживанням енергії, до якої належать різноманітні енергоспоживаючі агрегати та установки.

Генератори, перетворювачі енергії та енергоспоживаючі агрегати, з'єднані мережами і розподільчими пристроями один з одним та з мережами енергосистеми, утворюють систему енергопостачання підприємства (її складовою частиною є система електропостачання підприємства). Всі елементи системи енергопостачання підприємства в процесі експлуатації тісно пов'язані між собою єдністю енергетичного потоку. З цієї причини процеси, які протікають в окремих елементах такої системи, необхідно розглядати як ланки єдиного і безперервного технологічного процесу енергопостачання та енергоспоживання, тобто процесу виробництва, передачі, розподілу і споживання енергії.

Традиційно завдання енергогосподарства як допоміжного підрозділу виробництва спрямовані на забезпечення всіх залежних від нього умов для виконання планів підприємства. Звичайно основним завданням енергогосподарства є забезпечення надійного і якісного енергопостачання підприємства. Проте, вже впродовж багатьох десятиліть, формулюючи завдання енергогосподарства підприємства, другим і третім пунктами є забезпечення максимальної економії палива та енергії та повне використання потужності енергоустановок і пропускної здатності мереж.

Таким чином, основними завданнями енергетичного господарства є:

- вибір такого енергоносія, який би найбільше відповідав технології виробництва даного підприємства, тобто забезпечував би найбільший ККД свого використання та найбільш економічне виробництво продукції.
- безперебійне забезпечення підприємства всіма видами енергії при найбільш раціональних нормах її витрат.
- запровадження новітньої енергетичної техніки та максимальне використання потужностей енергоустановок.
- зростання енергоозброєності праці, підвищення на цій основі її продуктивності та зниження собівартості енергетичної продукції.
- спостереження, аналіз та контроль факторів, що впливають на відхилення реальних (фактичних) витрат енергії від запланованих.

Енергетичне господарство підприємства підрозділяється на дві частини – загальнозаводську і цехову. До загальнозаводської належать генеруючі та перетворюючі споруди, установки, пристрої, відповідні споруди і загальнозаводські мережі, що об'єднуються в ряд спеціальних цехів (дільниць) – електросиловий, теплосиловий, газовий, слабкострумовий, електромеханічний. Склад цехів залежить від енергоємності виробництва та рівня розвитку зв'язків заводу з зовнішніми енергосистемами.

Теплосиловий цех (дільниця) обслуговує контрольні установки, мережі підприємства (теплову, стислого повітря, водопостачання, каналізації), компресорні установки, кондиціонери, обладнання, що перекачує мазут. До складу електросилового цеху входять понижуючі підстанції, трансформаторні установки, перетворюючі пристрої, кабельні мережі, електролінії.

Газовий цех (може входити до теплосилового цеху) об'єднує газопровідні мережі, кисневі станції, склади балонів з різними видами газів та ін.

Електричний цех виконує роботи з ремонту електрообладнання та електроапаратури.

Слабострумна дільниця здійснює технічне обслуговування та ремонт АТС підприємства, комутаторних установок, акумуляторних пристроїв, радіотелевізійної мережі та комп'ютерного парку.

Цехову частину енергогосподарства утворюють первинні енергоприймачі (споживачі енергії – печі, верстати, підйомно-транспортне устаткування тощо), цехові перетворювальні установки і внутрішньоцехові розподільчі мережі.

Схема типової організаційно-виробничої структури енергогосподарства великого підприємства представлена на рис. 2.1 [3].

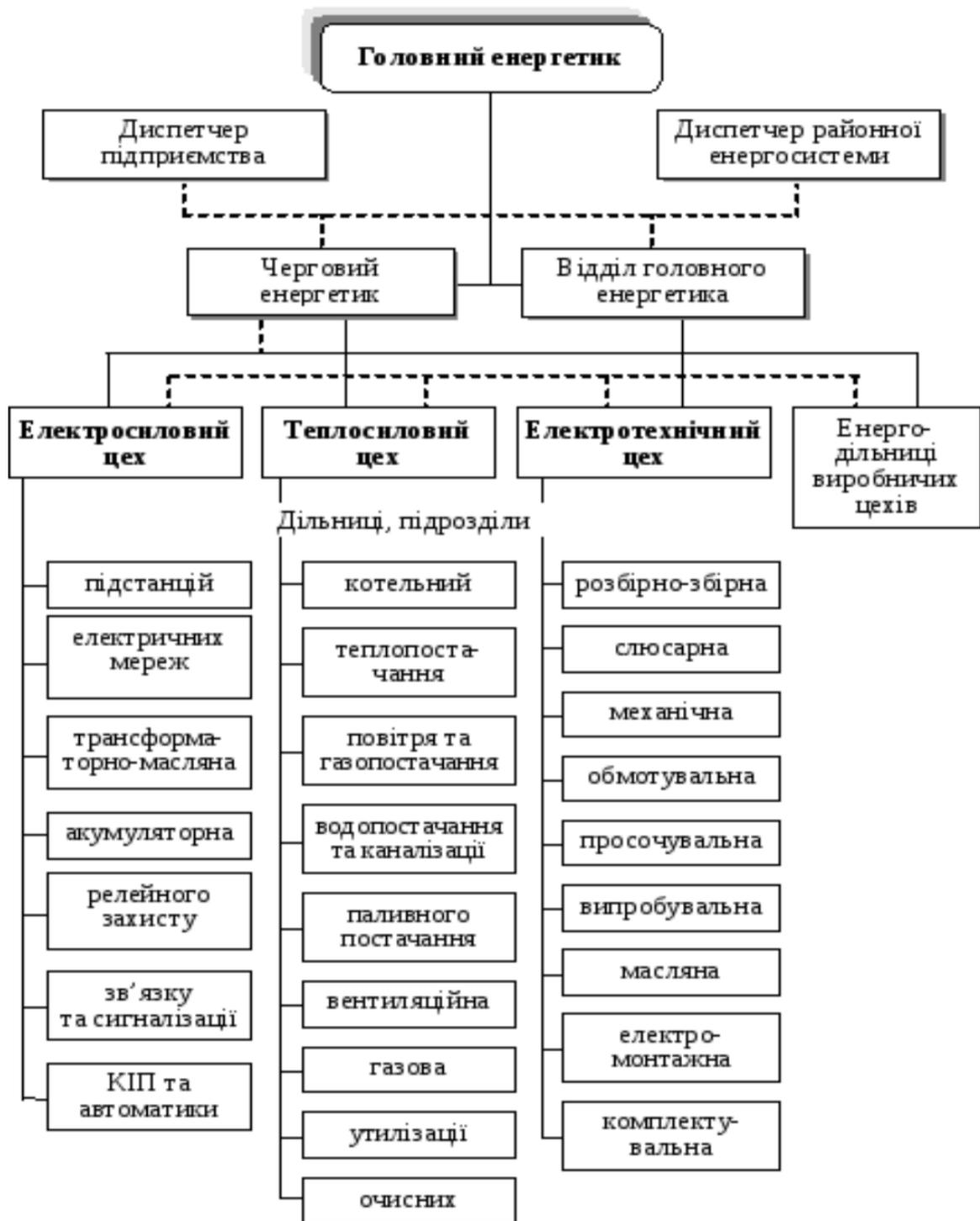


Рис. 2.1 – Організаційно-виробнича структура енергогосподарства великого підприємства

Планування, організацію і керування енергогосподарством на великих підприємствах здійснює служба головного енергетика. На невеликих підприємствах енергетичне господарство значно спрощується і перебуває у

віданні головного енергетика або механіка. Усі фахівці системи енергетичного господарства в залежності від напрямків діяльності групуються у виробничі підрозділи – цехи, дільниці, лабораторії, групи тощо.

До складу відділу головного енергетика звичайно входять групи енерговикористання (експлуатація), енергообладнання, електрична і теплова лабораторії. Лабораторії розробляють заходи щодо поліпшення режимів роботи устаткування, зниження витрати палива і енергії і контролюють їх виконання.

У енергоцехах створюються бригади змінного (чергового) персоналу, який здійснює експлуатацію устаткування і комунікацій, і ремонтно-монтажні бригади.

Як вже було зазначено, основні задачі енергетичного господарства визначаються специфічністю енергопостачання, безперервністю процесу, обмеженими можливостями збереження енергії, одночасністю її виробництва і споживання і зводяться до наступного:

- одержання з боку основних видів енергії загальнопромислового призначення (електроенергія, пара тощо);
- організація виробництва власними силами тих видів енергоресурсів, передача яких на великі відстані нераціональна або недостатня для задоволення потреб підприємства (стиснене повітря та ін);
- перетворення енергії та підготовка її до використання (зміна напруги, тиску, насиченості);
- своєчасний і правильний розподіл енергії між підрозділами і подача її до робочих місць;
- організація споживання, раціонального використання, а також економії енергії та палива;
- спостереження за суворим виконанням правил експлуатації енергетичного обладнання;
- організація та проведення планово-попереджувальних ремонтних робіт;
- забезпечення надійного зв'язку між підрозділами;

- організація зберігання палива та енергії.

Основними напрямками вдосконалення енергетичного господарства та підвищення ефективності його роботи є наступні:

- широке впровадження ресурсозберігаючого обладнання;
- підвищення коефіцієнта корисної дії власних генеруючих і перетворюють установок;
- вдосконалення схем енергоспоживання;
- автоматизація виробничих процесів, обліку і контролю використання ресурсів;
- застосування розрахунково-аналітичних методів нормування енергоресурсів;
- спрощення структури енергетичного господарства підприємства.

2.3. Основні напрями підвищення ефективності енерговикористання у промисловому виробництві

У сучасних умовах функціонування енергетичного господарства підприємства є не лише основне завдання безперебійного забезпечення всіма видами енергії, а забезпечення енергією при найбільш раціональних нормах її витрат, а також запровадження новітніх енергоефективних технологій та обладнання.

Підвищення ефективності енерговикористання на промисловому підприємстві може здійснюватися найрізноманітнішими способами, залежно від конкретної ситуації. Проте можна визначити деякі основні напрями енергозбереження, які є універсальними для будь-якого виробництва. Зокрема, економія палива та енергії на підприємствах може бути досягнута на основі використання вторинних енергоресурсів, застосування найбільш раціональних енергоносіїв, удосконалення виробничих процесів (раціоналізація існуючих, розроблення і впровадження прогресивних технологій), шляхом поліпшення організації виробництва тощо. Підвищення ефективності використання енергії

тісно пов'язане також з підвищенням продуктивності технологічного обладнання. Значна економія палива і енергії досягається шляхом усунення прямих втрат енергії в устаткуванні і мережах, а також у результаті дотримання енергоекономічних (енергоєфективних) режимів роботи енергетичного та технологічного обладнання [6, 7].

Таким чином, слід зазначити, що робота з енергозбереження тісно пов'язана з глибоким аналізом як безпосередньо процесів постачання та споживання енергії, так і багатьох інших сторін діяльності підприємства. У зв'язку з цим необхідно підкреслити, що під енергозбереженням потрібно розуміти сукупність заходів технічного, технологічного, організаційного та економічного характеру, що систематично проводяться і спрямовані на ощадливе та ефективне використання енергетичних ресурсів. Тому вирішення завдань енергозбереження вимагає тісної співпраці енергетиків, технологів, керівників виробництва та інших фахівців підприємства. Але при цьому необхідно пам'ятати, що провідна роль у цій діяльності, безумовно, повинна належати енергетикам.

Запитання для самоперевірки

1. Розкрийте сутність поняття «енергетичне господарство підприємства».
2. Охарактеризуйте роль енергетичного господарства як підрозділу підприємства.
3. Наведіть основні підрозділи енергетичного господарства промислового підприємства.
4. Наведіть структуру енергетичного господарства підприємства.
5. Опишіть основні завдання енергетичного господарства підприємства.
6. Охарактеризуйте три складові енергогосподарства підприємства, на які воно поділяється за технологічним принципом.
7. Опишіть організаційно-виробничу структуру енергогосподарства великого підприємства.

8. Наведіть основні напрямки вдосконалення енергетичного господарства та підвищення ефективності його роботи.
9. Охарактеризуйте основні напрями підвищення ефективності енерговикористання у промисловому виробництві.

Тема 3. Показники енергоефективності

3.1. Необхідність кількісного оцінювання рівня ефективності енерговикористання. Енергетичний потік на підприємстві та його етапи, основні показники енергоефективності на кожному з етапів енергетичного потоку.

3.2. Різновиди та класифікація показників ефективності використання енергії.

3.3. Оцінювання ефективності використання енергії на підставі показників типу ККД та її питомих витрат

3.1. Необхідність кількісного оцінювання рівня ефективності енерговикористання. Енергетичний потік на підприємстві та його етапи, основні показники енергоефективності на кожному з етапів енергетичного потоку

Однією з необхідних умов досягнення помітних практичних результатів енергозбереження є об'єктивне, обґрунтоване вирішення завдання кількісної оцінки, контролю та аналізу ефективності використання енергії для різних технологічних і виробничо-господарських об'єктів [4, 5].

Практичне вирішення завдань енергозбереження на будь-якому рівні управління державою чи суспільним виробництвом (у галузі, регіоні), на будь-якому конкретному технологічному чи виробничому об'єкті передусім потребує відповіді на питання: ефективно чи неефективно на цьому об'єкті використовується енергія. Причому відповідь має ґрунтуватися на визначенні

певних кількісних показників. Їх називають показниками ефективності використання енергії, що відображають величину корисної витрати та втрат електроенергії як під час здійснення виробничих процесів, так і в процесах перетворення, передавання та розподілення енергії [12, 13].

Наявність таких показників дає можливість, як мінімум, зіставляти їх з аналогічними величинами, досягнутими на подібних вітчизняних або зарубіжних підприємствах. Навіть таке просте порівняння в першому наближенні дозволяє робити висновки про те раціонально чи нераціонально використовується енергія на тому або іншому промисловому об'єкті, а також зробити попередній висновок про можливість і економічну доцільність вирішення задач енергозбереження на даному об'єкті.

Під час встановлення складу показників ефективності використання енергії, визначення меж їх застосування доцільно виходити перш за все з такого поняття як енергетичний потік. Під енергетичним потоком розуміють рух енергоресурсів у енергетичному господарстві підприємства у напрямі від джерела до споживачів енергії, який охоплює всі стадії процесу виробництва (перетворення), передачі, розподілу і споживання енергії (рис. 3.1). Наявність відповідних показників повинна дозволити контролювати енергетичну ефективність кожної зі стадій процесу постачання та використання енергії, які називаються «сходінками» енергетичного потоку [4].

У процесах перетворення відбувається перехід одних видів енергії в інші або однієї форми (або параметрів) енергоносія в іншу. При цьому енергія вхідного (перетворюваного) енергоносія переходить в енергію вихідного (перетвореного) енергоносія за вирахуванням енергетичних втрат у процесах перетворення. Для оцінки енергетичної ефективності цих процесів необхідно використовувати показники ефективності перетворення енергії (наприклад, ККД котельної установки, питома витрата палива на виробництво електричної чи теплової енергії тощо). Такі показники характеризують частину перетворюваної енергії, яка зберігається у перетвореному енергоносії. Їх завдання полягає у

вираженні співвідношення між вхідною та вихідною енергією, а також в оцінці втрат перетворення.

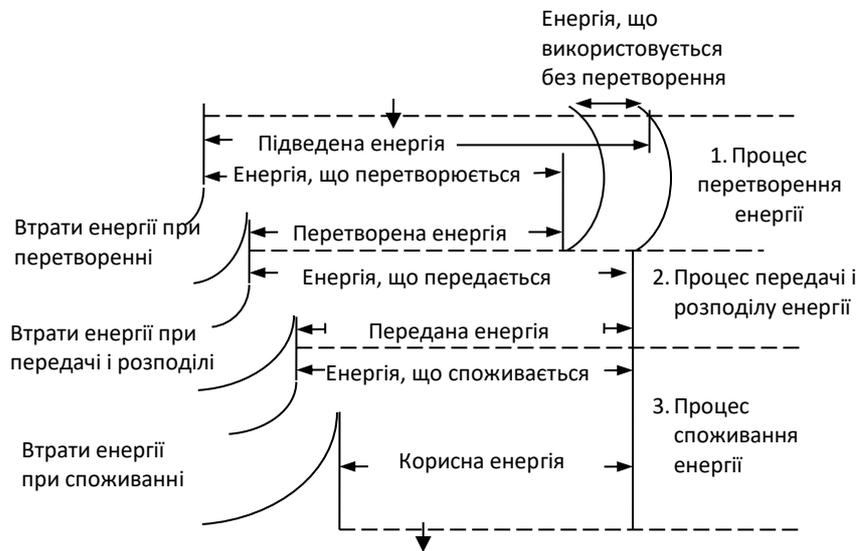


Рис. 3.1 – Енергетичний потік і його «сходінки»

Подібно до показників перетворення енергії необхідно мати також показники ефективності передачі і розподілу енергії, що характеризують енергетичну ефективність цих процесів (наприклад, ККД електропередачі, коефіцієнт питомих втрат енергії в мережах). Фізичний зміст таких показників є аналогічним до показників ефективності перетворення енергії.

Для основних і допоміжних виробничих процесів, де споживана енергія перетворюється на корисну енергію, яка витрачається для зміни форми або стану предмета праці, необхідно визначати показники ефективності використання енергії (наприклад, ККД енергоспоживаючого агрегату, питома витрата енергії на одиницю виробленої продукції тощо). Показники ефективності використання енергії визначаються для контролю за раціональним споживанням енергії і дотриманням оптимальних параметрів технологічного процесу. Крім того, вони також утворюють основу для планування енергоспоживання промислових підприємств, їх підрозділів, окремих агрегатів.

Може скластися враження, що в процесі вирішення завдань енергозбереження нас повинні цікавити тільки показники ефективності використання енергії. Так, у першу чергу необхідно приділяти увагу саме цим показникам. Проте, слід пам'ятати, що для здійснення практичного енергозбереження на будь-якому промисловому підприємстві дуже важливо оцінювати також енергетичну ефективність перетворення і розподілу енергії, тобто процесів, що відбуваються на перших двох «сходінках» енергетичного потоку.

Вирішення питання про вибір конкретного показника для оцінки енергетичної ефективності перетворення, розподілу або використання енергії значною мірою залежить від мети виконуваних розрахунків.

3.2. Різновиди та класифікація показників ефективності використання енергії.

В Україні чинний державний стандарт, який встановлює номенклатуру основних показників енергоефективності обладнання, технологічних процесів, продукції та послуг. Перелік таких показників, наведений в цьому стандарті, включає понад сорок найменувань (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Номенклатура показників енергоефективності [21]

№ п/п	Назва показника	Властивість, яку показник характеризує
1	2	3
1	Коефіцієнт корисної дії, %	Економічність
2	Коефіцієнт корисного використання енергії, %	Економічність
3	Питома витрата енергетичного ресурсу, Дж на одиницю продукції (роботи)	Технологічність
4	Питома витрата палива, умовного палива в тоннах (УП в т) на одиницю продукції (роботи)	Те саме
5	Питома витрата електроенергії, кВт·год на одиницю продукції (роботи)	-//-

6	Питома витрата теплоенергії, Гкал на одиницю продукції (роботи)	-//-
7	Енергоємність продукції, Дж на одиницю продукції (у натуральному, умовному або вартісному вираженні)	Економічність
8	Електроємність продукції, кВт·год на одиницю продукції (у натуральному, умовному або вартісному вираженні)	Те саме
9	Теплоємність продукції, Дж (Гкал) на одиницю продукції (у натуральному, умовному або вартісному вираженні)	-//-
10	Питома енергоємність, Дж на одиницю основного параметра	-//-
11	Енергоємність основних виробничих фондів, Дж/грн	-//-
12	Електроємність основних виробничих фондів, кВт·год/грн	-//-
13	Коефіцієнт корисного використання палива, %	-//-
14	Коефіцієнт перетворення енергетичного ресурсу, %	-//-
15	Коефіцієнт використання обладнання (коефіцієнт завантаження за потужністю), %	-//-
16	Коефіцієнт енерговикористання обладнання, %	-//-
17	Електропаливний коефіцієнт, кВт·год на масу УП в т	-//-
18	Коефіцієнт електрифікації за корисною енергією, %	-//-
19	Коефіцієнт електрифікації за первинною енергією, %	-//-
20	Теплоелектричний коефіцієнт, Дж/кВт·год, Гкал/кВт·год	-//-
21	Коефіцієнт попиту потужності, %	-//-
22	Енергоозброєність праці, Дж/людину; Дж/людино·год	-//
23	Електроозброєність праці за потужністю, кВт/людину; кВт/людино·год	Економічність
24	Електроозброєність праці за енергією, кВт·год/людину; кВт·год/людино·год	Те саме-
25	Витрати енергоресурсів на виготовлення та експлуатацію (у натуральному, умовному або вартісному вираженні)*	-//-
26	Номінальна теплопродуктивність, МВт·Гкал/год	-//-
27	Номінальна паропроодуктивність, т/год	-//-
28	Втрати енергії (у натуральному, умовному або вартісному вираженні)	-//-
29	Коефіцієнт утилізації вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), %	-//-
30	Коефіцієнт виробітку за рахунок ВЕР, %	-//-
31	Коефіцієнт використання виробітку за рахунок ВЕР, %	-//-
32	Найвища теплота згоряння, масова, Дж/кг, об'ємна, Дж/м ³ , молярна, Дж/моль	-//
33	Найнижча теплота згоряння, масова, Дж/кг, об'ємна, Дж/м ³ , молярна, Дж/моль	-//-
34	Втрати неробочого ходу та короткого замикання (кВт) (для трансформатора)	-//-
35	Ефективність теплообміну	-//-
36	Номінальна споживана потужність виробу, Вт	-//-
37	Номінальна напруга, В	-//-
38	Номінальний струм, А	-//-

39	Частота, Гц	-//-
40	Коефіцієнт потужності	-//-
41	Тиск повітря для горіння (палива) перед пальниками, Па	-//-

* Показник застосовується як додатковий

Аналізуючи наведені в зазначеному державному стандарті показники, необхідно звернути увагу, що лише деякі з них за своєю сутністю дійсно є показниками ефективності використання палива чи енергії. Очевидно, що такі показники, як коефіцієнт попиту потужності, енергоозброєність праці, найвища теплота згорання чи номінальна напруга жодним чином не характеризують ефективність енерговикористання у будь-яких агрегатах чи технологічних процесах.

Що стосується певної кількості показників, визначених цим стандартом, залишається незрозумілим, чим вони відрізняються між собою, крім назви, та у чому полягають особливості їх розрахунку. Так, наприклад, важко зрозуміти чим відрізняються між собою за фізичним змістом такі показники як коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт корисного використання енергії, або питома витрата електроенергії та електричність продукції.

Крім зазначеного державного стандарту, у численних публікаціях пропонувалися різні модифікації показників ефективності енерговикористання та різні підходи до визначення і застосування таких показників. Так наприклад, класифікувати показники ефективності енерговикористання можна залежно від їх цільового призначення:

- показники для аналізу енергетичної ефективності стадій процесу перетворення, розподілу та використання енергії;
- показники для планування енергоспоживання і техніко-економічного обґрунтування заходів з енергозбереження.

Наводиться також класифікація показників енергоефективності за якісною ознакою, тобто за ступенем їх обґрунтованості:

- науково обґрунтовані показники;
- тимчасові показники на основі даних статистичної звітності.

Автори праці [27] вважають, що об'єктивним критерієм оцінювання ефективного використання електроенергії є порівняння фактичних витрат звітного періоду з фактичними витратами відповідного попереднього періоду з обов'язковим урахуванням зміни структури виробництва продукції.

На думку автора [28], на різних рівнях управління суспільним виробництвом необхідно застосовувати різні показники, які відображають ефективність використання ПЕР. Загальновизнаним показником ефективності використання ПЕР є показник енергоємності валового внутрішнього продукту (ВВП) чи національного доходу, а на рівні міністерства чи відомства – енергоємність товарної продукції. Для оцінювання ефективності використання палива та енергії в окремих агрегатах, технологіях, підприємствах, галузях можна використовувати такі показники, як електроємність, прямі питомі витрати електричної енергії на одиницю продукції, повні витрати електроенергії на кінцеву продукцію, а також коефіцієнт корисної дії (ККД) окремого агрегату, технології тощо.

У праці [29] розглянуто систему показників для визначення ефективності використання енергії, що, як вважають автори, є прийнятною для будь-якого типу споживачів енергії. Зокрема, на думку авторів, найбільш відомим і поширеним показником енергоефективності є ККД машин, агрегатів, установок, процесів, що являє собою відношення корисної потужності або енергії до підведеної потужності або спожитої енергії.

Автори праці [30] пропонують показники ефективності використання енергетичних ресурсів, зокрема електроенергії, об'єднати в такі групи:

- нормовані показники енергетичної ефективності продукції, які вносять до державних стандартів, технічних паспортів продукції, технічної та конструкторської документації і використовуються при сертифікації продукції, енергетичній експертизі та енергетичних обстеженнях;

- показники енергетичної ефективності виробничих процесів, які вносять в стандарти та енергетичні паспорти підприємств і застосовуються для

здійснення державного надзору за ефективним використанням енергетичних ресурсів;

– показники реалізації енергозбереження (відображаються в статистичних звітах, нормативних та правових документах);

– альтернативні показники, які пропонуються до використання для усунення окремих недоліків, що притаманні попереднім групам показників при їх застосуванні для оцінювання енергоефективності на підприємстві.

При цьому автори зазначають, що не існує комплексного показника енергоефективності, за яким би можна швидко та достатньо точно оцінювати ефективність використання енергоресурсів.

У праці [31] зазначено, що показники ефективності використання ПЕР дозволяють порівнювати ефективність енерговикористання в агрегатах, технологічних процесах, підприємствах, організаціях тощо. Вони можуть бути прямі, тобто які безпосередньо визначають ефективність використання ПЕР (наприклад, енергоємність ВВП, валової доданої вартості (ВДВ), випуску окремих видів продукції тощо, питомі витрати ПЕР на одиницю продукції (послуг, робіт), коефіцієнти корисного використання енергії, ККД окремих агрегатів, технологічних процесів тощо) і непрямі, в яких ефективність використання ПЕР безпосередньо не відображається, але їх величина значною мірою залежить від рівня та структури використання ПЕР (наприклад, ВДВ, продуктивність праці, рентабельність виробництва, фондоозброєність, енергоозброєність праці тощо).

У праці [1-3] обґрунтовано доцільність для оцінювання величини досягнутої економії енергії використовувати поняття «енергетична ефективність». Для її оцінювання пропонується застосовувати кількісні показники такі, як енергетичний ККД, ексергетичний ККД та питомі витрати ПЕР.

Автор праці [32] стверджує, що для аналізу ефективності використання ПЕР необхідно застосовувати системний підхід, що ґрунтується на комплексі таких аналітичних показників:

1) обсягу і структури використаних ПЕР (загальний обсяг використаних ПЕР, обсяг використання ПЕР власного виробництва, структура ПЕР, що

витрачаються за видами і напрямками, питома частка енергетичних витрат у складі матеріальних витрат і собівартості продукції, структура енергетичних витрат, обсяг ПЕР, що спрямовані на перероблення в інші види палива та енергії);

2) рівня енергозабезпечення (обсяг планових поставок ПЕР, забезпеченість потрібних лімітів ПЕР, рівень надійності та якості енергозабезпечення);

3) ефективності використання ПЕР (абсолютна економія ПЕР, коефіцієнт корисного використання палива та енергії, показники виходу і використання ПЕР, показники витрат ПЕР, загальна енергоємність продукції, часткові показники енергоємності продукції, енерговіддача, енергоозброєність праці, енергоємність основних виробничих фондів, енергоємність використаних матеріалів та сировини);

4) ефективності заходів раціонального використання ПЕР (питомі приведені витрати, показники економічного ефекту, термін окупності витрат).

Автор вважає, що прийнятними для оцінювання енергоефективності є показники енергоємності, які розраховані у вартісних, натурально-вартісних і натуральних одиницях. Вони досить повно і точно відображають загальні результати ефективності використання ПЕР.

Автори праці [33] пропонують використовувати для оцінювання енергоефективності дещо інший підхід, що ґрунтується на розробленні універсальної шкали енергетичної ефективності. Ця шкала показує рівень (частку) використання електроенергії на об'єкті відносно енергоємності первинних ресурсів. Така характеристика подібна до ККД та коефіцієнта корисного використання електроенергії. Разом з тим вона містить у собі й інші, нетехнічні характеристики об'єкта. Тому, на думку авторів, за допомогою цієї шкали можна оцінювати як стан і потенціал енергозбереження, так і діяльність та її результати у цій сфері. Оцінка рівня ефективності використання електроенергії підприємства чи організації за допомогою універсальної шкали базується на обчисленні інтегрального показника ефективності, який розраховується як сума добутків вагового коефіцієнта відповідного критерію ефективності і значення цього коефіцієнта. Автори пропонують десять критеріїв

ефективності роботи устаткування, технології або підприємства, зокрема ККД агрегату, рівень втрат енергії, наявність та ефективна робота системи вимірювання, контролю, обліку і регулювання витрати енергетичних ресурсів тощо, а також наводять рекомендовані значення вагових коефіцієнтів зазначених критеріїв ефективності.

Запропонований у цій роботі [33] підхід до визначення рівня ефективності використання електроенергії, безперечно, вартий уваги, але лише як спосіб попереднього, орієнтовного оцінювання потенціалу енергозбереження на об'єкті. Цей підхід не передбачає обґрунтування вибору показників (критеріїв ефективності), а також числових значень вагових коефіцієнтів, на основі яких було б можливо зробити об'єктивні висновки про рівень енергоефективності на об'єкті. Крім того, автори підходу пропонують замінити поняття «ефективність енерговикористання» на поняття «ступінь (рівень), активність, результати діяльності у галузі енергозбереження», які не є еквівалентними.

Подібний підхід до оцінювання ефективності використання електричної енергії на промислових підприємствах подано також у працях [34; 35]. Однак автори цих праць пропонують порівнювати підприємства щодо їх енергоефективності на підставі сумарного рейтингу ефективності електровикористання. Такий рейтинг розраховують на підставі визначених авторами критеріїв ефективності (зокрема, це критерії, які характеризують технічний стан обладнання, дозволяють враховувати економічний ефект від впроваджених заходів енергозбереження та рівень кваліфікації персоналу), а також вагових коефіцієнтів відповідних критеріїв. Причому значення цих вагових коефіцієнтів визначаються за допомогою методу експертних оцінок.

У праці [30] також пропонується використовувати методіку агрегованого оцінювання ефективності використання енергетичних ресурсів, зокрема електричної енергії, на промислових підприємствах. За допомогою агрегованої оцінки рівня ефективності використання енергетичних ресурсів можна провадити енергетичну сертифікацію промислових підприємств з наданням їм відповідного рівня енергоефективності.

Останнім часом в закордонній практиці застосовують методологію бенчмаркінгу, яка забезпечує можливість порівнювати підприємства, у тому числі, за енергетичною ефективністю. Бенчмаркінг (англ. benchmarking) – це процес визначення, аналізування та адаптації наявних прикладів ефективного функціонування компанії з метою поліпшення власної роботи. Він містить два рівнозначні процеси: оцінювання діяльності компанії у сфері енергозбереження за системою відповідних показників та зіставлення отриманих результатів з показниками подібних об’єктів [36].

Основні підходи до проведення бенчмаркінгу ефективності використання енергоресурсів: точкові оцінки (у порівнянні з середнім із сукупності); статистичні (крива «зразка» порівняно із сукупністю); на основі зразка (найкращого досвіду); моделювання (порівняння дійсного і ефективного модельованого); стандартизація (на основі тестування).

Основні етапи проведення процесу бенчмаркінгу показано на рис. 3.2.



Рис. 3.2 – Основні етапи процесу бенчмаркінгу

Метою застосування методології бенчмаркінгу є: підвищення уваги до ефективного використання енергоресурсів на підприємстві та використання досвіду передових підприємств у галузі енергоефективності; створення рейтингу підприємств для подальшого стимулювання енергозбереження на підприємстві та оцінювання ефективності споживання енергоресурсів; формування

загальнодоступної бази даних, котра містить інформацію про можливі заходи з енергозбереження.

Такий підхід до оцінювання рівня енергоефективності можна успішно використовувати для однорідних об'єктів з подібним асортиментом випуску продукції чи надання послуг.

Таким чином, аналізуючи наведені вище наукові праці, можна стверджувати, що, незважаючи на широкий спектр, наведених в них, найменувань показників енергоефективності, а також на різноманітність технологічних та виробничо-господарських об'єктів, кількість показників, які дійсно характеризують ефективність використання енергії і практично застосовуються у виробництві, є дуже обмеженою. Найчастіше для практичних цілей використовуються показники енергоефективності, а також їх модифікації, які фактично можна об'єднати у дві групи [3, 4]:

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

3.3. Оцінювання ефективності використання енергії на підставі показників типу ККД та її питомих витрат

Показники типу ККД є найбільш відомими і поширеними. Їх спочатку застосовували у термодинаміці для оцінювання енергетичної ефективності різних теплових машин. Проблем з визначення таких показників у цьому випадку майже не виникало, оскільки для таких машин однозначно можна розрахувати як підведену, так і корисну енергію.

Пізніше цей простий та інформативний коефіцієнт почали використовувати також для оцінювання енергетичної ефективності інших, більш складних енергетичних об'єктів: парогенераторів, парових та газових турбін, електричних станцій різних типів і призначення тощо. Але для таких об'єктів розрахунки ККД вже ускладнювалися через потребу врахування різних видів енергії [29].

Для характеристики машин, агрегатів, установок, оцінки режимів їх роботи найчастіше застосовують фіксовані значення ККД, які відповідають конкретним, як правило, оптимальним умовам роботи об'єктів (паспортні чи номінальні ККД). Але в технологічному процесі їх значення внаслідок зміни умов роботи (коливання навантаження, погіршення технічного стану агрегату тощо) можуть істотно відрізнятися від оптимальних.

З іншого боку, абсолютні значення ККД (енергетичного або ексергетичного) самі по собі ще не дозволяють визначити ефективність використання ПЕР, у тому числі й електричної енергії. Ці показники характеризують певний досягнутий рівень ефективності енерговикористання в агрегаті або процесі, але не дають уявлення про те, наскільки високий цей рівень ефективності і чи можливо надалі його підвищувати. Для цього ККД необхідно порівняти з деяким «еталонним» значенням.

В інженерній практиці (теплотехніці, термодинаміці) як еталон енергетичної ефективності різних процесів давно і досить успішно використовують теоретичні термодинамічні цикли (Карно, Ренкіна, Отто та ін.), тобто деякі ідеалізовані аналоги різних теплових машин та установок. У цьому випадку ступінь енергетичної досконалості реальних об'єктів визначається відносним значенням ККД, яке розраховується діленням реального ККД на ідеальне його значення для відповідного агрегату.

Очевидно, що показники типу ККД є досить простими, зручними у використанні та універсальними показниками ефективності енерговикористання. Тому неодноразово робилися спроби застосувати їх для оцінювання енергоефективності технологічних процесів, установок та агрегатів різного

призначення. Але такі спроби, як правило, не були вдалими, оскільки для технологічних об'єктів втрачає сенс співвідношення корисної та підведеної енергії, тому що кінцевим продуктом для них є не енергія чи робота, а продукція різних видів і призначення. Для таких агрегатів та процесів дуже складно або неможливо визначити корисну енергію чи виразити обсяг випущеної продукції в одиницях енергії. Тому для технологічних агрегатів та процесів при визначенні їх ККД пропонується замість корисної енергії використовувати мінімально необхідні витрати енергії [29].

Розрахунок величини мінімальних витрат енергії теж являє собою складне завдання, для вирішення якого пропонується для будь-якого технологічного об'єкта чи процесу підбирати деякий ідеалізований аналог, витрати енергії в якому розглядаються як мінімально необхідні. Але для підбору такого аналога кожного процесу, який використовується на практиці, необхідно виконати ґрунтовний аналіз усього їх різноманіття і класифікувати за цільовим призначенням [29].

Таким чином, показники ефективності енерговикористання (і, зокрема, ефективності використання електричної енергії) типу ККД мають здебільшого практичну значущість і використовуються для окремих енергетичних установок та мереж енергопостачання. Для технологічних об'єктів (процесів, машин, агрегатів, установок) такі показники мають більш теоретичне значення і використовуються значно рідше, оскільки буває дуже складно (або навіть неможливо) визначити розрахунковим чи експериментальним шляхом величину корисної енергії чи потужності. Показники ККД для господарських об'єктів (підприємств, організацій, установ тощо) втрачають сенс і застосовувати їх не можна.

Для будь-якого технологічного чи господарського об'єкта досить легко можна вимірювати й обліковувати «вхідні» і «вихідні» величини, якими є підведена потужність або енергія, а також обсяг випущеної продукції чи виконаної роботи або продуктивність обладнання. Тому в реальних умовах ефективність використання електричної енергії для технологічних чи

господарських об'єктів значно частіше оцінюють за показниками її питомої витрати. Показники енергоефективності цього типу найбільшого поширення набули у виробничій сфері і протягом багатьох десятиліть використовуються як у вітчизняній, так і у зарубіжній практиці.

Очевидно, що за своїм змістом показники питомої витрати енергії є свого роду оберненими величинами до ККД.

Однією з різновидностей показників питомої витрати ПЕР є показник ефективності їх використання, який визначається на загальнодержавному рівні, – енергоємність ВВП або енергоємність ВДВ, у тому числі і для регіонів України [28]. Ці показники являють собою загальну питому витрату всіх ПЕР, що споживаються в державі або регіоні, виражену в умовному паливі на одиницю вартості всіх товарів та послуг, які включаються до складу ВВП (чи ВДВ).

Таким чином, показники питомої витрати ПЕР також визначаються досить просто, навіть простіше, ніж показники ефективності енерговикористання типу ККД, оскільки складові для розрахунку її питомої витрати, як правило, приймаються за даними обліку споживання енергії і виробництва продукції (виконання роботи) на відповідному об'єкті. Певні труднощі, однак, виникають в умовах багатомініклатурного виробництва, або під час визначення галузевих чи регіональних показників питомої витрати енергії (щонайменше виникає питання, у яких одиницях вимірювати вироблену продукцію). Найчастіше доводиться вимірювати обсяги виробництва продукції у вартісному вираженні, що робить показники питомої витрати енергії дуже нестабільними і недостатньо об'єктивними.

Крім того, як і показники типу ККД, показники питомої витрати енергії (в тому числі і енергоємність ВВП чи ВДВ) самі по собі не можуть дати будь-якого уявлення про рівень ефективності її використання на тому чи іншому об'єкті. Для цього потрібен деякий додатковий показник, своєрідний «еталон», з яким можна було б порівнювати фактичну питому витрату електроенергії. Однак, на відміну від ККД, показники питомої витрати не мають навіть ідеального значення, з яким їх можна було б порівнювати. Тому для оцінювання та аналізу

ефективності використання енергії, крім фактичних питомих її витрат, необхідно визначати ще один показник – норми питомої витрати енергії. Показники ж енергоємності ВВП необхідно порівнювати з аналогічними показниками інших держав світу.

Запитання для самоперевірки

1. Обґрунтуйте необхідність кількісного оцінювання рівня ефективності енерговикористання.
2. Розкрийте сутність поняття «показник ефективності використання енергії».
3. Розкрийте сутність поняття «енергетичний потік».
4. Охарактеризуйте основні етапи (сходинки) енергетичного потоку.
5. Наведіть основні показники енергоефективності на кожному з етапів енергетичного потоку.
6. Проаналізуйте номенклатуру основних показників енергоефективності обладнання, технологічних процесів, продукції та послуг згідно ДСТУ 3755–98.
7. Проаналізуйте різновиди показників ефективності використання енергії.
8. Розкрийте сутність оцінювання ефективності використання енергії на підставі показників типу ККД.
9. Розкрийте сутність оцінювання ефективності використання енергії на основі питомих витрат енергії.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ. НОРМАЛІЗАЦІЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ

Тема 4. Сутність та задачі нормалізації енергоспоживання в промисловості. Види норм питомої витрати енергії та вимоги до них

4.1. Значення, мета та задачі нормалізації енергоспоживання у промисловості. Сутність поняття «норма питомої витрати енергії».

4.2. Нормалізація енергоспоживання як елемент системи управління ефективністю енерговикористання.

4.3. Класифікація норм питомої витрати енергії. Основні вимоги до норм питомої витрати енергії.

4.1. Значення, мета та задачі нормалізації енергоспоживання у промисловості. Сутність поняття «норма питомої витрати енергії»

Під нормалізацією (нормуванням) енергоспоживання розуміють процес встановлення планової величини витрати енергії на одиницю продукції або виконання одиниці роботи (тобто встановлення планової величини питомої витрати енергії) [2-4, 6, 7].

Нормалізація енергоспоживання в промисловості має велике значення. По-перше, визначаючи науково обґрунтовані норми питомої витрати енергії, створюється база для розрахунку потреби в енергії різних виробничих об'єктів: підприємств, їх підрозділів, окремих агрегатів і технологічних процесів. З іншого боку, норми питомої витрати енергії дозволяють об'єктивно оцінювати ефективність енерговикористання в умовах зміни обсягу і асортименту випущеної продукції окремими агрегатами, цехами або підприємствами.

Метою нормалізації споживання енергії в промисловості є:

- створення умов для здійснення контролю ефективності використання енергії у виробництві;
- встановлення вихідних величин для планування енергоспоживання.

Основним завданням нормалізації енергоспоживання (тобто способом досягнення поставлених цілей) є розробка і використання у виробництві технічно і економічно обґрунтованих, прогресивних норм питомої витрати енергії.

Під нормою питомої витрати енергії розуміють об'єктивно необхідну величина її споживання на виробництво одиниці продукції або виконання одиниці роботи встановленої якості в конкретних прогресивних умовах виробництва. Іншими словами, норма питомої витрати енергії, з одного боку, є мінімально необхідною, а з іншого боку, – максимально допустимою величиною споживання енергії в даних умовах виробництва [2-4].

Нормалізація енергоспоживання органічно пов'язана з удосконаленням, як виробництва, так і самого енергогосподарства підприємства. В той же час, встановлення норм питомої витрати енергії ґрунтується на енергетичному обліку, контролі і аналізі енергоспоживання, і утворює разом з ними комплексну систему робіт, що проводяться планомірно і систематично, і забезпечують ефективне використання енергоресурсів. Така система робіт може бути представлена у вигляді наступної схеми (рис. 4.1).

Вперше подібна система була розроблена і практично впроваджена на теплових електростанціях. Ця система цілком виправдала себе і була широко поширена на електростанціях інших енергетичних систем.

Проте розробка і впровадження подібної системи для енергогосподарства промислових підприємств зустрічається достатньо рідко. Це пов'язано, передусім, з різноманіттям технологічних процесів, різнотипністю устаткування і різноманітністю режимів його роботи, з великою кількістю технологічних, організаційних та інших внутрішніх і зовнішніх чинників, що впливають на питомі витрати енергії, з недоліками енергетичного обліку на підприємствах тощо.

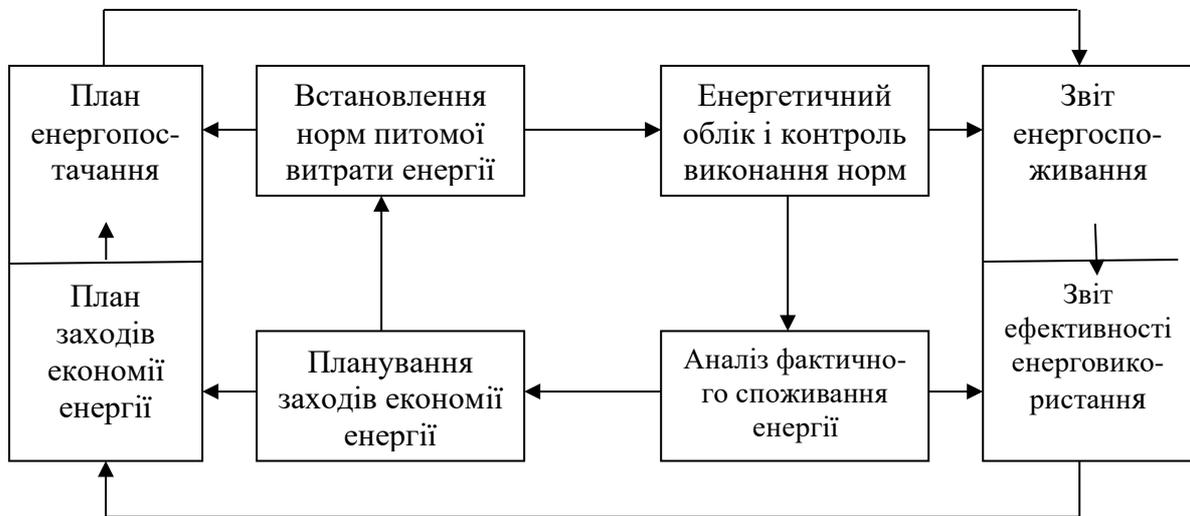


Рис. 4.1 – Комплексна система робіт з обліку, контролю, аналізу і нормалізації енергоспоживання

Однак така система робіт з раціоналізації енергоспоживання в промисловості до недавнього часу реально існувала, хоч і носила адміністративний характер. Той факт, що система нормалізації енергоспоживання в промисловості існувала тільки під адміністративним тиском, можна пояснити тим, що підприємства економічно не були зацікавлені в проведенні цієї роботи, як, втім, і в самому енергозбереженні. До того ж, методи нормалізації енергоспоживання, що застосовувалися, не забезпечували максимальної простоти цих робіт, їх доступності для підприємств з точки зору витрат праці, часу і грошових коштів.

Що ж зараз може змусити промислових споживачів енергії серйозно займатися енергозбереженням? Цього можна досягти законодавчим шляхом, наприклад, шляхом введення обов'язкової сертифікації (маркування) виробництв і продукції за їх енергетичною економічністю (у зарубіжній практиці законодавство широко використовується як рушійна сила енергозбереження, подібна ідея була закладена також і в Законі України «Про енергозбереження»).

Можна стимулювати споживачів енергії до вирішення завдань енергозбереження економічними методами, підвищуючи ціну на енергію або навпаки, знижуючи її для тих споживачів, які ефективно використовують

енергію. Але і в першому, і в другому випадку потрібна об'єктивна оцінка рівня ефективності використання енергії споживачами. На даний час єдиним офіційно прийнятим способом отримання такої оцінки є вирішення задачі нормалізації енергоспоживання.

На підставі зарубіжного досвіду слід припустити, що у майбутньому у вітчизняних споживачів енергії, і передусім промислових, виникне нагальна необхідність в нормалізації енергоспоживання, але вже з економічних, ринкових міркувань, а не під адміністративним тиском з боку відомчих або державних органів. Принаймні, слід усвідомлювати, що без вирішення задачі нормалізації енергоспоживання, як одного з методів контролю ефективності енерговикористання, не може бути і мови про практичне досягнення помітних результатів у сфері енергозбереження.

4.2. Нормалізація енергоспоживання як елемент системи управління ефективністю енерговикористання

Норми витрат ПЕР повинні встановлюватися з урахуванням особливостей конкретного виробництва, як правило, на рівні підприємства, установи, організації. Диференціація норм за конкретними технологіями чи видами споживання здійснюється підприємством, установою, організацією самостійно на основі міжгалузевих та галузевих методик. Ці норми не повинні перевищувати встановлених показників міжгалузевих та галузевих типових норм питомих витрат ПЕР для певних видів споживання [4, 6].

На рівні конкретного виробництва встановлюються норми витрат ПЕР окремо щодо продукції кожного виду, на рівні підприємств у цілому визначаються додатково укрупнені норми на одиницю зведеної продукції, а на рівні галузей та структур державного управління використовуються також узагальнені показники питомих витрат ПЕР. Норми витрат на підприємствах встановлюються на всі види ПЕР незалежно від джерел їх постачання та характеру споживання. Для розроблення норм та аналізу енергоспоживання

використовуються енергобаланси – система взаємопов’язаних показників, які відображають кількісну відповідність між надходженням та використанням усіх видів ПЕР певним об’єктом (виробничою дільницею, цехом, підприємством, галуззю, регіоном тощо).

Норми витрат енергії підлягають систематичному перегляду з урахуванням змін у технології виробництва. Якщо обсяги виробництва товарної продукції продовжують змінюватися, перегляду підлягає також організація виробництва з метою зменшення умовно-постійної складової питомих витрат ПЕР.

Відповідальність за розроблення і додержання норм витрат ПЕР на рівні підприємства, установи, організації несе керівник підприємства. Нормування питомих витрат ПЕР на підприємствах забезпечується енергетичними, технологічними або іншими службами залежно від специфіки виробництва. Працівники цих служб підлягають першочерговому матеріальному заохоченню за ефективне використання та економію енергії у рамках економічного механізму енергозбереження.

Основними методами нормування питомих витрат ПЕР були визначені розрахунково-аналітичний, експериментальний (дослідний) та комбінований методи [4, 12, 14]. Слід зазначити, що згідно з чинними в Україні нормативними документами використання будь-яких інших методів, зокрема для нормування енергоспоживання, є припустимим лише як виняток у випадку, якщо неможливо застосувати основні методи.

Однак, спираючись на практичний досвід, можна стверджувати, що з використанням основних методів з прийнятною достовірністю можна встановлювати норми питомої витрати енергії для окремих агрегатів або технологічних процесів. Але для груп різних споживачів енергії, якими є виробничо-господарські об’єкти, вирішити це завдання із застосуванням розрахунково-аналітичного або експериментального методів (чи їх комбінації) значно складніше, причому похибка отриманих результатів у цьому випадку зазвичай велика. Труднощі у разі застосування основних методів нормування

питомих витрат енергії для виробничо-господарських об'єктів наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Застосування основних методів нормування питомих витрат енергії на виробничо-господарських об'єктах [12]

Метод нормування енергоспоживання	Характеристика методу	Труднощі, що виникають при застосуванні методу
<i>Розрахунково-аналітичний метод нормування енергоспоживання</i>	Корисна складова витрати енергії і її втрати за всіма напрямками визначаються на підставі фізико-хімічних і емпіричних залежностей. Проте для більшої точності результатів окремі елементи втрат визначають експериментальним шляхом за допомогою приладів обліку. Конкретні умови експлуатації того або іншого агрегату враховують через введення у розрахунок численних поправочних коефіцієнтів	Застосування методу може бути обмеженим через відсутність необхідних фізико-хімічних або емпіричних залежностей між споживанням енергії і технологічними параметрами та через невідповідність цих залежностей конкретним видам устаткування або умовам його роботи (що характерно для сучасних вітчизняних виробництв, на яких дедалі частіше використовують імпортне обладнання, або застаріле обладнання працює у виробничих умовах та режимах, що суттєво змінилися).
<i>Експериментальний (дослідний) метод нормування енергоспоживання</i>	Передбачає визначення питомих витрат енергії для окремих агрегатів і технологічних процесів на основі їх енергобалансів та енергетичних характеристик, які отримують експериментальним шляхом у процесі спеціальних випробувань обладнання. Такі випробування провадять окремо для кожної одиниці обладнання чи технологічного процесу за кількох зафіксованих значень їх продуктивності, а також у прогресивних умовах експлуатації. При цьому параметри основного та відгалужених енергопотоків реєструють за допомогою спеціальних лабораторних приладів	Практичне застосування цього методу на виробничо-господарських об'єктах суттєво обмежене через потребу залучати велику кількість працівників відповідної кваліфікації та одночасно використовувати велику кількість вимірювальних приладів. Характеризується значними витратами часу на проведення експериментів, необхідністю виведення з роботи устаткування на час проведення його випробувань та проведення відповідних підготовчих робіт тощо

<i>Комбінований метод нормування енергоспоживання</i>	Є комбінацією розрахунково-аналітичного та експериментального методів нормування споживання енергії. Для використання цього методу корисну складову витрати енергії здебільшого визначають розрахунковим шляхом, а втрати енергії – розрахунковим та експериментальним способами	Застосування методу пов'язано з труднощами, що виникають у разі використання розрахунково-аналітичного і експериментального методів. У результаті застосування одночасно двох різних за точністю способів визначення корисної витрати і втрат енергії прибуткова та витратна частини балансів споживання енергії можуть суттєво розрізнятися
---	--	--

Таким чином, норми питомих витрат енергії, які встановлюються з використанням основних методів, з наведених у табл. 4.1 причин далеко не завжди відповідають конкретним технологічним параметрам операцій, зовнішнім умовам, технічному стану устаткування і якості його експлуатаційного обслуговування. Тому застосування таких норм здебільшого не дозволяє отримати об'єктивну оцінку ефективності використання енергії у виробництві.

Більш доцільним у зазначених умовах видається застосування ще одного відомого методу нормування питомих витрат ПЕР: розрахунково-статистичного. На використанні цього методу, зокрема, ґрунтується одна з методик нормування енергоспоживання, розроблена для вугільної промисловості [14]. Однак класичний розрахунково-статистичний метод не можна вважати придатним для встановлення технічно та економічно обґрунтованих норм питомих витрат енергії, оскільки він базується на аналізі фактичних даних, які відображають наявні, а не прогресивні умови виробництва.

4.3. Класифікація норм питомої витрати енергії. Основні вимоги до норм питомої витрати енергії

Класифікація норм питомої витрати енергії здійснюється за трьома основними ознаками [4, 6]:

- за ступенем агрегації;
- за складом витрат енергії;
- за періодом дії норм.

Залежно від ступеню агрегації (укрупнення, об'єднання) норми питомої витрати енергії підрозділяються на індивідуальні та групові. Традиційно цей принцип класифікації передбачав два рівні агрегації витрат енергії, які ототожнювалися з рівнями планування: індивідуальні норми встановлювалися на рівні промислових підприємств, їх підрозділів, окремих потужних агрегатів, а групові – на вищих рівнях планування (виробниче об'єднання, галузь промисловості тощо) [4, 6]. Проте практика вирішення завдань нормалізації енергоспоживання показала, що розподіл норм питомої витрати енергії в залежності від рівня планування не можна вважати доцільним, і виробила інший принцип розподілу норм – в залежності від об'єкту їх формування. При такому підході індивідуальні норми витрати енергії встановлюються для технологічних об'єктів, а групові – для господарських.

Таким чином, індивідуальною нормою називається норма витрати енергії на виробництво одиниці продукції (роботи), яка встановлюється для окремих енергоспоживаючих агрегатів, установок, машин, технологічних процесів або для їх типів у визначених умовах виробництва.

Груповою нормою називається норма витрати енергії, яка встановлюється для господарських об'єктів різних рівнів планування на виробництво одиниці однойменної продукції (роботи) у запланованих умовах виробництва.

Склад технологічних об'єктів для встановлення норм питомої витрати енергії не є універсальним, його потрібно визначати у кожному конкретному випадку окремо. Слід також сказати, що завдання встановлення індивідуальних норм питомої витрати енергії з багатьох причин є найбільш складним в усьому процесі нормалізації енергоспоживання. Найпростіше індивідуальні норми

витрати енергії визначаються у конкретних умовах виробництва. Проте часто виникає потреба мати технічно обґрунтовані норми за типами агрегатів на вищих рівнях планування. У зв'язку з цим в окремих випадках розробляються індивідуальні галузеві норми, що визначаються для середніх умов виробництва у галузі.

Склад господарських об'єктів є більш універсальним, оскільки визначається типовими схемами управління економікою. При цьому для кожного господарського об'єкту будь-якого рівня планування групова норма включає витрати енергії, пов'язані з виробництвом даного виду продукції (роботи) групою відповідних технологічних об'єктів, що і визначає назву цієї норми.

Таким чином, якщо усі види норм питомої витрати енергії за своєю сутністю є техніко-економічними показниками, то індивідуальні норми ближче до технічних показників, а групові – до економічних.

Залежно від складу витрат енергії норми поділяються на технологічні і загальновиробничі [4, 6].

Технологічною називається норма питомої витрати енергії, яка враховує витрати і втрати енергії, пов'язані зі здійсненням основних або допоміжних технологічних процесів виробництва даного виду продукції або роботи.

Загальновиробничою називається норма питомої витрати енергії, яка враховує не лише витрати енергії на технологічні процеси, але також і витрати та втрати енергії на допоміжні потреби виробництва, і втрати енергії в процесах її перетворення, передачі і розподілу, віднесені на виробництво цієї продукції або роботи.

Таким чином, індивідуальні норми питомої витрати енергії за своєю сутністю є технологічними, а групові норми можуть бути як технологічними, так і загальновиробничими.

Як індивідуальні, так і групові норми питомої витрати енергії (відповідно і технологічні, і загальновиробничі) можуть бути диференційованими або укрупненими. Диференційовані норми відносяться до окремих видів продукції,

її сортів або типорозмірів. Укрупнені норми встановлюються у вигляді усереднених величин для груп продукції різного сорту або типорозміру.

Залежно від того, до якої продукції вони відносяться (до продукції цеху чи до готової продукції підприємства), і які витрати та втрати енергії включають, як технологічні, так і загальновиробничі норми (і диференційовані, і укрупнені) поділяються на цехові і заводські.

Досить очевидно, що оскільки загальновиробничі норми включають витрати і втрати енергії, тією або іншою мірою умовно віднесені на виробництво даної продукції, вони не мають такої високої наукової обґрунтованості, яку мають технологічні норми.

Залежно від періоду дії норми питомої витрати енергії прийнято поділяти на річні і квартальні. Період дії норм питомої витрати енергії, що дорівнює одному року, пов'язаний з традиційним періодом планування, який є прийнятим на усіх рівнях управління економікою. Крім того, витрата енергії у споживачів, здебільшого, істотно залежить від кліматичних умов, які змінюються впродовж року. Тому визначаються також норми питомої витрати енергії, період дії яких складає один квартал. Проте на підприємствах можуть встановлюватися норми питомої витрати енергії і на коротші періоди часу (наприклад, на місяць), можуть застосовуватися також норми питомої витрати енергії, період дії яких не пов'язаний з певними плановими або календарними періодами часу. Такі норми встановлюються з метою оперативного управління енергоспоживанням.

Таким чином, вище наведена класифікація норм питомої витрати енергії для більшої наочності може бути представлена у вигляді наступної схеми (рис. 4.2).

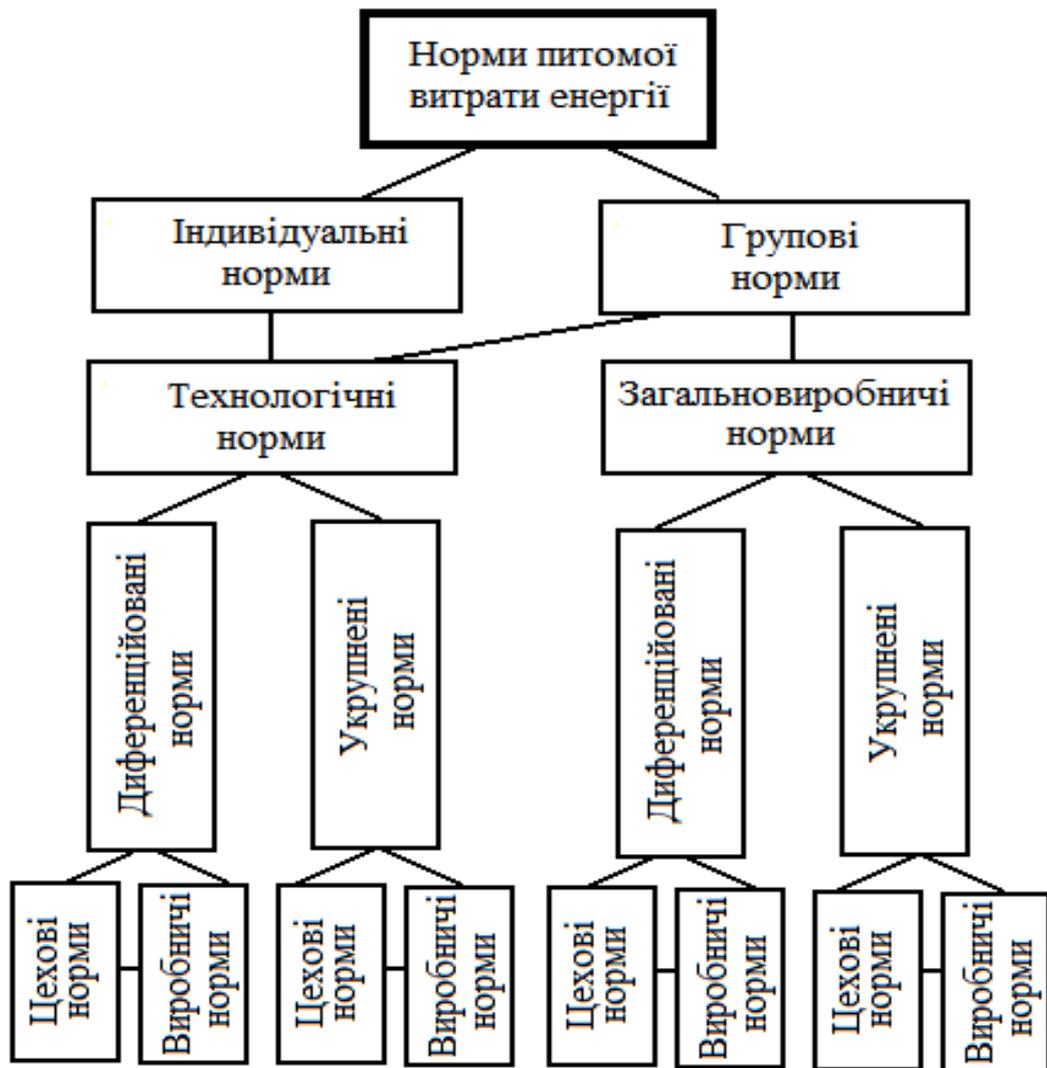


Рис. 4.2 – Види норм питомої витрати енергії

Не дивлячись на різноманітність видів норм питомої витрати енергії, до усіх без виключення норм висуваються практично однакові вимоги. Основні з цих вимог визначають, що норми питомої витрати енергії повинні [4]:

- бути технічно і економічно обґрунтованими;
- розроблятися на єдиній методичній основі для всіх рівнів планування і для всіх видів чи сортів виробленої продукції або для всіх видів виконаних робіт у галузі, на підприємстві чи у його підрозділі;
- враховувати конкретні умови виробництва, досягнення науково-технічного прогресу у відповідній галузі, а також плани організаційно-технічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності використання енергії;

– систематично переглядатися у зв'язку зі зміною технологічного і енергетичного устаткування, його технічного стану, технології і організації виробництва, а також інших чинників, що суттєво впливають на споживання енергії;

– сприяти максимальній мобілізації внутрішніх резервів економії енергії і підвищенню ефективності її використання.

Запитання для самоперевірки

1. Поясніть значення, мету та задачі нормалізації енергоспоживання у промисловості.
2. Розкрийте сутність поняття «норма питомої витрати енергії».
3. Охарактеризуйте нормалізацію енергоспоживання як елемент системи управління ефективністю енерговикористання.
4. Проаналізуйте основні методи нормування питомих витрат енергії на виробничо-господарських об'єктах
5. Наведіть класифікацію норм питомої витрати енергії.
6. Опишіть основні вимоги до норм питомої витрати енергії.

Тема 5. Склад норм питомої витрати енергії. Вибір одиниць вимірювання обсягу виробництва для розрахунку та нормалізації питомих витрат енергії

5.1. Поняття про склад норм питомої витрати енергії. Склад технологічних та загальновиробничих норм питомої витрати енергії.

5.2. Витрати та втрати енергії, які не включаються до складу норм питомої витрати енергії.

5.3. Вибір одиниць вимірювання обсягу виробництва для розрахунку та нормалізації питомих витрат енергії.

5.1. Поняття про склад норм питомої витрати енергії. Склад технологічних та загальновиробничих норм питомої витрати енергії

Під складом норм розуміють перелік статей витрат та втрат енергії, які необхідно враховувати при встановленні норм питомої витрати енергії на виробництво даної продукції або на виконання роботи [6].

Для вирішення задачі нормалізації енергоспоживання треба точно знати, які витрати та втрати енергії слід включати до складу відповідних норм, а які – ні. У зв'язку з цим, передусім, необхідно пам'ятати, що нормуються усі витрати енергії, не залежно від обсягу її споживання і джерел енергопостачання. Крім того, важливо забезпечити, щоб склад норм питомої витрати енергії встановлювався на єдиній методичній основі і відображав дійсну енергоемність виробництва (що вже було зазначено у вимогах до норм питомої витрати енергії, наведених у попередній лекції). Тому, незважаючи на «індивідуальний» підхід до вирішення задачі нормалізації енергоспоживання на кожному окремому підприємстві, треба усвідомлювати, що довільна зміна складу норм питомої витрати енергії в процесі їх встановлення є неприпустимою, оскільки це призводить до спотворення об'єктивної оцінки ефективності

енерговикористання на підприємстві і, тим самим, не дозволяє приймати правильні рішення щодо напрямів та шляхів її підвищення.

Безумовно, склад норм питомої витрати енергії є специфічним для різних галузей виробництва і навіть для окремих підприємств. Тому склад норм повинен регламентуватися, передусім, галузевими методиками і інструкціями з нормалізації енергоспоживання. Проте існують певні міжгалузеві правила, на основі яких може бути встановлений універсальний склад норм питомої витрати енергії, що відповідає будь-якій галузі промисловості [4, 6].

На будь-якому підприємстві склад технологічних норм питомої витрати енергії (індивідуальних або групових) може бути представлений у вигляді:

$$d_T^H = \frac{W_{Т.П.} + W_{ПУСК.Т.} + W_{ВТР.Т.}}{Q}, \quad (5.1)$$

де d_T^H – технологічна норма питомої витрати енергії (цехова або заводська); $W_{Т.П.}$ – витрати енергії на основні і допоміжні технологічні процеси виробництва продукції або виконання роботи (окремим агрегатом, у цеху або на підприємстві в цілому); $W_{ПУСК.Т.}$ – витрата енергії на підтримку технологічних агрегатів у «гарячому» резерві, а також на їх пуски і розігрівання після планових ремонтів і «холодних» простоїв; $W_{ВТР.Т.}$ – технічно неминучі втрати енергії у технологічних агрегатах; Q – обсяг виробництва продукції (окремим агрегатом, цехом або підприємством в цілому).

Склад загальновиробничих цехових норм витрати енергії можна представити залежністю:

$$d_{з.ц.}^H = \frac{W_{Т.} + W_{ДОП.Ц.} + W_{ВТР.Ц.}}{Q_{Ц}}, \quad (5.2)$$

де $d_{3.Ц}^H$ – загальнови­роб­ни­ча цехова норма питомої витрати енергії; W_T – витрати та втрати енергії, що входять до складу цехової технологічної норми; $W_{доп.Ц}$ – витрати та втрати енергії на допоміжні потреби цеху (на опалювання, освітлення, вентиляцію, на внутрішньоцеховий транспорт, цехові ремонтні майстерні, на господарчо-побутові і санітарно-гігієнічні потреби цеху тощо); $W_{втр.Ц}$ – технічно неминучі втрати енергії у внутрішньоцехових мережах і перетворювачах; $Q_Ц$ – обсяг виробництва продукції цехом.

Технологічні і загальнови­роб­ни­чі цехові норми витрат ПЕР використовуються для визначення потреби в паливі, теплової й електричної енергії на виробництво продукції окремими цехами та контролю за раціональним їх використанням.

Склад загальнови­роб­ни­чих заводських норм питомої витрати енергії може бути представлений:

$$d_{3.з.}^H = \frac{W_{3.Ц.} + W_{3.АГ.з.} + W_{3.ВТР.з.}}{Q_3}, \quad (5.3)$$

де $d_{3.з.}^H$ – загальнови­роб­ни­ча заводська норма питомої витрати енергії; $W_{3.Ц.}$ – витрати та втрати енергії, що входять до складу загальнови­роб­ни­чих цехових норм; $W_{3.АГ.з.}$ – витрати та втрати енергії на загальнозаводські допоміжні потреби (на виробництво стисненого повітря, холоду, кисню, азоту, на водопостачання підприємства, 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 тощо); $W_{3.ВТР.з.}$ – технічно неминучі втрати енергії в заводських мережах і перетворювачах (до цехових трансформаторів або розподільчих пристроїв); Q_3 – обсяг виробництва продукції підприємством в цілому.

Загальнозаводські норми використовуються для визначення потреби підприємства в енергоресурсах, контролю за зміною енергоємності виробництва (енергоскладової у собівартості одиниці продукції).

При вирішенні 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 та інші допоміжні потреби виробництва.

5.2. Витрати та втрати енергії, які не включаються до складу норм питомої витрати енергії

При визначенні норм питомої витрати енергії необхідно також пам'ятати, що до їх складу не включаються витрати та втрати енергії, викликані відступом від прийнятої технології виробництва, від встановлених режимів роботи устаткування, пов'язані з недодержанням вимог до якості сировини, матеріалів та інші нераціональні витрати енергії. До норм питомої витрати енергії на виробництво продукції не включаються також витрати та втрати 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 (населеним пунктам, їдальням, клубам, дитячим дошкільним установам тощо) [6].

До того ж, якщо підприємство, окрім основної продукції, випускає напівфабрикати для реалізації іншим організаціям або другорядну продукцію, витрати та втрати енергії на їх виробництво також не включаються до норм питомої витрати енергії на виробництво основної продукції або виконання основної роботи. Споживання енергії на кожну з цих потреб має бути нормалізоване окремо.

Таким чином, підводячи підсумки, ще раз слід звернути увагу на те, що на будь-якому промисловому підприємстві для всебічної і повної оцінки

ефективності використання енергії необхідно встановити норми питомої її витрати не лише на випуск основної продукції, але також окремо на енергоємні допоміжні потреби виробництва, на капітальне будівництво і ремонт будівель, споруд, на виробництво напівфабрикатів для реалізації другорядної продукції тощо. Іншими словами, необхідний рівень ефективності енерговикористання має встановлюватись практично для усіх напрямів виробничо-господарської діяльності підприємства. Очевидно, що проведення такого величезного обсягу робіт з нормалізації енергоспоживання пов'язане з певними методичними труднощами, а також зі значними витратами робочого часу працівників енергетичної та інших служб підприємства.

5.3. Вибір одиниць вимірювання обсягу виробництва для розрахунку та нормалізації питомих витрат енергії

Вибір одиниці вимірювання обсягу виробництва продукції або роботи є дуже важливим питанням, що виникає при вирішенні задачі нормалізації енергоспоживання. Від правильності вибору цих одиниць значною мірою залежить можливість контролю виконання встановлених норм питомої витрати енергії, а також аналізу ефективності енерговикористання [4, 6].

Визначаючи одиниці вимірювання обсягу виробництва продукції, які будуть використовуватись для встановлення норм питомої витрати енергії, необхідно враховувати наступні рекомендації.

Показник обсягу виробництва продукції, по відношенню до якого встановлюється норма питомої витрати енергії, повинен відповідати одиницям вимірювання, що застосовуються при плануванні і обліку випуску продукції на підприємстві чи у його підрозділі. Такий показник має бути максимально простим (тобто просто обчислюватися), але, в той же час, якнайточніше відображати енергоємність відповідної продукції [6].

При виборі одиниць вимірювання обсягу виробництва продукції, що використовуватимуться для розрахунку норм питомої витрати енергії, перевагу

слід віддавати натуральним показникам, оскільки на практиці спостерігається деяка більш-менш стійка статистична залежність між обсягом продукції у натуральному вимірюванні і витратами енергії на її виробництво. Отже, диференційовані норми питомої витрати енергії слід визначати тільки по відношенню до натуральних показників випуску продукції. При встановленні індивідуальних норм питомої витрати енергії такої вимоги легко можна дотримуватися. Значно складніше забезпечити її виконання при встановленні групових норм питомої витрати енергії.

У галузях промисловості, що випускають однорідну продукцію при невеликій кількості технологічних операцій, облік випуску продукції у натуральному вимірюванні на усіх рівнях планування не викликає ускладнень (наприклад, на підприємствах гірничорудної або електрометалургійної промисловості). Тут групові норми питомої витрати енергії також легко можуть бути визначені на одиницю кінцевої продукції у натуральному вимірюванні (наприклад, на тонну вугілля, руди, алюмінію тощо).

Не викликає значних ускладнень віднесення витрат енергії до готової продукції в натуральному вимірюванні і на підприємствах, що випускають декілька видів продукції при невеликому числі технологічних операцій (виробництво чавуну, сталі, кольорових металів, нафтопродуктів, цементу, паперу, а також на підприємствах текстильної і деяких харчової промисловості). На таких підприємствах, а також у виробництвах, що випускають однорідну продукцію, але різних сортів або типорозмірів, доцільно використовувати так звані приведені (умовні) одиниці вимірювання випуску продукції, які виражені в натуральних одиницях, але приведені за енергоємністю до одного сорту або типорозміру продукції (наприклад, умовна пара взуття або умовна банка консервів).

В деяких випадках, витрату енергії буває доцільно відносити не до одиниці готової продукції, а до одиниці первинної сировини або матеріалу (наприклад, до тони руди, нафти або перероблюваного металу). Іноді, доцільнішим виявляється віднесення витрат енергії до ваги основної сировини або матеріалу,

що входить до складу готової продукції (наприклад, до ваги міді в кабельній продукції).

У виробництвах, що випускали продукцію широкого і нестійкого асортименту, при великій різноманітності технологічних операцій (підприємства машинобудування, приладобудування, легкої промисловості та ін.), застосування натуральних одиниць продукції при розрахунку і нормалізації питомої витрати енергії викликають великі ускладнення. Тому в машинобудівних галузях промисловості, в будівництві, ремонтних і експериментальних виробництвах, а також на рівні виробничих об'єднань, міністерств і відомств, коли практично неможливо вибрати єдиний показник продукції в натуральних або умовних одиницях, норми питомої витрати енергії встановлюються на одиницю продукції, виражену у вартісному вимірюванні. Проте при цьому на таких підприємствах для енергоємних процесів (ливарне та ковальське виробництво, термообробка, електрозварювання, виробництво стисненого повітря, водопостачання тощо) одночасно повинні встановлюватися норми питомої витрати енергії на виробництво одиниці кожного з зазначених енергоємних видів продукції (роботи) у натуральному виразі.

Практика нормалізації енергоспоживання свідчить, що норми питомої витрати енергоресурсів, визначені по відношенню до випуску продукції у вартісному вимірюванні, мають набагато нижчу обґрунтованість, у порівнянні з нормами, встановленими по відношенню до натуральних показників виробництва, і часто не сприяють вирішенню завдань енергозбереження (зокрема, не дозволяють об'єктивно оцінювати рівень ефективності використання енергії у виробництві). Тому норми питомої витрати енергії, встановлені на одиницю продукції у вартісному виразі, слід використовувати лише в крайньому випадку. Проте при цьому слід пам'ятати, що навіть таке наближене вирішення задачі нормалізації енергоспоживання є кращим, ніж повна його відсутність.

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.

Тема 6. Нормалізація питомих витрат енергії для технологічних об'єктів

6.1. Методичні засади нормування витрат енергії.

6.2. Алгоритм встановлення диференційованих індивідуальних норм питомої витрати енергії.

6.3. Встановлення укрупнених індивідуальних норм питомої витрати енергії.

6.4. Розробка наскрізних норм питомих витрат ПЕР.

6.1. Методичні засади нормування витрат енергії

Основними вхідними даними для визначення норм питомих витрат енергії є:

– первинна технологічна документація (технологічні регламенти та інструкції);

– параметри сировини (матеріалів);

– паспортні дані технологічного та енергетичного обладнання;

– стандарти з енергозбереження;

– міжгалузеві, галузеві та регіональні норми витрат;

– енергобаланси та енергетичні характеристики технологічного і енергетичного обладнання (заводські або визначені у процесі його експлуатації);

– нормативні показники, що характеризують найбільш раціональні та енергетично ефективні умови виробництва (коефіцієнт використання потужності, показники витрат енергоносіїв та втрат енергії під час передачі та перетворення, санітарні норми, теплові характеристики приміщень тощо);

– дані про асортимент та обсяги виробництва продукції;

– дані про планові та фактичні питомі витрати ПЕР за минулі періоди, а також акти перевірок використання палива та енергії;

– дані про досвід з економії та раціонального використання ПЕР на вітчизняних та зарубіжних об'єктах, що випускають аналогічну продукцію;

– плани організаційно-технічних заходів з економії ПЕР [4, 6].

Нормування витрат ПЕР здійснюється на основі:

- охоплення всіх елементів і статей витрат палива і енергії;
- врахування прийнятої на підприємстві (організації) системи обліку і контролю за енергоспоживанням;
- забезпечення методичної єдності формування норм і нормативів для різних рівнів планування і управління;
- забезпечення наукової і практичної обґрунтованості і прогресивності норм і нормативів на основі максимального врахування в них досягнень науки і техніки, передових методів організації виробництва і праці;
- забезпечення формування нормативної бази для всіх етапів планування та управління виробництвом;
- забезпечення систематичного перегляду і корегування норм.

Норми питомих витрат ПЕР повинні:

- ґрунтуватись на планах організаційно-технічних заходів, направлених на підвищення ефективності використання ПЕР;
- враховувати конкретні умови виробництва, досягнення науки і техніки;
- сприяти мобілізації резервів економії ПЕР у суспільному виробництві;
- забезпечувати умов для стимулювання енергозбереження.

Визначення норм питомих витрат ПЕР на підприємствах включають такі *основні етапи* [4, 6]:

1. Визначається склад технологічних процесів і операцій по виробництву кожного виду продукції (роботи, послуги), на виробництво яких використовуються енергоресурси.

2. Визначаються одиниці виміру продукції (роботи, послуги). Вони мають відповідати діючим на підприємстві плановим, нормативним документам та статистичній звітності.

3. Визначаються основні цехи, ділянки, агрегати, споживання електричної та теплової енергії яких повністю відноситься на виробництво даного конкретного виду продукції (або на його номенклатурного представника – аналога).

4. Визначаються цехи, ділянки, агрегати, споживання енергії яких розподіляється пропорційно послуг, наданих на виробництво декількох видів продукції (робіт, послуг). Визначення і розподіл об'ємів енергоспоживання може виконуватись за рахунок фактично витраченої енергії на виробництво конкретного виду продукції, або на основі диференційованого аналізу об'ємів енергоспоживання (відповідно до структури енерговикористання за окремими технологічними процесами і операціями). (Можливе також визначення частки споживаного енергоресурсу на виробництво конкретного виду продукції (роботи, послуги) на основі вартісного підходу до розподілу енергоресурсів.)

5. Розробляються матеріальні баланси визначеної продукції, на які розробляються норми витрат ПЕР. (Матеріальний баланс будується на основі діючої на підприємстві нормативної бази витрат матеріальних ресурсів.)

6. Визначається перелік устаткування, яке приймає участь в виробництві конкретної продукції.

7. Визначається схема розрахунку технологічної та загальновиробничої норми питомої витрати енергоресурсів на виробництво продукції (робіт, послуг) за номенклатурою на основі встановлення устаткування, енергоспоживання якого формує технологічні та допоміжні витрати ПЕР.

8. Розробляється схема підготовки вихідних даних для розрахунків норм питомих витрат ПЕР, проводиться збір даних та розрахунки норм питомих витрат ПЕР.

9. Всі розрахунки витрат електроенергії виконуються за показниками виробництва в попередньо визначену «характерну (умовну)» добу, як таку, в якій обсяг споживання ПЕР дорівнює середньому за звітний період.

Методи розробки норм питомих витрат ПЕР [4, 12, 14]

Основним методичним принципом формування норм для різних рівнів управління є їх послідовна агрегація (укрупнення) знизу догори. Норми питомих

витрат ПЕР визначаються прямим розрахунком з урахуванням рівня фактично досягнутих норм.

Норми витрат ПЕР можуть бути визначені за допомогою таких методів:

- розрахунково-аналітичний;
- експериментальний (дослідний);
- розрахунково-статистичний;
- комбінований.

Розрахунково-аналітичний метод передбачає визначення норм питомих витрат ПЕР шляхом обчислення виробничого споживання їх за статтями витрат на основі прогресивних показників використання у виробництві, а також запланованих заходів з економії ПЕР.

Експериментальний (дослідний) метод полягає у визначенні норм на підставі даних, одержаних в результаті випробувань технологічного та енергетичного обладнання (експериментальних вимірювань) з урахуванням запланованих заходів з економії ПЕР.

Випробування повинні бути повними, тобто одночасно охоплювати як основне обладнання, так і допоміжні механізми, режими роботи яких повинні відповідати оптимальним, а параметри підведеної енергії – нормативним. При цьому технологічний процес повинен проводитись згідно з відповідними технологічними інструкціями (регламентами) та режимними картами.

Розрахунково-статистичний метод полягає у визначенні питомих норм на основі використання статистичних даних про фактичні витрати ПЕР та про значення чинників, що впливають на величину їх питомих витрат у виробництві, з урахуванням прогресивних показників ефективності використання ПЕР, досягнутих на подібних виробництвах, а також запланованих заходів з економії ПЕР.

Комбінований метод поєднує у собі експериментальний (дослідний) та розрахунково-аналітичний методи визначення норм питомих витрат ПЕР.

Технічно обґрунтовані індивідуальні норми витрат ПЕР встановлюються розрахунково-аналітичним або комбінованим методами.

Групові норми питомих витрат ПЕР визначаються, як правило, розрахунково-аналітичним методом як середньозважені групові показники на підставі індивідуальних норм і відповідних обсягів виробництва одноіменної продукції та розрахунково-статистичним методом.

В окремих випадках групові норми витрат ПЕР можуть встановлюватись на плановий період (рік, квартал та ін.), виходячи з відповідних фактичних витрат базисного періоду з урахуванням досягнутих прогресивних показників питомих витрат ПЕР, а також запланованих заходів з їх економії.

6.2. Алгоритм встановлення диференційованих індивідуальних норм питомої витрати енергії

Нормалізація енергоспоживання технологічних об'єктів має ряд особливостей, перш за все, залежно від режиму роботи енерговикористовуючих агрегатів. Таким чином, індивідуальні норми питомої витрати енергії встановлюються на одиницю натуральної продукції на основі нормалізації режимів роботи обладнання, побудови, аналізу і нормалізації енергетичних балансів, а також на основі побудови у необхідних випадках нормалізованих енергетичних характеристик агрегатів [4].

Витрата енергії на виконання технологічних операцій складається з:

- витрати енергії стаціонарного режиму, що містить корисну складову і втрати енергії стаціонарного режиму (втрати холостого ходу і втрати навантажень);
- додаткових пускових витрат і втрат енергії нестаціонарного режиму, пов'язаних із зупинками, простоями і пусками обладнання.

Відповідно індивідуальна норма питомої витрати енергії складається з двох складових. Перша з них визначається нормалізованим енергетичним балансом або нормалізованою енергетичною характеристикою агрегату, а друга нормалізується окремо.

Процес встановлення диференційованих індивідуальних норм питомої витрати енергії можна подати у вигляді такого алгоритму [4, 6]:

1. Аналізується структура побудованих фактичних енергобалансів агрегату (технологічної операції). Проводиться оцінка витрати енергії стаціонарного режиму (корисної складової, безповоротних втрат енергії за їх елементами, можливими до використання вторинних енергоресурсів). Виявляються чинники, що впливають на величину кожної статті енергобалансу (продуктивність агрегату, технологічні й енергетичні параметри операції, вигляд і якість сировини або оброблюваного матеріалу, тривалість допоміжного часу – для обладнання циклічної дії та ін.).

2. Встановлюється функціональна залежність між елементами енергобалансу агрегату (операції) і показниками, що характеризують дію кожного зі встановлених чинників.

3. На основі оцінки втрат енергії і плану організаційно-технічних заходів щодо вдосконалення виробничого процесу та економії енергії нормалізуються на технічно обґрунтованому, прогресивному рівні продуктивність агрегату, технологічні й енергетичні параметри операції, елементи допоміжного часу (для обладнання циклічної дії) та ін.

4. Відповідно прийнятим нормалізованим значенням параметрів, технологічної операції корегуються статті фактичного енергобалансу для максимальної продуктивності агрегату. На цій основі формується нормалізований енергобаланс, а за ним встановлюється перша зі складових норми питомої витрати енергії – складова стаціонарного режиму роботи обладнання.

5. Якщо передбачається можливість роботи агрегату зі змінним навантаженням, то на основі побудови ряду нормалізованих енергобалансів, установлених для різної продуктивності агрегату, визначаються нормалізовані характеристики його підведеної потужності і питомої витрати енергії. У цьому випадку перша складова норми питомої витрати встановлюється за нормалізованою характеристикою питомої витрати для середньої

продуктивності, заданою програмою випуску продукції на відповідний період часу.

6. Для встановлення другої складової норми питомої витрати енергії аналізується величина додаткових пускових витрат і втрат енергії нестационарного процесу за один цикл зупинки, простою і пуску агрегату. На основі оцінки можливого зниження цих витрат і втрат встановлюють їх нормалізовані значення (норми) для різної тривалості простою обладнання.

7. Встановлюється графік роботи агрегату у змінному, добовому і місячному розрізах. На цій основі визначається нормалізоване число циклів зупинка-простій-пуск агрегату у даному календарному періоді часу (окремо за циклами з різною тривалістю простою обладнання).

8. За нормами додаткових витрат і втрат енергії на один цикл зупинка-простій-пуск агрегату (п.6 алгоритму) розраховуються сумарні нормалізовані пускові витрати і втрати енергії нестационарного режиму роботи обладнання, які відносяться до сумарного випуску продукції за відповідний період часу, визначають їх питому величину – другу складову норми питомої витрати енергії агрегату.

9. Повна норма питомої витрати енергії агрегату на дану технологічну операцію визначається складанням обох її складових, встановлених згідно із п. 4 і 8 алгоритму.

6.3. Встановлення укрупнених індивідуальних норм питомої витрати енергії

Для кожного агрегату можна встановити стільки диференційованих індивідуальних норм питомої витрати енергії, скільки сортів або типорозмірів продукції він випускає. Тому при значній номенклатурі і нестійкому асортименті виробленої продукції використовувати велику кількість диференційованих норм стає незручно. У таких випадках для оцінки та аналізу ефективності

енергоспоживання агрегату доцільно застосовувати укрупнені норми питомої витрати енергії. Такі норми можуть встановлюватися [4, 6]:

- на одиницю приведеної продукції;
- за групами продукції різної енергоємності.

Для встановлення укрупненнях норм питомої витрати енергії на одиницю приведеної продукції потрібно виявити такі показники, які однозначно характеризували б енергоємність кожного сорту або типорозміру продукції (такі показники носять назву показників асортименту). Питома витрата енергії для кожного сорту продукції знаходиться у прямо- або оберненопропорційній залежності від чисельного значення прийнятого показника асортименту. Іноді цю умову задовольняють показники, що використовуються безпосередньо для обліку виробництва продукції (наприклад, номер пряжі в текстильному виробництві). В інших випадках показники асортименту продукції встановлюються на основі технологічних параметрів (наприклад, середня вага поковок у ковальському виробництві або середня вага міді в 1 км кабелю в кабельно-провідниковому виробництві). Аналогічні, цілком придатні для зазначених цілей показники асортименту встановлюються за багатьма видами продукції у хімічній, паперовій, харчовій та інших галузях промисловості [4, 6].

Умова прямопропорційної залежності питомої витрати енергії числових значень вибраного показника асортименту продукції виражається такою рівністю:

$$\frac{d_{0_1}}{S_1} = \frac{d_{0_2}}{S_2} = \dots = \frac{d_{0_n}}{S_n} = \text{const} = d_{0_{\text{пр}}} , \quad (6.1)$$

де d_{0_1}, \dots, d_{0_n} – середньокалендарна питома витрата енергії на одиницю кожного сорту або типорозміру продукції; S_1, \dots, S_n – числові значення показника асортименту продукції; $d_{0_{\text{пр}}}$ – питома витрата енергії на одиницю найменш енергоємного сорту або типорозміру продукції.

Умова оберненопропорційної залежності питомої витрати енергії від значень прийнятого показника асортименту виражається таким рівнянням:

$$d_{0_1} S_1 = d_{0_2} S_2 = \dots = d_{0_n} S_n = \text{const} = d_{0_{\text{пр}}} \quad (6.2)$$

При використанні для нормалізації енергоспоживання відповідного показника асортименту загальний обсяг випуску продукції агрегатом виражають в одиницях, приведених до найменш енергоємного її сорту або типорозміру. Тоді для оцінки та аналізу ефективності використання енергії агрегатом досить мати тільки одну укрупнену норму питомої витрати енергії на одиницю найменш енергоємного сорту продукції. Обсяг випущеної продукції всіх сортів або типорозмірів агрегатом визначається у приведених одиницях, що обчислюються як добуток або часткове від ділення кількості продукції кожного сорту у натуральному вимірі на значення прийнятого показника асортименту (відповідно при прямо- або оберненопропорційній залежностях між питомою витратою енергії і значеннями показника асортименту продукції).

Приклад.

Для агрегату по виробництву пряжі встановлені такі диференційовані індивідуальні норми питомої витрати електроенергії:

- для пряжі №2 – 68,4 кВт·год/т;
- для пряжі №5 – 170,5 кВт·год/т;
- для пряжі №12 – 411,4 кВт·год/т.

Співставляючи ці значення норм з відповідними їм номерами пряжі, можна припустити, що між цими величинами існує прямопропорційна залежність. Перевіримо це припущення, використовуючи рівність (6.1):

$$\frac{68,4}{2} = 34,2; \quad \frac{170,5}{5} = 34,1; \quad \frac{411,4}{12} = 34,3 \text{ кВт·год на тоннономер пряжі.}$$

Отримані питомі витрати електроенергії несуттєво відрізняються між собою. Отже, номер пряжі може використовуватися як показник асортименту продукції. Тоді укрупнена індивідуальна норма витрати електроенергії для

даного агрегату встановлюється як середнє з отриманих значень питомої витрати, тобто у розмірі 34,2 кВт·год/тоннономер пряжі.

Припустимо, що існує виробнича програма випуску пряжі даним агрегатом на наступний місяць:

- пряжа №1 – 200 т;
- пряжа №6 – 30 т;
- пряжа №14 – 20 т.

Тоді приведена випущена продукція агрегатом за відповідний місяць складатиме:

$$200 \cdot 1 + 30 \cdot 6 + 20 \cdot 14 = 660 \text{ тоннономерів.}$$

Нормалізована витрата електроенергії на виконання агрегатом вказаної виробничої програми буде рівна:

$$660 \cdot 34,2 = 22572 \text{ кВт·год/міс.}$$

Порівнюючи величину фактичного електроспоживання агрегату за той же період часу, можна зробити цілком обґрунтований висновок про рівень ефективності використання електричної енергії на даному агрегаті.

Усе вище сказане стосується операцій, за якими для кожного сорту або типорозмірів продукції незалежно від значення відповідної середньокалендарної продуктивності, агрегату питома витрата енергії може бути встановлена як стала величина. При безперервній роботі обладнання зі змінною продуктивністю повна питома витрата енергії змінюватиметься залежно від навантаження агрегату. У цьому випадку все вищезазначене про встановлення укрупнених індивідуальних норм стосується не повної, а часткової питомої витрати енергії з кожного виду або сорту продукції. Укрупнена норма повної питомої витрати енергії може бути визначена за формулою:

$$d_{0_{np}} = \frac{k_n P_{x.x}}{A_{0_{np}}} + d_{ч_{np}}, \quad (6.3)$$

де k_n – відносна тривалість безперервної роботи обладнання в даному періоді часу; $P_{x,x}$ – потужність холостого ходу агрегату; $d_{ч_п}$ – часткова питома витрата енергії на одиницю приведеної продукції; $A_{0_п}$ – середньокалендарна продуктивність агрегату в одиницях приведеної продукції, яка задана виробничою програмою.

Укрупнені індивідуальні норми питомої витрати енергії за групами продукції різної енергоємності встановлюють у тих випадках, коли не вдається підібрати відповідний показник асортименту, який задовольняв би умови (6.1) або (6.2). При використанні даного способу визначення укрупнених індивідуальних норм питомої витрати енергії вся номенклатура виробленої продукції агрегатом розбивається на декілька інтервалів за енергоємністю. Для кожного інтервалу, тобто групи видів або сортів продукції, встановлюється середнє значення питомої витрати енергії. Це дає можливість визначити величину середньозваженої питомої витрати енергії на одиницю загального випуску агрегатом продукції всіх видів або сортів. Питома витрата енергії зважується не за випуском кожного сорту або типорозміру продукції відокремлено, а за випуском встановлених для агрегату груп продукції:

$$d_{0_п} = a_1 d_{0_1} + a_2 d_{0_2} + \dots + a_n d_{0_n}, \quad (6.4)$$

де d_{0_1}, \dots, d_{0_n} – середні питомі витрати енергії, встановлені для кожної групи видів або сортів продукції; a_1, \dots, a_n – питома вага випуску продукції кожної з груп, сортів або типорозмірів продукції в загальній виробничій програмі агрегату.

У разі безперервної роботи обладнання із змінною продуктивністю все вищезазначене, як і в попередньому методі, стосується часткових питомих витрат енергії, встановлених для кожної з груп продукції. У цьому випадку укрупнена індивідуальна норма повної питомої витрати енергії по агрегату визначається:

$$d_{0_{cp}} = \frac{k_n P_{x.x}}{A_0} + d_{ч_{cp}}, \quad (6.5)$$

де $d_{ч_{cp}}$ – середньозважена часткова питома витрата енергії, визначеної на підставі залежності (6.4); A_0 – середньокалендарна продуктивність агрегату із загального випуску продукції у натуральному вимірюванні згідно з виробничою програмою.

При використанні даного способу встановлення укрупнених індивідуальних норм питомої витрати енергії важливе значення має правильне розбиття всієї номенклатури продукції агрегату на групи (інтервали) за енергоємністю. Встановлення числа груп і розбиття продукції на групи здійснюються на основі:

- аналізу зміни фактичного асортименту продукції агрегату за достатньо тривалий період часу (півроку, рік);
- оцінки максимальної похибки, яка мала місце для найбільшої з груп видів або сортів продукції при укрупненому розрахунку середньозваженої питомої витрати енергії.

Необхідно пам'ятати, що зменшення числа груп продукції дозволяє спростити подальші розрахунки, але збільшує похибку, що викликана усереднюванням питомих витрат енергії у межах кожної групи.

6.4. Розробка наскрізних норм питомих витрат ПЕР

За складністю розрахунку наскрізних норм витрат підприємства, згідно з методикою, поділяються на [4, 6]:

- підприємства з простим технологічним циклом, які мають одну-дві технологічні стадії переробки продукції; для них витрати енергоресурсів визначаються за калькуляцією;
- підприємства з складною технологією, які характеризуються багатостадійністю процесу і великою кількістю допоміжних виробництв; такі

підприємства мають допоміжні цехи і ділянки, які поставляють до основних виробництв власну продукцію у вигляді напівфабрикатів і послуг, а також похідні енергоносії (гаряча вода і пара, дуття, стиснене повітря, кисень, вода, азот, аргон тощо); це особливо характерно для підприємств металургії, хімії, окремих підгалузей машинобудівної промисловості та деяких інших.

Для розрахунку наскрізних норм питомих витрат ПЕР необхідні:

- нормативна база (система індивідуальних норм) витрат усіх видів ПЕР (як покупних, так і власного виробництва) на усі види продукції основних технологічних і допоміжних цехів;
- планові обсяги виробництва як товарної продукції підприємства, так і продукції усіх допоміжних цехів.

На основі нормативної бази і об'ємів виробництва продукції складаються планові баланси споживання енергоресурсів і похідних енергоносіїв на плановий період, які відображають кількісну величину використовуваних ПЕР з розподілом їх за цехами підприємства.

Визначення наскрізних норм витрат енергоресурсів на виробництво товарної продукції поділяється на два етапи:

1. визначення повних заводських енерговитрат на виробництво похідних енергоносіїв;
2. визначення повних заводських енерговитрат на виробництво напівфабрикатів і технологічної товарної продукції.

Визначення повних заводських енерговитрат на виробництво похідних енергоносіїв є найбільш складним етапом нормування. По кожному виду похідних енергоносіїв підсумовуються прямі витрати усіх видів палива і електроенергії, які витрачаються безпосередньо на його виробництво, з непрямыми витратами, що надійшли разом з іншими енергоносіями (парою, водою, стисненим повітрям, киснем, електроенергією власного виробництва) і використовуються у виробництві.

Цей етап враховує фактичний перерозподіл покупних палива і електроенергії, що витрачаються у виробництві. Наприклад, на виробництво

води хімічищеної, кисню (при використанні турбін), дуття і т.ін. у чистому вигляді паливо не витрачається, однак на їх виробництво витрачається велика кількість пари, на виробництво якої спалюється значна кількість природного газу, вугілля, мазуту і інших видів палива. Тому, в результаті, на вироблену продукцію переносяться витрати палива на виробництво пари пропорційно її витратам.

Аналогічно відбувається перерозподіл енерговитрат і за іншими видами похідних енергоносіїв. Розрахунок енергоемності похідних енергоносіїв за прямими і непрямими витратами може бути виконаним методом ітерації на ЕОМ.

Таким чином, в розрахунках основних цехів використовуються уже враховані показники енергоемності кожного виду енергоносія з розшифровкою за видами палива. Одержані у результаті такого розрахунку питомі наскрізні витрати енергоресурсів, як покупних так і власного виробництва, відображають повні енерговитрати підприємства на одиницю конкретного похідного енергоресурсу.

В подальших розрахунках витрати похідних енергоносіїв в технологічних переробках автоматично перераховуються у витрати електроенергії і котельно-пічного палива відповідно до індивідуальної норми похідного енергоносія, що витрачається на продукцію при переробці.

Визначення повних заводських витрат на виробництво напівфабрикатів та технологічної товарної продукції починається з розрахунку питомих наскрізних витрат усіх видів енергоресурсів на початковий технологічний напівфабрикат і, далі, на всі наступні, включаючи товарну технологічну продукцію. Ці розрахунки включають три складові:

- розрахунки по переробці;
- розрахунки попередніх стадій переробок;
- загальнозаводські витрати.

До витрат по переробці відносяться витрати електроенергії, котельно-пічного палива і усіх видів похідних енергоносіїв на кожний вид продукції

переробки згідно з плановими нормами витрат – їх складові відносяться до технологічних витрат.

Витрати попередніх стадій переробок включають повні заводські витрати електроенергії і котельно-пічного палива на виробництво напівфабрикатів, які використовуються на даній стадії переробці згідно з запланованими нормами. По структурі такі витрати можуть визначатись як технологічні.

Загальнозаводські витрати – це витрати енергоресурсів, які не можуть бути прямо віднесені на конкретний вид продукції. Це, як правило, енерговитрати на ремонтно-будівельні роботи загального призначення, витрати цехів та служб КВП і автоматики та інші – їх складові відносяться до загальновиробничих витрат.

Критерії віднесення вказаних енерговитрат на основні технологічні стадії у зв'язку з системою обліку та розподілу, що склалася на підприємствах, визначаються галузевими методиками. Можливо розподіл за основними стадіями здійснювати пропорційно грошовій вартості послуг цих цехів в розрахунках собівартості продукції.

Енерговитрати на утримання загальнозаводських адміністративних та службових будівель, охорону, освітлення загальнозаводської території повинні бути віднесені на профільюючу товарну продукцію підприємства.

За одержаними наскрізними нормами витрат енергоресурсів і плановими об'ємами товарної продукції складається плановий баланс споживання електроенергії і котельно-пічного палива підприємства. До одержаних потреб енергоресурсів повинні бути додані енерговитрати на комунально-побутове споживання та споживання палива на непаливні потреби. Одержані значення витрат електроенергії і палива за видами повинні відповідати енергобалансу підприємства.

Запитання для самоперевірки

1. Наведіть основні вхідні данні для визначення норм питомих витрат енергії.
2. На якій основі здійснюється нормування витрат ПЕР?
3. Охарактеризуйте етапи встановлення норм питомих витрат енергії.
4. Розкрийте сутність основних методів нормування питомих витрат енергії.
5. Опишіть алгоритм встановлення диференційованих індивідуальних норм питомої витрати енергії.
6. Поясніть встановлення укрупнених індивідуальних норм питомої витрати енергії.
7. Охарактеризуйте особливості розроблення наскрізних норм питомих витрат ПЕР.

Тема 7. Нормалізація питомих витрат енергії для господарських об'єктів

7.1. Особливості нормалізації питомих витрат енергії на допоміжні потреби виробництва.

7.2. Поопераційний метод розрахунку групових норм питомої витрати енергії.

7.3. Наближені методи визначення групових норм питомої витрати енергії.

7.4. Контроль та аналіз виконання встановлених норм питомої витрати енергії.

7.1. Особливості нормалізації питомих витрат енергії на допоміжні потреби виробництва

При встановленні групових норм питомої витрати енергії виникає необхідність у визначенні нормалізованих витрат енергії не тільки з основних, але і з допоміжних процесів виробництва.

Витрати енергії на допоміжні потреби за окремими агрегатами або технологічними процесами, за потреби їх виділення із загальноцехових витрат енергії, доцільно відносити до складу індивідуальних норм, наприклад, витрату енергії за допоміжними механізмами прокатного стану відносять до складу індивідуальної норми питомої витрати енергії за станом.

Якщо витрати енергії на допоміжні потреби виробництва не можна віднести безпосередньо до роботи тих або інших агрегатів, то їх слід нормалізувати таким самим чином, як і витрата енергії за основними технологічними агрегатами (за винятком витрати енергії на освітлення, опалювання і вентиляцію). У цьому разі для кожного допоміжного механізму або апарату повинен бути побудований і нормалізований окремий енергетичний баланс чи енергетична характеристика, на підставі якого встановлюється норма питомої витрати енергії для даного допоміжного процесу. Визначення

нормальних питомих витрат енергії для допоміжних агрегатів ґрунтується або на безпосередніх вимірах спожитої потужності, або на проведених розрахунках за даними про номінальну потужність агрегатів, коефіцієнт їх завантаження за потужністю і тривалістю роботи за відповідний період часу [4, 26].

Визначення нормалізованої потреби в енергії на освітлення, опалювання і вентиляцію проводиться за відповідними санітарними нормами з урахуванням площі і об'єму приміщень, а також необхідних умов виробництва і теплових характеристик будівлі. Причому норми питомої витрати енергії на освітлення та опалювання встановлюються окремо для кожного з місяців року, оскільки вони істотно залежать від сезону. Визначення нормалізованої величини втрат енергії у мережах слід засновувати на відповідних технічних розрахунках, що виконуються з урахуванням запланованих заходів щодо зниження цих втрат.

У тих випадках, коли підприємство або його підрозділ випускає неоднорідну продукцію, витрати енергії на допоміжні потреби виробництва необхідно розподіляти між окремими видами (сортами) продукції. Також розподіл здійснюється пропорційно:

- енергоємності кожного з видів продукції, тобто груповим диференційованим технологічним нормам питомої витрати енергії;
- часу роботи основного обладнання у машино-годинах, що витрачається на випуск різних видів (сортів) продукції;
- витратам робочого часу на випуск продукції кожного виду або сорту;
- питомій вазі випуску продукції кожного виду у загальному обсязі приведеної продукції.

Необхідно відзначити, що розподіл витрат енергії на допоміжні потреби виробництва між усіма видами (сортами) випущеної продукції, даним господарським об'єктом є достатньо складним завданням і завжди носить у тому або іншому ступені умовний характер.

Тому часто зазначені витрати енергії не відносять на окремі види продукції, а враховують самостійними статтями в енергобалансі цеху або підприємства.

Даний підхід не тільки дозволяє спростити нормалізацію питомої витрати енергії для господарських об'єктів, але також сприяє здійсненню контролю за витратою енергії на допоміжні потреби виробництва і за величиною втрат енергії у цехових або заводських мережах.

7.2 Поопераційний метод розрахунку групових норм питомої витрати енергії

Поопераційний метод є основним при визначенні диференційованих групових норм питомої витрати енергії, тобто норм, що встановлюються окремо для кожного виду виробленої продукції цехом або підприємством. При використанні даного методу норми розраховуються на основі побудови групової (сумарної) нормалізованої енергетичної характеристики цеху або підприємства, що належить до процесу виробництва того або іншого виду продукції. Таким чином, суть поопераційного методу визначення групових норм питомої витрати енергії полягає у складанні індивідуальних енергетичних характеристик окремих агрегатів або технологічних операцій [4, 26].

Сумарні енергетичні характеристики господарських об'єктів можуть бути віднесені до різних періодів часу (години, зміни, доби, місяця і тому подібне). У загальному вигляді основні сумарні енергетичні характеристики процесу виробництва деякого виду продукції представлені рівняннями:

$$W_{\text{гр}} = W_{\text{гр.пост}} + d_{\text{ч.гр}} A_0, \quad (7.1)$$

$$d_{\text{гр}} = \frac{W_{\text{гр.пост}}}{A_0} + d_{\text{ч.гр}}. \quad (7.2)$$

де $W_{\text{гр}}$ – сумарна витрата енергії для господарського об'єкту (за годину, зміну, добу); $d_{\text{гр}}$ – сумарна питома витрата енергії на одиницю готової продукції даного виду; $W_{\text{гр.пост}}$ – сумарні постійні витрати енергії з процесу виробництва даного

виду продукції; $d_{\text{ч.гр}}$ – сумарні змінні витрати енергії з даного процесу, віднесені на одиницю відповідної продукції (сумарна часткова питома витрата енергії); A_0 – середньокалендарна продуктивність процесу випуску даного виду продукції.

У формулах (7.1) і (7.2) сумарні постійні витрати енергії процесу виробництва виду (сорт) продукції $W_{\text{гр.пост}}$, містять:

- витрати холостого ходу безперервних технологічних операцій із змінними режимами навантаження обладнання;
- пускові витрати технологічних операцій;
- витрати енергії на допоміжні потреби процесу і втрати енергії у мережах.

Нормалізовані значення витрат холостого ходу безперервних операцій із змінною продуктивністю обладнання встановлюються на підставі нормалізованих індивідуальних енергетичних характеристик агрегатів. Зазначені витрати енергії розраховуються як різниця потужності холостого ходу відповідного агрегату на тривалість безперервної його роботи у даному календарному відрізьку часу.

Пускові витрати операцій визначаються як різниця нормалізованої пускової витрати енергії агрегату, встановленого на один його цикл зупинка-простій-пуск, на число пусків обладнання у даному календарному періоді (згідно зі встановленим графіком його роботи). Потрібно пам'ятати, що розрахунок пускових витрат енергії необхідно здійснювати тільки для технологічних операцій, для яких зазначені витрати енергії мають достатньо велике значення (печі, холодильні, сушильні установки тощо). Для операцій з невеликими пусковими витратами енергії останні окремо не розраховуються, а входять безпосередньо до відповідних індивідуальних норм питомої витрати енергії даних операцій.

Витрати енергії на допоміжні потреби виробництва і втрати у мережах доцільно враховувати у складі диференційованих групових норм питомої витрати енергії тільки під час випуску однорідної продукції. У цьому випадку ці

витрати і втрати енергії можуть бути повністю віднесені на відповідний вид продукції. У разі виробництва цехом або підприємством різномірної продукції витрати енергії на допоміжні потреби і втрати у мережах враховуються в укрупнених групових нормах, що встановлюються на одиницю приведеної продукції, або за групами продукції різної енергоємності. У цьому випадку зазначені витрати і втрати енергії можуть враховуватися також у вигляді самостійних статей енергобалансу цеху або підприємства і нормалізуватися окремо.

Сумарні змінні витрати енергії з процесу $d_{ч.гр}$ (7.1) і (7.2), віднесені до одиниці готової продукції (інакше кажучи, часткова питома витрата енергії на господарському об'єкті) передбачають:

- часткові питомі витрати енергії безперервних технологічних операцій із змінним навантаженням обладнання;
- повні питомі витрати енергії технологічних операцій з переривчастими режимами роботи агрегатів.

При розрахунку групових норм питомої витрати енергії необхідно звернути увагу ще на одну особливість. Індивідуальна норма часткової або повної питомої витрати енергії окремої операції встановлюється на одиницю відповідного напівфабрикату (тобто на одиницю деякого проміжного продукту або обсягу роботи). Групова ж часткова або повна питома витрата енергії усього процесу виробництва встановлюється на одиницю кінцевої готової продукції. Тому при складанні питомих витрат енергії окремих технологічних операцій необхідно заздалегідь привести їх до одиниці вимірювання готової продукції виробничого процесу. Це здійснюється за допомогою спеціальних коефіцієнтів приведення. Останні є питомими витратами проміжної продукції або роботи окремих технологічних операцій на одиницю готової продукції усього виробничому процесу.

Приклад. Необхідно встановити диференційовану групову норму питомої витрати енергії на видобування 1т корисної копалини для вугільної шахти. Для вирішення такого завдання поопераційним методом повинно бути відомо, які

технологічні операції входять до складу процесу виробництва даного виду продукції, а також необхідно мати нормалізований енергобаланс або нормалізовану енергетичну характеристику для кожної операції. Відповідні вихідні дані для прикладу наведені у табл.7.1.

Розрахунки, необхідні для побудови нормалізованих групових енергетичних характеристик для шахти, доцільно вести безпосередньо у тій же таблиці. На підставі результатів розрахунків, наведених у табл. 7.1, можна записати рівняння нормалізованих групових енергетичних характеристик даної шахти, які матимуть вигляд:

$$W_{\text{гр}} = 3895 + 1,557 A_0; d_{\text{гр}} = \frac{3895}{A_0} + 1,557 .$$

Виходячи з цих рівнянь, при середньодобовій продуктивності шахти, що дорівнює, наприклад, 1000 т, групова технологічна норма питомої витрати енергії для шахти встановлюється у розмірі:

$$d_{\text{гр}} = \frac{3895}{1000} + 1,557 = 5,452 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}.$$

У цьому прикладі передбачається постійність коефіцієнтів приведення. У реальних умовах ці коефіцієнти не залишаються постійними (наприклад, на вугільних шахтах коефіцієнти приведення можуть змінюватися залежно від відстані, на яку транспортується корисна копалина). Тому сумарні енергетичні характеристики виробничого процесу у реальних умовах будуються графічно у вигляді сімейства кривих, що відповідають різним значенням коефіцієнтів приведення.

Таблиця 7.1

Вихідні дані та результати встановлення групової норми питомої витрати електроенергії для вугільної шахти

№ п/п	Найменування операції	Постійна витрата	Одиниці вимірювання	Змінна витрата енергії, кВт. год/од. продукції
-------	-----------------------	------------------	---------------------	--

		енергії, кВт. год/добу	Питомої витрати	Коефі- цієнт приве- дення	По операції	Коефі- цієнт приве- дення	На 1т вугілля
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Основні операції							
1.	Підрубання вугілля		кВт · год./м ²	м ² /т	0,4	0,45	0,18
2.	Буріння шпурів електросвердла ми		кВт · год./м	м/т	0,08	0,72	0,058
3.	Доставка вугілля конвеєрами	625	кВт · год./т		0,35	1,0	0,35
4.	Транспортуван ня вугілля штреками	410	кВт · год./т.км	т.км/т	0,27	2,22	0,6
5.	Підйом вугілля на поверхню		кВт. год./т.км	т.км/т	16,18	0,02	0,324
2. Допоміжні операції							
6.	Відкачування води	510					
7.	Вентиляція шахти	840					
8.	Інші цехи на поверхні	1100					
3. Виймання породи							
9.	Транспортуван ня породи штреками	410	кВт. год./т.км	т.км/т	0,28	0,11	0,03
10.	Підйом породи на поверхню		кВт. год./т.км	т.км/т	13,0	0,001	0,013
11.	Транспортуван ня породи у відвал		кВт. год./т.км	т.км/т	0,5	0,004	0,002
	Всього	3895					1,557

Поопераційний метод нормалізації групових питомих витрат енергії у чистому вигляді застосовується лише для порівняно нескладних виробництв, де можна всі основні технологічні операції охопити диференційованими індивідуальними нормами питомої витрати енергії. До таких виробництв відносяться підприємства, що випускають один або декілька видів нескладної продукції при невеликій кількості операцій виробничого процесу (наприклад,

виробництво чорних і кольорових металів, гірничодобувне виробництво, виробництво паперу, частина галузей хімічної промисловості та ін.).

У складніших виробництвах навіть з однорідною, але багатосортною продукцією, зі значною кількістю операцій виробничого процесу застосування поопераційного методу у чистому вигляді стає складнішим. У таких випадках доводиться застосовувати різні наближені методи розрахунку групових норм питомої витрати енергії.

7.3 Наближені методи визначення групових норм питомої витрати енергії

Наближені методи нормалізації енергоспоживання господарських об'єктів можна розподілити на такі групи [4; 26]:

- методи, при використанні яких спрощення досягається шляхом групування технологічних операцій і видів продукції за інтервалами енергоємності, з подальшим розрахунком середніх величин питомої витрати енергії за групами операцій і групами продукції;

- змішані прийоми, при використанні яких спрощення досягається шляхом розподілення процесу на енергоємні та неенергоємні операції з подальшим встановленням для енергоємних операцій диференційованих індивідуальних норм питомої витрати енергії і встановленням укрупнених норм за групою неенергоємних операцій;

- розрахунково-статистичні методи, що ґрунтуються на використанні звітних даних про групову витрату енергії і груповий випуск продукції.

7.3.1 Метод усереднення питомих витрат енергії за групами устаткування і класами енергоємності продукції

Даний метод застосовується у машинобудуванні (ковальські, пресові, механічні цехи), у гумовій, харчовій, легкій промисловості та ряду інших

галузей. Суть методу встановлення групових норм питомої витрати енергії можна подати у вигляді такого алгоритму:

1. Все однорідне за виробничим призначенням технологічне обладнання, що входить до складу даного господарського об'єкту (підприємства, цехи), необхідно розділити на ряд груп за продуктивністю (до кожної групи відноситься обладнання приблизно однакової продуктивності).

2. Визначити, які види продукції випускаються кожною зі встановлених груп обладнання. Далі випущена продукція кожною групою обладнання на підставі технологічних карт, креслень або іншої технологічної документації розділяється на класи за складністю її виробництва (або за іншою ознакою, що визначає її енергоємність). Як правило, буває достатньо з кожної групи обладнання виділити 2-4 класи продукції.

3. У кожній групі обладнання вибирається декілька його одиниць, бажано із середньою для даної групи продуктивністю. На відібраному обладнанні вибірково обліковуються витрати енергії на випуск виробів усіх встановлених їх класів за енергоємністю. З кожного класу продукції вибираються вироби, найбільш характерні для виробничої програми цеху або підприємства (які найчастіше виробляються). У ході обліку витрати енергії обов'язково нормалізуються параметри операції (технічні, технологічні, організаційні, енергетичні та ін.), щоб встановити нормалізовані значення питомої витрати енергії на випуск продукції кожного класу.

4. За всіма групами обладнання і класами продукції різної енергоємності встановлюються укрупнені індивідуальні норми питомої витрати енергії.

5. Експериментальним або розрахунковим шляхом встановлюються нормалізовані значення витрати енергії на допоміжні потреби виробництва, а також нормалізовані втрати енергії у мережах і перетворювачах.

6. Визначаються групові енергетичні характеристики господарського об'єкта подібно до поопераційного методу. Величина $W_{гр.пост}$ дорівнює сумі нормалізованої витрати енергії на допоміжні потреби виробництва і

нормалізованих втрат енергії, а величина $d_{ч,гр}$ визначається як середньозважена величина з укрупнених технологічних норм питомої витрати енергії за групами обладнання і класами виробів відповідно до конкретної програми випуску продукції у даному календарному періоді часу.

7.3.2 Змішаний метод встановлення групових норм питомої витрати енергії

Часто доводиться стикатися з виробничими процесами, які містять велику кількість неенергоємних операцій і одну або декілька операцій, які в основному визначають енергоспоживання господарського об'єкта. У цих умовах основна увага під час встановлення групових норм питомої витрати енергії приділяється енергоємним технологічним операціям. Для цих операцій на експериментальній або розрахунковій основі будуються нормалізовані диференційовані індивідуальні енергетичні характеристики окремо для кожного з видів або сортів виробленої продукції.

Інші неенергоємні операції обмежуються побудовою групових енергетичних характеристик за даними про їх сумарне споживання енергії і про сумарний випуск продукції (без поділу її за видами або сортами). Групові енергетичні характеристики господарського об'єкта будуються поопераційним методом на підставі побудованих індивідуальних характеристик енергоємних операцій і групової енергетичної характеристики неенергоємних технологічних процесів.

Проілюструємо застосування даного методу на прикладі побудови групової енергетичної характеристики для цеху з виробництва силових кабелів. Цех виготовляє силові кабелі марок СБ і СБС усіх перерізів напругою до 35 кВ. Найбільш енергоємним обладнанням у цеху (70% споживання електроенергії) є:

- прес для покриття кабелю свинцем;
- верстат для бронювання кабелю;
- стенд для сушіння кабелю постійним струмом.

Технічний облік дозволяє отримати дані про електроспоживання цеху в цілому, а також окремо для кожного з трьох названих енергоємних агрегатів. Облік випуску продукції ведеться у кілометрах кабелю окремо за марками, перерізами і рівнями напруги. У цеху також ведеться облік витрат міді і свинцю на виготовлення кабелів.

На основі випробувань для свинцевого преса була побудована його нормалізована індивідуальна енергетична характеристика:

$$W_{\text{доб.преса}} = \frac{15}{18-2B}(550+55A_{\text{доб}}),$$

де B – середня вугільна витрата свинцю на 1 км кабелю, т.

Витрата енергії на покриття кабелю бронею і його сушіння практично залежить тільки від довжини кабелю. Тому за зазначеними операціями встановлені норми питомої витрати електроенергії без урахування асортименту продукції:

$$d_{\text{брон}} = 16 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{км}; \quad d_{\text{суш}} = 25 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{км}.$$

Групова енергетична характеристика всіх інших споживачів електроенергії у цеху побудована за даними обліку сумарної витрати енергії цими споживачами на декілька діб з різною середньодобовою продуктивністю.

Ця характеристика має вигляд:

$$W_{\text{доб.інш}} = 200 + 27A_{\text{доб}}.$$

Таким чином, нормалізовані групові енергетичні характеристики цеху можна подати у вигляді таких рівнянь:

$$W_{\text{доб.гр}} = \frac{15}{18-2B}(550+55A_{\text{доб}}) + 16A_{\text{доб}} + 25A_{\text{доб}} + 200 + 27A_{\text{доб}} = (200 + \frac{4125}{9-B}) + (68 + \frac{412,5}{9-B})A_{\text{доб}},$$

$$d_{\text{доб}} = (200 + \frac{4125}{9-B}) \cdot \frac{1}{A_{\text{доб}}} + 68 + \frac{412,5}{9-B}.$$

Використовуючи побудовані групові енергетичні характеристики цеху, можна в умовах номенклатури виробленої продукції з достатньо високою точністю встановлювати норми питомої витрати енергії для даного господарського об'єкта.

7.3.3 Розрахунково-статистичний метод встановлення групових норм питомої витрати енергії

За неможливості організації необхідних випробувань обладнання і обліку витрат енергії за окремими операціями, а також коли розрахунковий метод побудови енергетичних характеристик не дає достовірних результатів, доводиться вжити тимчасових заходів щодо статистичних методів нормалізації енергоспоживання господарських об'єктів. Як вже було зазначено, даний метод ґрунтується на використанні наявних звітних даних про фактичну витрату енергії, випуску продукції, витрат сировини і матеріалів, а також про значення інших параметрів виробничого процесу.

Суть розрахунково-статистичного методу полягає у дослідженні динаміки зміни її часу показників виробничого процесу та їх взаємозв'язку [4, 26]. Такий аналіз, виконаний з використанням методів теорії ймовірності і математичної статистики, дозволяє виявити емпіричну залежність між енергоспоживанням господарського об'єкта і найважливішими параметрами виробничого процесу. Побудова групових енергетичних характеристик за звітно-статистичними даними, зокрема, здійснюється з використанням методів регресійного аналізу. Необхідно встановити рівняння множинної регресії, тобто рівняння групової енергетичної характеристики, яке у загальному вигляді може бути представлено такою залежністю:

$$W_{\text{гр}} = f(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (7.3)$$

де $W_{\text{гр}}$ – загальне енергоспоживання за господарським об'єктом; X_1, X_2, \dots, X_n – значення параметрів виробничого процесу.

Побудована таким чином групова енергетична характеристика відображає середній рівень ефективності енерговикористання, фактично досягнутий на даному господарському об'єкті. Вона не може бути застосована безпосередньо для встановлення групових норм питомої витрати енергії. Поступова

нормалізація такої енергетичної характеристики досягається шляхом корегування параметрів виробничого процесу (технічних, технологічних, енергетичних, організаційних), направлено на зниження витрат і втрат енергії на даному господарському об'єкті. Для корегування необхідно проводити енергетичне обстеження об'єкту (підприємства, цеху), а також організувати вибіркове випробування обладнання.

Побудовані у результаті корегування групові енергетичні характеристики хоча і відображають прогресивний рівень енергоспоживання, ніж фактично досягнутий, проте не є нормалізованими (такі енергетичні характеристики за аналогією з раціоналізованими енергобалансами. Тому їх застосування слід обмежити лише цілями планування енергоспоживання на даному господарському об'єкті, а також порівняльним аналізом зміни у часі ефективності використання енергії у виробництві.

7.4 Аналіз виконання встановлених норм питомої витрати енергії

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

Такий аналіз ґрунтується на порівнянні фактичних і планових результатів енерговикористання, як за технологічними об'єктами (окремим агрегатам, установкам, технологічним процесам), так і за господарськими об'єктами (по підприємству в цілому і за його виробничими підрозділами). Величина розбіжності між вказаними результатами енергоспоживання з метою попереднього аналізу причин виникнення ситуації, що склалася, поділяється на дві складові: залежна і незалежна від дії персоналу відповідного об'єкту [26].

Для проведення аналізу виконання встановлених норм питомого енергоспоживання для відповідного об'єкту необхідно знати:

- скільки продукції за цей місяць мало бути випущено за планом ($A_{пл}$);

– які корективи були внесені до плану виробництва продукції у зв'язку з об'єктивними, незалежними від дій персоналу даного 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 для об'єкту за відповідний місяць визначається:

$$d_{\text{ф}} = \frac{W_{\text{ф}}}{A_{\text{ф}}} . \quad (7.4)$$

За сімейством нормалізованих енергетичних характеристик даного технологічного або господарського об'єкту потрібне визначити значення планової норми питомої витрати енергії ($d_{\text{пл}}$), а також норму питомої витрати енергії, яка називається нормальною питомою витратою ($d_{\text{норм}}$), яка відповідає фактичному обсягу випуску продукції і змінам виробничих умов, що сталися з об'єктивних, не залежних від дій персоналу причин (рис. 7.1).

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

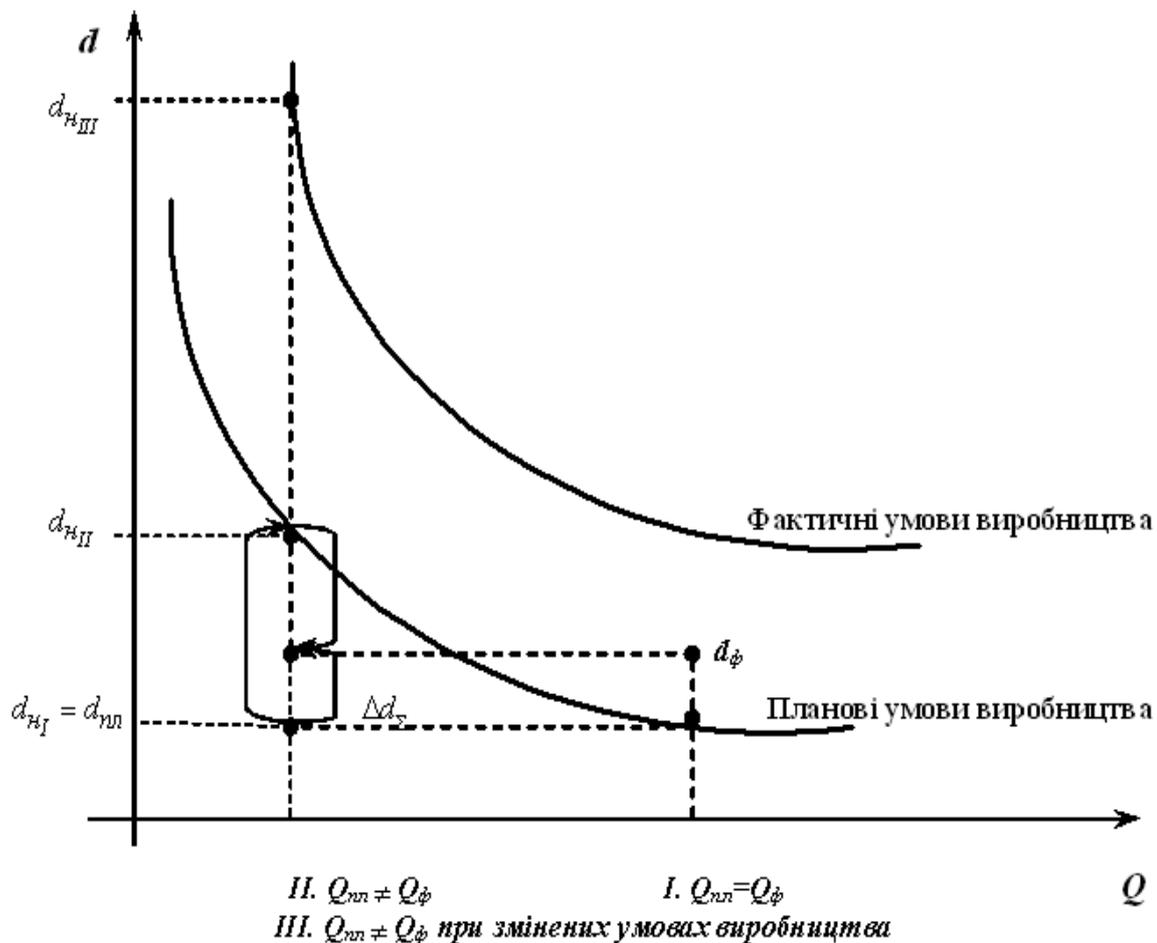


Рис.7.1 – Аналіз ефективності використання електричної енергії на виробничому об'єкті

Помноживши значення питомої витрати енергії $d_{пл}$ і $d_{норм}$, встановлені за нормалізованими енергетичними характеристиками (рис. 7.1). на фактичний обсяг випуску продукції $A_{ф}$, можна визначити відповідно скореговану планову величину енергоспоживання ($W_{пл.скор}$) і нормальну величину витрати енергії ($W_{норм}$) для об'єкту:

$$W_{пл.скор} = d_{пл} \cdot A_{ф}, \quad (7.5)$$

$$W_{норм} = d_{норм} \cdot A_{ф}. \quad (7.6)$$

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

$$\Delta W = W_{\text{пл.скор}} - W_{\text{ф}}. \quad (7.7)$$

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

$$\Delta W_{\text{незав}} = W_{\text{пл.скор}} - W_{\text{норм}}. \quad (7.8)$$

Економія енергії, пов'язана з причинами, залежними від персоналу об'єкту (чи перевитрата енергії з цих причин), розраховується за формулою:

$$\Delta W_{\text{зав}} = W_{\text{норм}} - W_{\text{ф}}. \quad (7.9)$$

Якщо норми питомої витрати енергії були встановлені не диференційовано для усіх видів 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 виробленої продукції, але також і при зміні її асортименту, якості або розміру матеріалів, які використовуються для її виготовлення. У цих випадках результати енерговикористання аналізуються на підставі нормалізованих енергетичних характеристик відповідного об'єкту.

Приклад.

Необхідно виконати аналіз енерговикористання для цеху по виробництву силових кабелів (дивися приклад, приведений в підрозділі 7.3.2).

План виробництва продукції на місяць передбачав випуск 260 км кабелю різних перерізів і напруг (плановий асортимент продукції характеризувався середньою витратою свинця на 1 км кабелю, рівною 2,8 т). За причинами

незалежними від персоналу цеху виробнича програма була змінена: за скорегованим планом було намічено випустити 210 км кабелю при середній питомій витраті свинцю, рівній 1,3 т/км кабелю. Ця скорегована програма виробництва була фактично виконана. Фактична витрата електроенергії для цеху за 26 робочих днів місяця склала 45320 кВт·год.

На підставі приведених початкових даних фактична питома витрата енергії для цеху склала:

$$d_{\phi} = \frac{45320}{210} = 214,9 \text{ кВт·год/км}$$

Планова середньодобова продуктивність цеху склала 10 км кабелю, а фактична продуктивність дорівнювала 8,07 км кабелю на добу.

Відповідно до нормалізованої групової характеристики питомої витрати електроенергії для цеху (див. приклад, приведений в підрозд. 7.3.2) спочатку була встановлена планова норма питомої витрати електричної енергії:

$$d_{\text{пл}} = \left(200 + \frac{4125}{9-2,8} \right) \cdot \frac{1}{10} + \left(68 + \frac{412,5}{9-2,8} \right) = 221,2 \text{ кВт·год/км.}$$

Порівняння планового і фактичного значення питомої витрати енергії здавалося б свідчить про ефективне використання електроенергії у цеху (фактична питома витрата електричної енергії менша за планову). Проте проаналізуємо детальніше отримані результати. З цією метою визначимо нормальну питому витрату енергії для цеху, відповідно до зміненого плану і асортименту виробництва продукції. На підставі групової енергетичної характеристики цеху ця величина складатиме:

$$d_{\text{норм}} = \left(200 + \frac{4125}{9-1,3} \right) \cdot \frac{1}{8,07} + \left(68 + \frac{412,5}{9-1,3} \right) = 212,7 \text{ кВт·год/км.}$$

Порівняння фактичної і нормальної питомої витрати енергії для цеху свідчить, що ефективність використання електроенергії на об'єкті у відповідному місяці була нижча за плановану.

З метою аналізу загальної причини зниження ефективності енерговикористання визначимо скореговану планову і нормальну витрати електроенергії для цеху

$$W_{\text{пл.скор}} = 221,2 \cdot 210 = 46450 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$$W_{\text{норм}} = 212,7 \cdot 210 = 44670 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Таким чином, для цеху за минулий місяць отримана економія електроенергії у розмірі:

$$\Delta W = 46450 - 45320 = 1130 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Причому, економія електроенергії, що виникла з причин, незалежних від дій персоналу цеху, складає:

$$\Delta W_{\text{незав}} = 46450 - 44670 = 1780 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{міс}.$$

Отже, з причин, залежних від персоналу цеху, отримали перевитрату електроенергії у розмірі:

$$\Delta W_{\text{зав}} = 44670 - 45320 = -650 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{міс}.$$

Результати виконаного аналізу енерговикористання обов'язково доводять до персоналу відповідного технологічного або господарського об'єкту, оскільки вони слугують підставою для оцінки діяльності персоналу об'єкту в області енергозбереження, а також потрібні для детального аналізу причин ситуації і розробки заходів щодо підвищення ефективності енерговикористання у виробництві.

Запитання для самоперевірки

1. Опишіть особливості нормалізації питомих витрат енергії на допоміжні потреби виробництва.
2. У чому полягає сутність поопераційного методу розрахунку групових норм питомої витрати енергії.
3. Перерахуйте наближені методи визначення групових норм питомої витрати енергії.
4. Опишіть метод усереднення питомих витрат енергії за групами устаткування і класами енергоємності продукції.

5. Поясніть змішаний метод встановлення групових норм питомої витрати енергії.
6. Надайте характеристику розрахунково-статистичного методу встановлення групових норм питомої витрати енергії.
7. Яку інформацію потрібно знати для проведення аналізу та контролю виконання встановлених норм питомого енергоспоживання?
8. Опишіть процедуру контролю та аналізу виконання встановлених норм питомої витрати енергії.
9. Наведіть приклад виконання контролю та аналізу енерговикористання для цеху по виробництву силових кабелів.

РОЗДІЛ 3. ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ

Тема 8. Паливно-енергетичні баланси та їх різновиди

8.1. Поняття про паливно-енергетичний баланс. Загальний склад статей прибуткової та витратної частини паливно-енергетичного балансу.

8.2. Класифікація видів паливно-енергетичних балансів.

8.3. Методика складання паливно-енергетичних балансів.

8.1. Поняття про паливно-енергетичний баланс. Загальний склад статей прибуткової та витратної частини паливно-енергетичного балансу

Основним методом планування та аналізу енерговикористання в промисловості є паливно-енергетичні баланси. Вони дозволяють встановлювати необхідні величини і співвідношення між споживанням, виробництвом і отриманням енергоресурсів.

Паливно-енергетичний баланс (ПЕБ) – система показників, що характеризують кількісну відповідність між надходженням та витратою всіх видів паливно-енергетичних ресурсів на промисловому підприємстві (див. рис. 8.1). Він є основним узагальненим документом для комплексного аналізу використання ПЕР і планування заходів щодо підвищення ефективності енергоспоживання [2, 4, 7, 19].

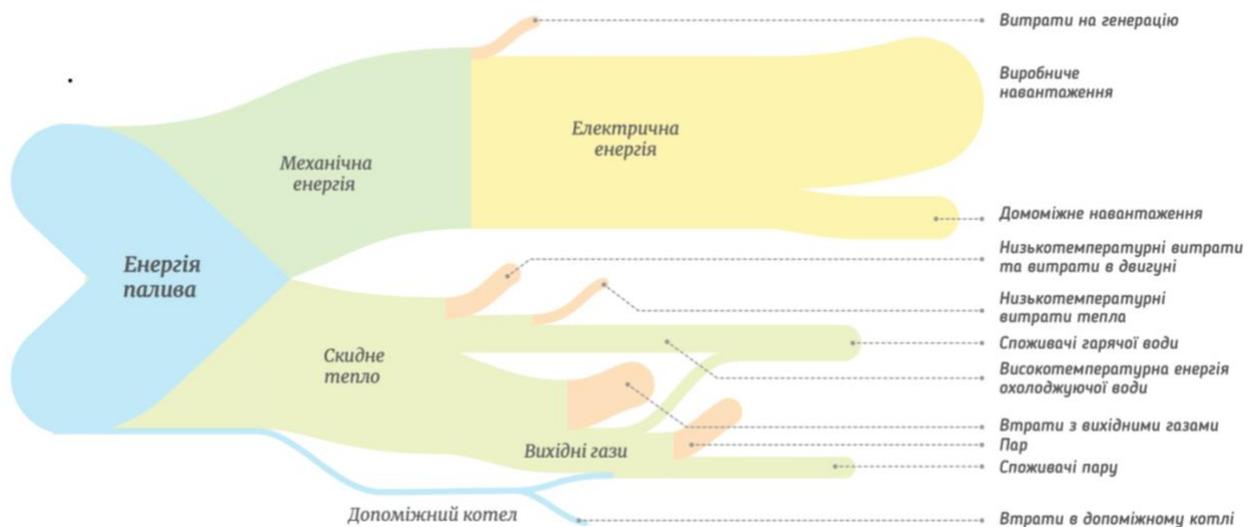


Рис. 8.1 – Приклад схематичного зображення паливно-енергетичного балансу підприємства у вигляді діаграми Сенкей (<http://www.sankey-diagrams.com/>) [7]

Робота зі складання паливно-енергетичного балансу спрямована на вирішення наступних завдань:

- оцінювання фактичного стану використання ПЕР на підприємстві;
- виявлення причин виникнення втрат ПЕР і визначення їх величини;
- оцінювання потенціалу енергозбереження і розроблення заходів з енергоефективності;
- планування раціонального енергозабезпечення підприємства.

Рівняння ПЕБ встановлює рівність між прибутковою та витратною частиною балансу:

$$A_{\text{сум}} = A_{\text{к}} + \Delta A,$$

де $A_{\text{сум}}$ – прибуткова частина, що охоплює сумарні надходження палива та енергії; $A_{\text{к}}$ – витратна частина, що охоплює корисно витрачені паливо та енергію; ΔA – витратна частина, що охоплює втрати палива та енергії.

Прибуткова частина ПЕБ – система показників, що характеризує структуру виробництва та надходження ззовні всіх видів ПЕР з розбивкою за їх джерелами

та видами, а також їх перехідні залишки. Сумарний обсяг надходження палива та енергії визначається за комерційним обліком з урахуванням всіх джерел постачання ПЕР.

Витратна частина ПЕБ – система показників, що характеризує структуру і напрямок використання всіх видів ПЕР, розподіл їх загальних витрат на втрати палива та енергії, корисні витрати і перехідні залишки; в деяких випадках і продаж енергоресурсів стороннім споживачам (субабонентам). Витратна частина ПЕБ складається за даними:

- технічного обліку витрат ПЕР підрозділами підприємства;
- розрахунковим шляхом (у випадку відсутності приладів технічного обліку).

Корисно витрачене паливо та енергія визначається як мінімальна кількість енергії, що теоретично необхідна для забезпечення функціонування різних технологічних процесів, зокрема:

- для освітлення – за світловим потоком (світловіддачею) ламп;
- в силових процесах (з використанням двигунів) – за роботою на валу приводного двигуна;
- в електрохімічних та електрофізичних процесах – за витратами енергії, що визначається відповідно до розрахунків;
- в термічних процесах – за витратами енергії на нагрівання, плавлення, випаровування матеріалу і проведення ендотермічних реакцій, що визначається відповідно до розрахунків;
- в опаленні, вентиляції, кондиціюванні, гарячому водопостачанні – за кількістю теплоти, отриманої споживачем тощо [4, 7].

Розглянемо більш детально втрати палива та енергії. Втрати енергії визначаються як різниця між кількістю підведеної енергії і корисно використаної енергії. Вони класифікуються за ознаками наведеними на рис. 8.2.

Класифікаційна ознака	Вид втрат енергії			
	1	2	3	4
Можливість і доцільність усунення втрат	Повні втрати енергії	Втрати енергії, усунення яких технічно можливе у певних умовах	Втрати енергії, усунення яких економічно доцільне у певних умовах	—
Місце виникнення втрат	Під час зберігання	Під час транспортування	Під час перероблення	Під час кінцевого використання
Фізична ознака і характер втрат	Втрати теплової енергії — втрати в навколишнє середовище з димовими газами, технологічною продукцією, технологічними відходами, охолоджуючою водою тощо	Втрати електроенергії — втрати в трансформаторах, реакторах, електричних мережах, електричних споживачах	Втрати з витіканням через нещільності; гідравлічні втрати — втрати напору при дрослюванні, втрати на тертя при переміщенні рідини, пари і газу по трубопроводах	Механічні втрати — втрати на тертя
Причини виникнення втрат	Внаслідок конструктивних недоробок	Внаслідок неправильного вибору технологічного режиму роботи та неправильної експлуатації обладнання	Внаслідок низької якості виконання ремонтних робіт	Внаслідок браку продукції

Рис. 8.2 – Класифікація видів втрат енергії [7]

Втрати енергії під час розподілення теплової і електричної енергії становлять різницю між корисно відпущеною енергією генерувальними установками, і енергією, підведеною до споживачів. На самому підприємстві ці втрати визначаються за допомогою розрахунків.

Втрати палива визначаються в залежності від місця їх виникнення, основну їх частину складають саме втрати палива під час зберігання, що визначаються як різниця між паливом, що надійшло на склад, і відпущеного споживачу, з урахуванням зміни залишків палива на складі.

8.2. Класифікація видів паливно-енергетичних балансів

На практиці мають місце різні види паливно-енергетичних балансів. Вид ПЕБ залежить від різних класифікаційних ознак, таких як, наприклад, вид ПЕР, форма складання ПЕБ, період часу, за який складається ПЕБ тощо (див. рис. 8.3).

Класифікаційна ознака	Вид ПЕБ			
	1	2	3	4
Вид ПЕР	Електричний (частковий ПЕБ)	Тепловий (частковий ПЕБ)	Паливний (частковий ПЕБ)	Паливно-енергетичний (зведений ПЕБ)
Призначення	Фактичний	Плановий	Проектний	Нормалізований
Рівень деталізації	Підприємство	Цех	Дільниця	Установка (окреме обладнання)
Форма складання ПЕБ	Робоча	Аналітична	—	—
Період часу	Річний	Сезонний (квартальний)	Місячний	За добу (зміну)

Рис. 8.3 – Класифікація видів ПЕБ [7]

Для оцінювання витрат і втрат ПЕР, спожитих підприємством, складаються ПЕБ окремо для кожного виду ПЕР (часткові ПЕБ) — електричний, тепловий, паливний (див. рис. 8.3). Часткові паливно-енергетичні баланси складаються з метою встановлення питомої ваги споживання відповідних видів палива та енергії на виконання окремих технологічних процесів чи у відповідних підрозділах підприємства, а також для визначення рівня ефективності

використання у виробництві енергетичних ресурсів. Такі ПЕБ дають змогу з'ясувати, які технологічні процеси на підприємстві є найбільш енергоємними, виявити резерви та спланувати заходи з енергоефективності за окремими видами палива й енергії. Часткові ПЕБ є також основою для складання зведеного балансу підприємства.

Порядок складання часткових та зведеного ПЕБ описано в ДСТУ 4714:2007 Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу [20]. Приклад графічного представлення результатів складання часткового ПЕБ для електричної енергії показано на рис. 8.4.

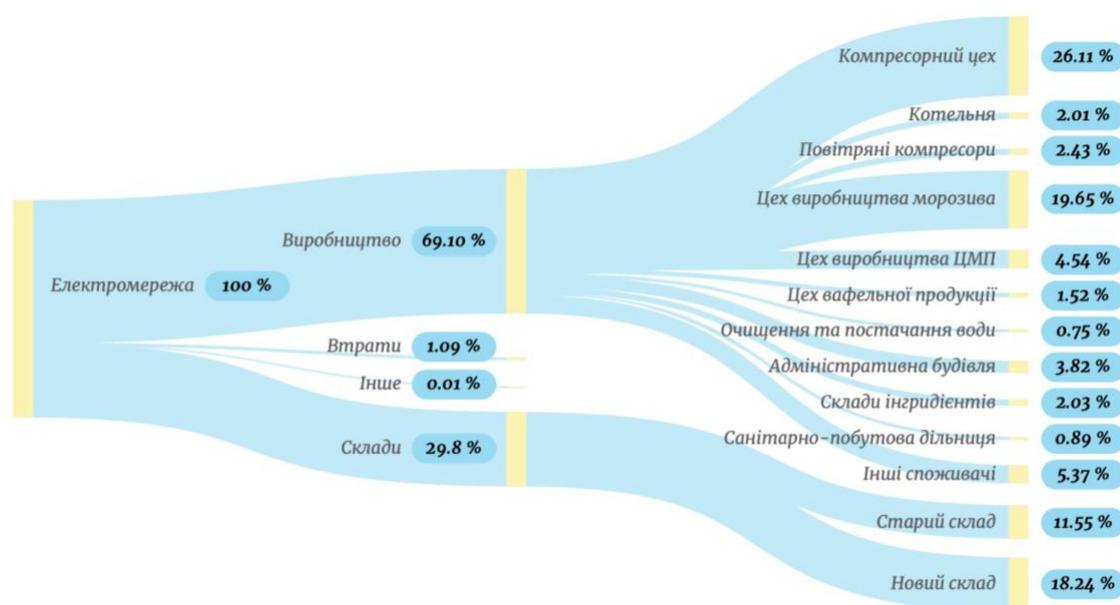


Рис. 8.4 – Графічне представлення результатів складання часткового ПЕБ для електричної енергії за рік (діаграма Сенкей) [7]

Для відображення існуючого стану використання палива та енергії з усіма їх витратами та втратами за реальних умов виробництва продукції складають фактичні ПЕБ. Вони складаються на підставі випробувань обладнання, замірів та обліку фактичних витрат палива та енергії за відповідний період часу. Ці баланси використовуються для контролю та аналізу фактичних витрат палива та енергії, розроблення заходів з енергоефективності та зниження їх витрат у виробництві, а також під час складання планових ПЕБ.

Для оцінки фактичних показників енергоефективності окремого енергоємного обладнання і порівняння їх з відповідними паспортними показниками виникає потреба в складанні фактичних ПЕБ цього обладнання. Порівняння дозволяє визначити місце, джерела і причини виникнення нераціональних втрат, а також зробити висновок про технічний стан обладнання, режими його завантаження і дотримання умов технологічного процесу.

Планові ПЕБ розробляються на підставі прогресивних питомих показників витрат палива та енергії. Ці баланси складаються на період до одного року з розподілом по кварталах, місяцях та менших інтервалах часу. Планові баланси мають прогностичний характер споживання ПЕР. Вони враховують очікувані чи заплановані обсяги випуску продукції, рівень розвитку технологій, техніки та методи організації виробництва з урахуванням динаміки роботи підприємства. Розроблення планових балансів необхідне для визначення потреби промислових об'єктів у всіх видах палива та енергії на відповідну перспективу, оцінки пропускної здатності енергомереж підприємства та необхідної потужності власних силових агрегатів, а також для встановлення інших джерел забезпечення виробництва необхідними ПЕР.

Проектні ПЕБ складаються під час створення проекту будівництва чи реконструкції промислових підприємств і є підставою для розроблення схем їх енергопостачання.

Нормалізовані ПЕБ розробляються на основі фактичних балансів з урахуванням прогресивних норм втрат та корисного споживання палива та енергії. Такі баланси відображають потенційно можливий рівень ефективності енерговикористання, стосовно до якого виявляються потенціал енергозбереження та плануються заходи з енергоефективності [4, 7, 20].

В залежності від рівня деталізації, ПЕБ можуть складатися як для всього підприємства, так і для окремих цехів, дільниць чи установок. Приклад ПЕБ механічного цеху показано в рис. 8.5.

Напрямок споживання та споживачі	Вид ПЕР					
	Теплова енергія		Електроенергія		Разом	
	Гкал т у. п.	%	тис. кВт·год т у. п.	%	т у. п.	%
1. Технологічні процеси						
1.1. Механічна обробка металу за групами верстатів:						
• токарна	—		$\frac{287,5}{94,3}$	10,33	94,3	2,38
• карусельна	—		$\frac{299,1}{98,1}$	10,74	98,1	2,48
• розточувальна	—		$\frac{721,9}{236,8}$	25,94	236,8	5,98
• свердлильна	—		$\frac{35,1}{11,5}$	1,26	11,5	0,30
• стругальна	—		$\frac{1065,2}{349,4}$	38,28	349,4	8,83
• фрезерна	—		$\frac{181,4}{59,5}$	6,52	59,5	1,5
• довбальна	—		$\frac{61,9}{20,3}$	2,24	20,3	0,51
• шліфувальна	—		$\frac{24,7}{8,1}$	0,89	8,1	0,20
1.2. Сушіння виробів після фарбування						
сушило:						
• конвективне	$\frac{9069,5}{1575}$		—		1575	39,79
— тупикове						
2. Допоміжні потреби						
2.1. Опалення та вентиляція	$\frac{8464,6}{1470,3}$		$\frac{105,8}{34,7}$	3,8	1505	38,03

Рис. 8.5 – Табличне представлення витратної частини ПЕБ механічного цеху за цільовим напрямком

ПЕБ у вигляді таблиць дає змогу здійснювати одночасне порівняння його складових як в натуральних одиницях, так і у процентах.

Залежно від конкретної мети, різні види ПЕБ складаються у робочій та аналітичній формах. Робоча форма ПЕБ передбачає побудову балансів за виробничо-територіальною та цільовою ознаками. У разі використання цієї форми складання балансу, його статті групуються за основними ланками

виробництва (цех, дільниця, окрема енергоустановка тощо), а також за напрямками використання енергії (з виділенням її витрат на технологічні потреби, на освітлення, опалення та вентиляцію, на господарсько-побутові потреби тощо). Розподіл загальної витрати енергії на корисну складову і втрати у цій формі складання енергобалансу не передбачаються. Можливе виділення лише частки загальних витрат енергії в енергетичних мережах підприємства. Баланси, складені у робочій формі, є розгорнутими планами та звітами з енергоспоживання промислових підприємств. Вони відображають цільове використання енергії та енергоносіїв на підприємстві, дають змогу здійснювати контроль за енергоспоживанням окремих промислових об'єктів, а також є основою під час планування потреб у паливі та енергії на перспективу.

Приклад графічного представлення теплового балансу підприємства в робочій формі показано на рисунку 8.6.

Аналітична форма ПЕБ передбачає розподіл сумарної витрати палива та енергії на корисну складову і втрати ПЕР з подальшою деталізацією корисної складової за напрямками використання ПЕР, а їх витрат – за місцем їх виникнення. Баланси, складені в аналітичній формі, сприяють цілям аналізу та оцінювання ефективності енерговикористання. Вони дають змогу робити висновки про ступінь термодинамічної досконалості технологічних процесів і використовуються для виявлення резервів енергозбереження [4, 7].

Приклад графічного представлення електричного балансу підприємства в аналітичній формі показано на рис. 8.7.

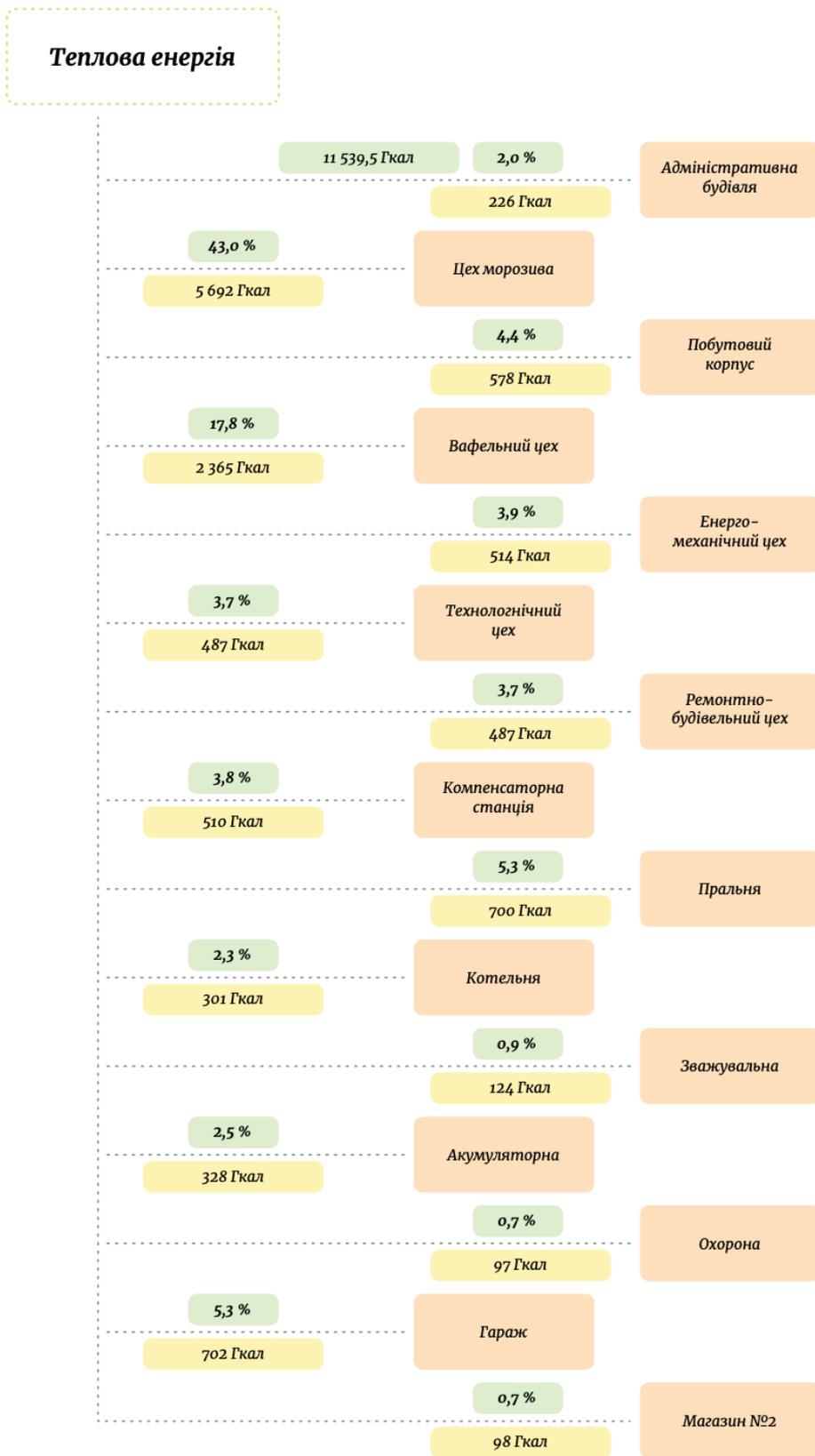


Рис. 8.6 – Графічне зображення балансу теплової енергії у робочій формі (балансова діаграма)

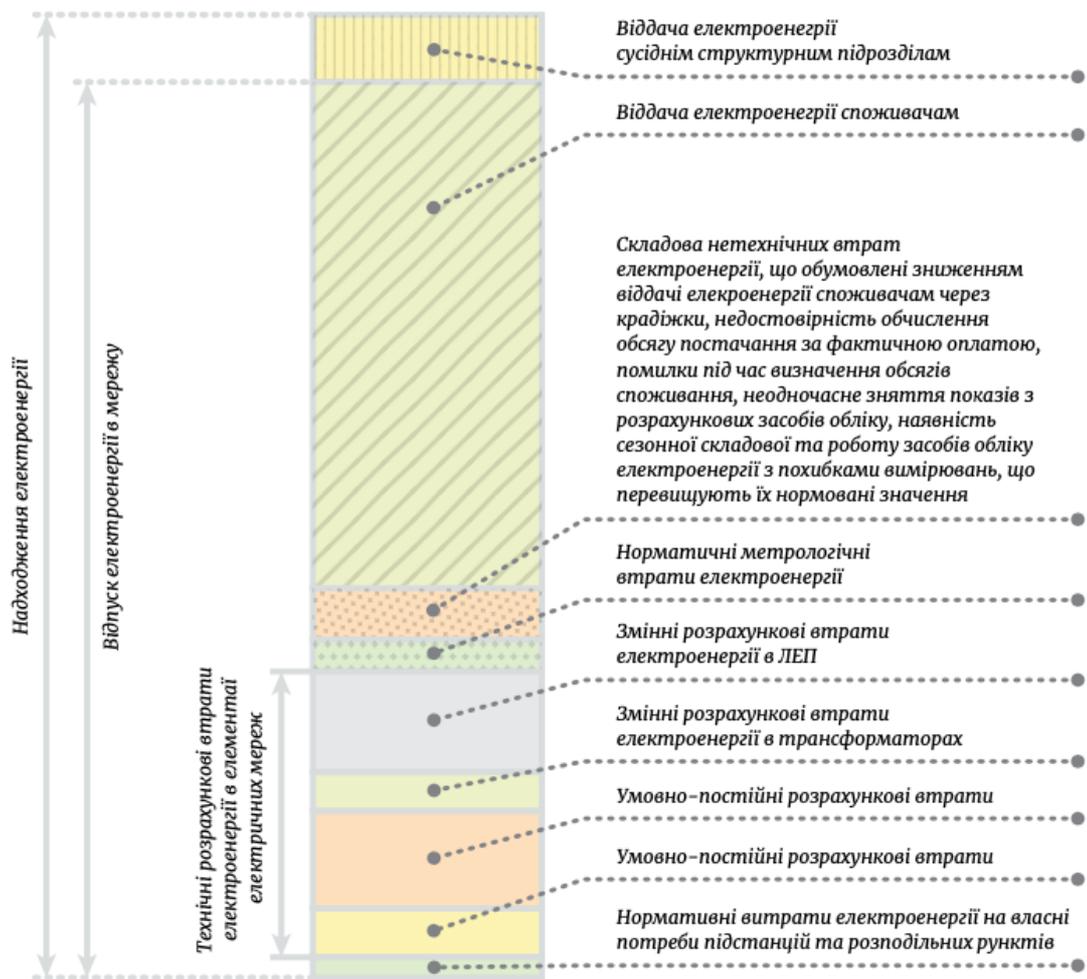


Рис. 8.7 – Графічне зображення балансу витрат електроенергії в аналітичній формі (площинна односмугова діаграма)

Вихідною інформацією для складання ПЕБ є дані обліку, звітності, розрахунків, випробувань, а також технічні та нормативно-довідкові дані. Більш детально опис джерел вихідної інформації та вимоги до неї наведено в ДСТУ 4714:2007 Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу [20].

8.3. Методика складання паливно-енергетичних балансів

В загальному випадку алгоритм складання ПЕБ передбачає послідовність робіт, яка включає чотири етапи (див. рис. 8.8).

Розглянемо більш детально цю послідовність на прикладі складання річного ПЕБ промислового підприємства [7, 20].

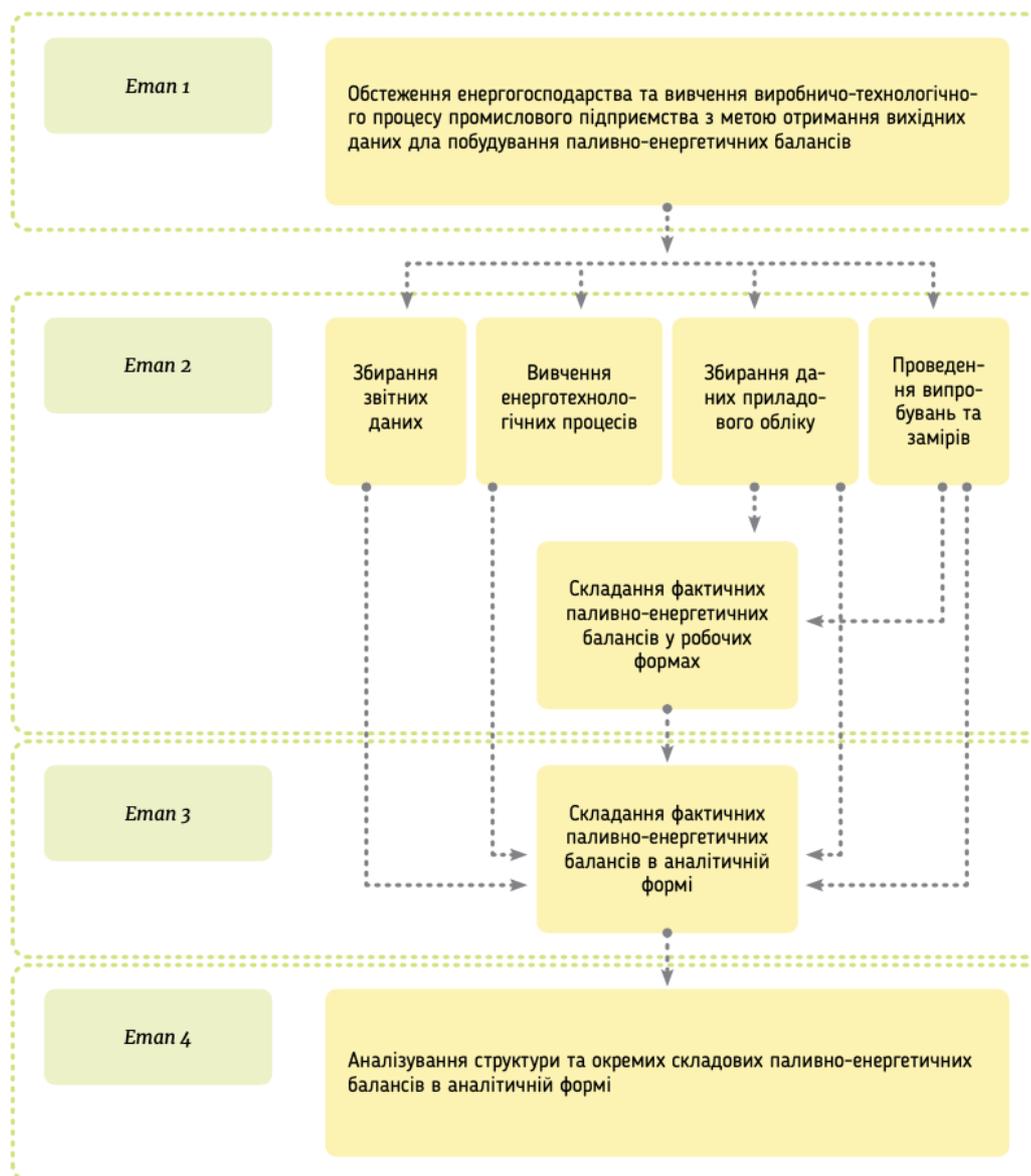


Рис. 8.8 – Послідовність складання ПЕБ промислових підприємств

На *Etapi 1* необхідно враховувати, що фактичні показники ефективності використання ПЕР і характеристики технологічних процесів можуть бути виявлені лише шляхом аналізу даних про роботу обладнання за визначений період часу – повний календарний рік. Обстеження підприємства має проводитися за період, що охоплює весь цикл основних виробничих і сезонних змін у режимі роботи обладнання. Обстеження має бути комплексним, тобто повинні збиратися не тільки дані обліку і звітності, але й результати вимірювань

параметрів технологічних процесів. Параметри технологічних процесів дозволяють встановити фактичне завантаження обладнання, витрати ПЕР і пускові витрати.

Для одержання вихідної інформації необхідно використовувати дослідно-розрахунковий спосіб, яким визначають змінні і пускові витрати. Розрахунковим методом визначають корисну складову витрат і постійні втрати. Дані цих методів формують основу для складання часткових ПЕБ, які в подальшому поєднуються у зведений ПЕБ.

Проведення вимірювань є найбільш трудомісткою частиною етапу 1, тому, у випадку наявності достатньої кількості звітних даних та даних обліку ПЕР, допускається скорочення обсягу таких вимірювань.

Досвід складання ПЕБ показує, що детальне обстеження доцільно проводити на енергоємному обладнанні, для якого також можуть складатися окремі часткові баланси. Для групи обладнання, де окрема її одиниця споживає ПЕР на рівні менше ніж 10 % від загального обсягу споживання ПЕР всієї групи, варто обмежуватися проведенням вимірювань на одній типовій одиниці обладнання з наступним поширенням результатів вимірювань на всю групу.

Етап 2. На основі отриманої вихідної інформації з першого етапу та на підставі даних приладового обліку витрат і вироблення ПЕР для всього підприємства складаються часткові ПЕБ у робочих формах по кожному виду ПЕР.

Для більшості промислових підприємств характерно, що деякі цехи і дільниці, які виділені в окрему статтю балансу, не мають окремих приладів обліку витрат ПЕР. У зв'язку з цим, виникають складнощі, пов'язані з наближеним розподілом фактичних витрат ПЕР між цехами. На практиці, щоб враховувати питому вагу окремих цехів у загальних витратах, застосовуються постійні коефіцієнти. Це дозволяє визначити оціночно (приблизно) частку витрат ПЕР по кожному з цехів. Однак, при застосуванні такого підходу необхідно врахувати, що співвідношення у витратах ПЕР через зміну виробничої програми по цехах та дільницях у різні періоди не залишається однаковим. Саме

тому, на практиці рекомендується для розподілу фактичних витрат ПЕР використовувати енергетичні характеристики, визначені на основі вимірювань або розрахунковим шляхом, питомі витрати ПЕР, періодичні вимірювання споживаної потужності і добових витрат ПЕР.

Під час складання ПЕБ у робочій формі, як для окремих об'єктів (цехів, дільниць, енергоємного обладнання), так й підприємства в цілому, важливим є розрахунок складових балансу, які не можуть бути точно визначені на основі вимірювань (наприклад, втрати енергії в мережах та трансформаторах).

Якщо у групі обладнання наявна одиниця, що споживає незначну частку ПЕР (до 5 % від загального споживання ПЕР цією групою) і вона не має окремого обліку, в той час як всі інші одиниці групи його мають, то недоцільно визначати витрати ПЕР для одиниці обладнання без обліку як різницю між показником приладу обліку всієї групи обладнання і сумою показань приладів обліку для тих одиниць обладнання, на яких вони встановлені. Це пов'язано з тим, що такі розрахунки можуть призвести до великих помилок через похибки приладів обліку. В цьому випадку доцільно визначати витрати ПЕР розрахунковим шляхом на основі підключеної потужності обладнання, коефіцієнтів завантаження і тривалості його роботи в звітному періоді.

Під час складання фактичного ПЕБ мають місце так звані небаланси, які в обов'язковому порядку повинні бути рознесені на всі витратні складові балансу пропорційно їх питомій вазі у загальних витратах ПЕР або зазначатися в спеціальній статті «небаланс».

Етап 3. Для складання фактичних ПЕБ в аналітичній формі, у першу чергу, необхідно скласти ПЕБ окремих установок і цехів.

Етап 4. Необхідною умовою одержання достовірних результатів розрахунків потенціалу енергозбереження є забезпечення порівняння аналізованих ПЕБ. Це досягається шляхом складання нормалізованого і фактичного ПЕБ на той самий період часу (або обсяг робіт, випуску продукції однакового складу і якості).

Складання зведеного нормалізованого ПЕБ підприємства є завершальним етапом аналізу фактичного балансу підприємства. Аналогічно з фактичним ПЕБ підприємства нормалізований баланс будується як сума взаємопов'язаних індивідуальних балансів окремих установок і процесів.

Форми фактичного і нормалізованого ПЕБ однакові, однак порядок їхнього складання різний. Складання нормалізованого ПЕБ завжди здійснюється «знизу-вверх». У першу чергу заповнюється стаття «корисне використання ПЕР». Величина нормативних втрат по кожній групі обладнання і процесів визначається як їх сума для кожного окремого обладнання. Після цього варто перейти до визначення нормативних втрат ПЕР під час їх розподілу.

Більш детально з методикою складання паливно-енергетичних балансів можна ознайомитися в ДСТУ 4714:2007 Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу [20].

Показником достовірності складання ПЕБ є величина нев'язки між прибутковою та витратною частинами. Під час складання ПЕБ окремих об'єктів (цехів, дільниць, енергоємного обладнання) величина нев'язки повинна бути не більше 3 %, а для підприємства в цілому – 5 %.

Періодичність складання ПЕБ визначається ДСТУ 2804-94 Енергобаланс промислового підприємства. Загальні положення. Терміни та визначення [19].

Суттєвих споживачів ПЕР визначають за результатами складання ПЕБ. Згідно з ДСТУ ISO 50001:2020 під суттєвим використанням енергії (significant energy use) розуміється використання енергії, що є суттєвим споживанням енергії та/або потенційним для поліпшення енергетичної результативності [18, 22]. У разі виявлення сфер суттєвого використання енергії промислове підприємство визначає критерії того, що є значним споживанням енергії та/або що може розглядатися як потенціал для поліпшення енергетичної результативності. Сфери суттєвого використання енергії можуть бути визначені по відношенню до будівель і споруд (наприклад, склад, завод, офіс), процесів або систем (наприклад, освітлення, пар, транспорт, електроліз, приводи на основі двигунів) або обладнання (наприклад, двигун, бойлер).

Запитання для самоперевірки

1. Розкрити сутність поняття «паливно-енергетичний баланс».
2. Охарактеризуйте загальний склад статей прибуткової та витратної частини паливно-енергетичного балансу.
3. Наведіть приклади завдань, на вирішення яких спрямована робота зі складання паливно-енергетичного балансу.
4. Що являє собою корисна складова витрат енергії для забезпечення функціонування різних технологічних процесів?
5. Наведіть класифікацію видів втрат енергії.
6. Опишіть класифікацію видів паливно-енергетичних балансів.
7. Наведіть основні форми представлення витратної частини енергетичного балансу.
8. Наведіть характеристику ДСТУ 4714:2007 Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу.
9. Охарактеризуйте чотири етапи у послідовності складання паливно-енергетичних балансів.
- 10.Що являє собою показник достовірності складання ПЕБ?

Тема 9. Енергобаланси агрегатів та форми їх подання

9.1. Технологічна операція як первинна ланка виробництва. Основні елементи та спрощене рівняння енергобалансу агрегатів.

9.2. Форми подання енергобалансів агрегатів. Основні способи визначення числових значень статей прибуткової та витратної частини енергобалансу.

9.1. Технологічна операція як первинна ланка виробництва. Основні елементи та спрощене рівняння енергобалансу агрегатів

Первинною ланкою у виробництві та енергопостачанні на промислових підприємствах є технологічна операція або простий технологічний процес, що здійснюються на певному агрегаті (приймачі, перетворювачі або генератори енергії). Тому побудова та аналіз енергобалансів окремих агрегатів мають дуже важливе, принципове значення для вирішення завдання підвищення ефективності енерговикористання на підприємстві [1, 4].

В прибутковій частині енергобалансу агрегату відображається енергія, що підводиться до нього одним або декількома енергоносіями, а у витратній частині – корисна енергія, її втрати і вихід вторинних енергоресурсів. Під корисною розуміють ту частину енергії, яка витрачається на основні і неминуче пов'язані з ними побічні фізико-хімічні процеси. Виняток становлять перетворювачі і генератори енергії, для яких корисна енергія є відповідно перетвореною або виробленою енергією.

Втрати енергії в балансах енергоустановок наводяться у вигляді окремих їх елементів. Це покращує аналіз енергобалансу і пошук напрямів зменшення втрат. Для зручності аналізу втрати енергії доцільно групувати не за їх фізичним змістом (втрати на нагрівання, на намагнічення і таке інше), а за місцем їх виникнення.

Незважаючи на різноманітність енергоустановок, у них можуть бути виділені два основні елементи: приймач-перетворювач енергії (наприклад, для електроустановок це – трансформатори, випрямлячі, інвертори, електродвигуни) і робоча машина (технологічний апарат). Тому в спрощеному вигляді електробаланс будь-якої установки може бути записаний рівнянням:

$$W_{\text{підв}} = W_{\text{кор}} + W_{\text{втр.пр.}} + W_{\text{втр.ап.}}, \quad (9.1)$$

де $W_{\text{підв}}$ – підведена до агрегату енергія; $W_{\text{кор}}$ – корисна витрата енергії; $W_{\text{втр.пр.}}$ – втрати енергії у приймачі-перетворювачі енергії; $W_{\text{втр.ап.}}$ – втрати енергії у робочій машині (технологічному апараті).

Більшість технологічних операцій і простих технологічних процесів у промисловості є процеси перетворення енергії одного вигляду в інший. Тому при побудові енергобалансів агрегатів, виникає необхідність порівняння різних видів енергії, їх приведення до однієї одиниці вимірювання. Найчастіше за таку одиницю приймають Ккал або Гкал, тобто виражають баланс у теплових одиницях (для цього є відповідні перевідні коефіцієнти). Якщо ж розглядати електробаланси агрегатів, то вони складаються в кВт або кВт·год. В цих одиницях виражають не тільки електричну, а також й інші види енергії.

9.2. Форми подання енергобалансів агрегатів. Основні способи визначення числових значень статей прибуткової та витратної частини енергобалансу

Енергобаланси агрегатів можна представити у вигляді таблиць або діаграм (табл. 9.1 і рис. 9.1). Причому числові значення балансу відносять або до певної продуктивності агрегату (його навантаження), або до одиниці виробленої продукції (основної витраченої сировини). Числові значення енергобалансу можуть бути віднесені також до деякого періоду часу (зміна, доба).

Визначення числових значень статей енергобалансу, що входять в його прибуткову частину, не становить труднощів. Енергія в агрегат надходить від якогось одного джерела і обліковується за допомогою відповідних вимірювальних приладів.

Таблиця 9.1

Енергобаланс агрегату в табличній формі

№ n/n	Назва статей енергобалансу	Енергія	
		кВт·год.	%
НАДХОДЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ			
1	Підведена енергія з заводської електромережі	300	100
	<i>РАЗОМ</i>	<i>300</i>	<i>100</i>
ВИТРАТА ЕНЕРГІЇ			
1	Корисна енергія	240	80
2	Втрати енергії, у тому числі:	60	20
	а) у електроприводі і цеховій мережі;	32	10,7
	б) механічні втрати в робочій машині	28	9,3
	<i>РАЗОМ</i>	<i>300</i>	<i>100</i>

Значно складніше з розрахунком числових значень статей витратної частини енергобалансу. Тут можливі два варіанти: визначити тим або іншим способом величину корисної витрати енергії, а її втрати розраховується як різниця між підведеною енергією і її корисною витратою, або навпаки, знайти способи визначення величини втрат енергії, а через неї обрахувати корисну витрату енергії в агрегаті.

Доцільнішим є другий варіант, оскільки для аналізу енерговикористання і підвищення його ефективності необхідно знати, перш за все, величину втрат енергії в агрегаті за окремими їх складовими. Крім того, другий варіант побудови енергобалансу є найбільш можливим, оскільки далеко не завжди можна знайти способи безпосереднього визначення корисної витрати енергії в агрегаті.

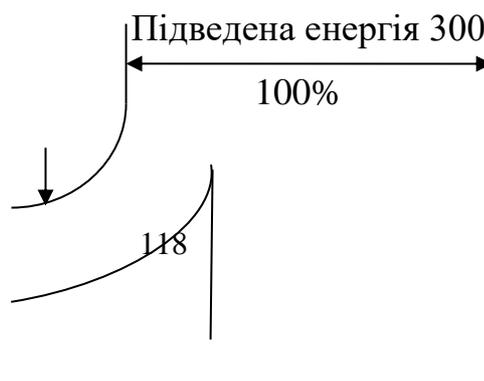




Рис. 9.1 – Енергобаланс агрегату у вигляді діаграми

У зв'язку з цим для побудови енергобалансів агрегатів дуже важливо знати, які існують види втрат енергії в енергоустановках і причини, що викликають їх появу, і як величина втрат енергії залежить від навантаження агрегату [4, 7].

Втрати енергії в устаткуванні можуть бути найрізноманітнішими, але за викликаними причинами, за характером їх залежності від навантаження агрегатів втрати енергії можна розділити на чотири групи (рис. 9.2).

Першу групу утворюють втрати розсіяння енергії, обумовлені перебуванням обладнання у ввімкненому стані (в обертанні, під напругою і тому подібне). Втрати цієї групи не залежать від навантаження і можуть бути названі умовно постійними, наприклад, втрати енергії на намагнічування електричних машин і трансформаторів, окремі різновиди втрат механічної енергії в устаткуванні і таке інше. Цю групу втрат можна інакше назвати втратами холостого ходу. При незмінних технологічних параметрах операції постійні втрати енергії в устаткуванні в основному залежать від його технічного стану, тобто від справності обладнання, ступеня його зносу, чистоти тощо.

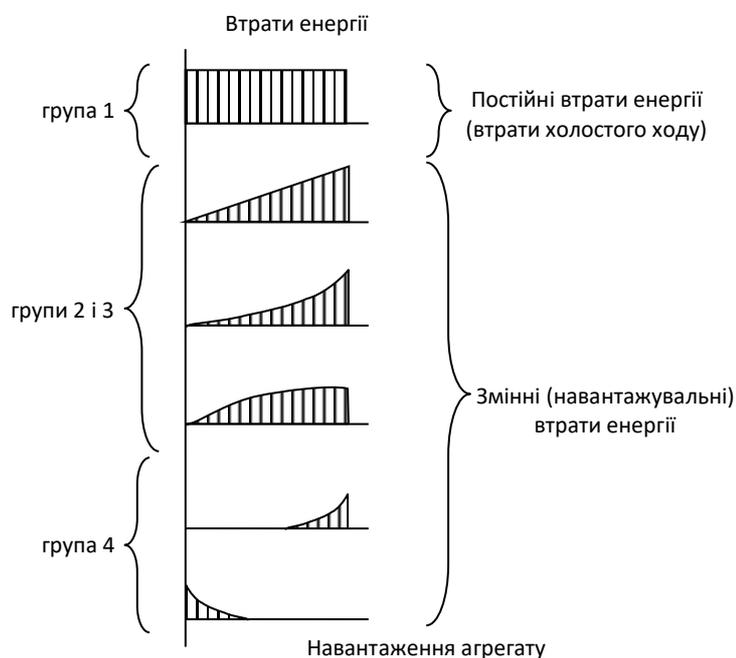


Рис. 9.2 – Види втрат енергії в агрегатах та їх залежність від навантаження обладнання

Таким чином, зниження постійних втрат енергії може бути досягнуте шляхом покращення технічного стану обладнання, підвищення якості його ремонтного обслуговування.

Другу групу втрат утворюють втрати розсіяння енергії, що обумовлені ходом операції і залежать від її інтенсивності (тобто від навантаження обладнання). Тому ці втрати можуть бути названі навантажувальними, наприклад, втрати активної енергії в електрообладнанні, втрати навантажень механічної енергії в агрегатах.

До третьої групи входять втрати, обумовлені фізичними особливостями технологічних операцій і ступенем недосконалості обладнання. Ці втрати залежать від навантаження агрегату, тобто це також навантажувальні втрати. Вони характерні для теплоенергетичного обладнання і практично завжди пов'язані з виходом вторинних енергетичних ресурсів. Втрати енергії другої і третьої груп можуть мати як близький до лінійного, так і складніший характер в залежності від навантаження обладнання.

До четвертої групи входять додаткові втрати енергії, пов'язані з неможливістю забезпечення нормального ходу технологічного процесу в зонах малого навантаження і форсованого режиму роботи обладнання. Це також змінні або навантажувальні втрати енергії.

Таким чином, всі види втрат енергії в агрегатах, окрім втрат першої групи, є змінними. Величина таких втрат енергії залежить від технологічних параметрів операції, від технічного стану обладнання, від енергетичної ефективності технологічного процесу, а також від якості експлуатаційного обслуговування агрегатів. Отже, необхідно ще раз підкреслити, що одним із найбільш важливих питань під час визначення витратної частини енергобалансу конкретного агрегату є розгляд всіх видів втрат енергії, які мають місце в даному обладнанні або технологічному процесі, а також знаходження методів і способів розрахунку їх величини.

Запитання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте складові прибуткової та витратної частин енергетичного балансу технологічного агрегату.
2. Опишіть основні елементи та спрощене рівняння енергобалансу агрегатів.
3. Наведіть приклади форм подання енергобалансів агрегатів.
4. Опишіть основні способи визначення числових значень статей прибуткової та витратної частини енергобалансу.
5. Охарактеризуйте групи, на які можуть бути поділені втрати енергії у агрегатах, виходячи з причин їх виникнення та залежності їх величини від навантаження агрегату.

Тема 10. Показники енергоекономічності роботи агрегатів

10.1. Баланс потужності та енергії агрегату. Показники ефективності використання енергії, що застосовуються при роботі агрегату з постійним та змінним навантаженням.

10.2. Врахування споживання енергії на власні потреби агрегату при оцінюванні енергоекономічності його роботи.

10.1. Баланс потужності та енергії агрегату. Показники ефективності використання енергії, що застосовуються при роботі агрегату з постійним та змінним навантаженням

З точки зору оцінки енергоекономічності енергетичний баланс агрегату (технологічної операції) (рис. 10.1) можна представити у вигляді такого рівняння [4, 26]:

$$W_{\text{підв}} = W_{\text{кор}} + W_{\text{втр}} , \quad (10.1)$$

де $W_{\text{підв}}$ – підведена до агрегату енергія; $W_{\text{кор}}$ – корисна енергія; $W_{\text{втр}}$ – втрати енергії в агрегаті.

Енергетичні баланси відносяться до певної продуктивності агрегату і до конкретних умов його роботи. При зміні цих параметрів змінюються як абсолютні значення всіх величин у рівнянні (10.1), так і співвідношення між ними. Отже, під час роботи агрегату з постійним навантаженням (продуктивністю) в незмінних умовах виробництва рівняння балансу енергії (10.1) може бути замінене рівнянням балансу потужності

$$P_{\text{підв}} = P_{\text{кор}} + P_{\text{втр}} , \quad (10.2)$$

де $P_{\text{підв}}$ – підведена до агрегату потужність; $P_{\text{кор}}$ – корисна потужність агрегату;
 $P_{\text{втр}}$ – втрачена в агрегаті потужність.

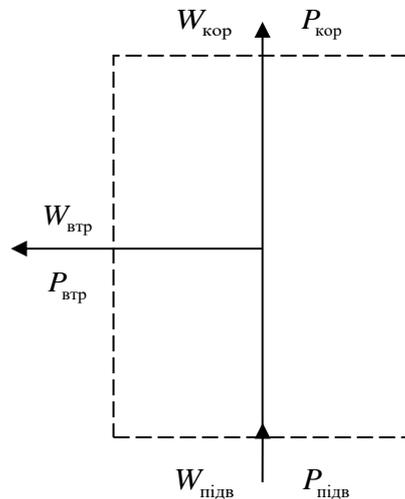


Рис. 10.1 – Принципова схема енергобалансу технологічного агрегату

Таким чином, оцінка енергетичної економічності роботи агрегатів у постійному режимі їх навантаження базується на зіставленні величин, що входять у рівняння балансу потужності (10.2). Така оцінка проводиться шляхом визначення поточних значень коефіцієнта корисної дії і коефіцієнта питомих втрат, які розраховуються за залежностями:

$$KKД = \frac{P_{\text{кор}}}{P_{\text{підв}}}; \quad (10.3)$$

$$s = \frac{P_{\text{втр}}}{P_{\text{підв}}}. \quad (10.4)$$

Очевидно, що ці коефіцієнти є безрозмірними величинами. Проте, незважаючи на простоту залежностей (10.3) і (10.4), визначити фактичні значення зазначених коефіцієнтів часто буває нелегко, оскільки в технологічних операціях величини $P_{\text{кор}}$ і $P_{\text{втр}}$ не можуть бути безпосередньо виміряні за приладами. У зв'язку з цим енергетичну економічність роботи енерговикористовуючих агрегатів частіше оцінюють за допомогою величини

питомої витрати енергії. Поточне значення цього показника є відношенням підведеної до агрегату потужності до його продуктивності (A), тобто до випуску продукції за одиницю часу:

$$d = \frac{P_{\text{підв}}}{A}. \quad (10.5)$$

Неважко помітити, що за своїм змістом питома витрата енергії є величиною, оберненою до коефіцієнту корисної дії агрегату.

У процесах передачі і перетворення параметрів одного і того самого виду енергії продукцією є відповідно передана або перетворена енергія. Тому питома витрата енергії для такого обладнання також є величиною безкінечною, як і ККД або коефіцієнт питомих втрат. Для генеруючих установок продукцією також є вироблена енергія. Проте тут одиниці вимірювання підведеної і виробленої енергії не збігаються. Тому для генераторів питома витрата енергії є розмірною величиною, також як і для енерговикористовуючих агрегатів.

Під час роботи агрегатів зі змінним навантаженням оцінка енергоекономічності їх роботи повинна ґрунтуватися на середніх значеннях показників, що входять у рівняння балансу енергії (10.1) і розраховуються за деякий проміжок часу:

$$\bar{P}_{\text{підв}} = \frac{W_{\text{підв}}}{T}; \quad (10.6)$$

$$\bar{P}_{\text{кор}} = \frac{W_{\text{кор}}}{T}; \quad (10.7)$$

$$\bar{P}_{\text{втр}} = \frac{W_{\text{втр}}}{T}; \quad (10.8)$$

$$\bar{A} = \frac{Q}{T}. \quad (10.9)$$

де Q – випущена продукція агрегатом за час T .

Відповідно до (10.6)-(10.9) показники енергоекономічності агрегатів, що працюють зі змінним навантаженням, визначаються на основі таких залежностей:

$$\overline{KKД} = \frac{\overline{P}_{\text{кор}}}{\overline{P}_{\text{підв}}}; \quad (10.10)$$

$$\overline{s} = \frac{\overline{P}_{\text{кор}}}{\overline{P}_{\text{підв}}}; \quad (10.11)$$

$$\overline{d} = \frac{\overline{P}_{\text{підв}}}{A}. \quad (10.12)$$

10.2. Врахування споживання енергії на власні потреби агрегату при оцінюванні енергоекономічності його роботи

Робота багатьох енергоустановок пов'язана із споживанням енергії на власні потреби, тобто у допоміжних елементах обладнання. Витрати енергії на власні потреби агрегатів є втратами енергії.

Покриття втрат енергії на власні потреби агрегатів може здійснюватися за рахунок [4, 26]:

- підведеної до агрегату енергії;
- корисної енергії, що виробляється самим агрегатом (наприклад, у генераторах електричної енергії);
- енергії, що виробляється агрегатами на наступній стадії виробництва (наприклад, котельна установка отримує частину електроенергії, що виробляється генератором);
- енергії незалежного джерела.

За наявності відгалуження від основного енергопотoku на власні потреби агрегатів потрібно розрізняти підведену потужність і енергію бруто і нетто, а також корисну енергію бруто і нетто (рис. 10.2). Ці показники пов'язані між собою такими залежностями:

$$P_{\text{підв.бр.}} = P_{\text{підв.нет.}} + P_{\text{втр.в.п.}} \quad (10.13)$$

$$W_{\text{підв.бр.}} = W_{\text{підв.нет.}} + W_{\text{втр.в.п.}} ; \quad (10.14)$$

$$P_{\text{кор.бр.}} = P_{\text{кор.нет.}} + P_{\text{кор.в.п.}} ; \quad (10.15)$$

$$W_{\text{кор.бр.}} = W_{\text{кор.нет.}} + W_{\text{кор.в.п.}} \quad (10.16)$$

де $P_{\text{втр.в.п.}}$ і $W_{\text{втр.в.п.}}$ – потужність і енергія, відгалужені на власні потреби від підведеної потужності та енергії; $P_{\text{кор.в.п.}}$ і $W_{\text{кор.в.п.}}$ – потужність і енергія на власні потреби агрегату, відгалужені від корисної потужності і енергії.

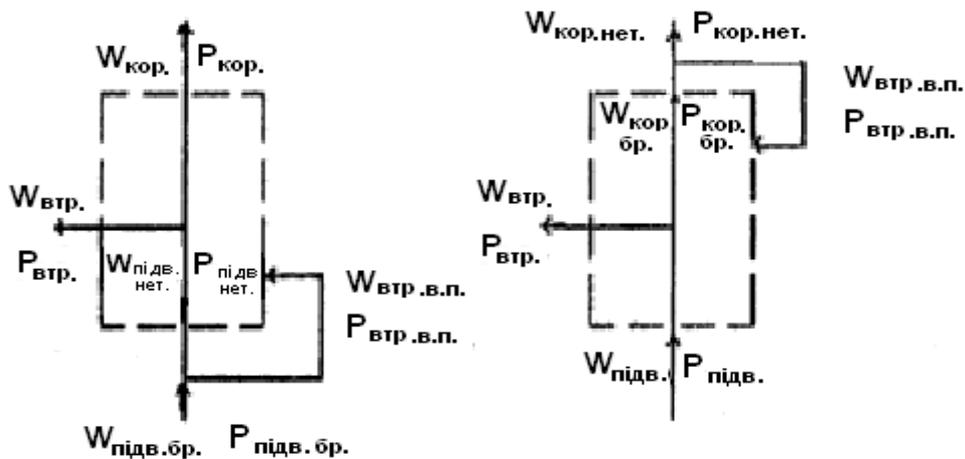


Рис. 10.2 – Принципова схема енергобалансу агрегату з витратою енергії на власні потреби

Відповідно до (10.13)-(10.16) розрізняють показники енергоекономічності агрегатів бруто і нетто. Причому найбільш повну оцінку енергетичної економічності роботи агрегату дають показники бруто – у разі забезпечення витрати енергії на власні потреби за рахунок підведеної енергії, і показники нетто – за умови забезпечення зазначених витрат енергії за рахунок корисної енергії агрегату.

Запитання для самоперевірки

1. Опишіть баланс потужності та енергії агрегата.
2. За допомогою яких показників можна оцінити енергетичну ефективність роботи агрегату при його роботі з постійною продуктивністю?
3. За допомогою яких показників можна оцінити енергетичну ефективність роботи агрегату при його роботі зі змінною продуктивністю?
4. За рахунок яких витрат можуть покриватися втрати енергії на власні потреби агрегатів?
5. Поясніть принцип рівняння балансу потужності та енергії агрегату з витратою енергії на власні потреби.
6. Охарактеризуйте принципову схему енергобалансу агрегату з витратою енергії на власні потреби.
7. За допомогою яких показників можна оцінити енергетичну ефективність роботи агрегату при наявності витрат енергії на його власні (допоміжні) потреби?

Тема 11. Енергетичні характеристики агрегатів

11.1. Вихідні та похідні енергетичні характеристики агрегатів. Класифікація енергоустановок в залежності від вигляду їх характеристики підведеної потужності.

11.2. Рівняння енергетичної характеристики агрегатів з прямолінійною характеристикою підведеної потужності та його елементи.

11.1. Вихідні та похідні енергетичні характеристики агрегатів. Класифікація енергоустановок в залежності від вигляду їх характеристики підведеної потужності

Енергобаланси агрегатів завжди відносяться до певних постійних умов їх роботи і певної їх продуктивності. Проте в реальних умовах виробництва досить рідко виникає ситуація, коли установки працюють з постійним навантаженням, тому для оцінки енергетичної економічності роботи агрегатів при незмінних технологічних параметрах операції, але при різних значеннях їх продуктивності використовують вже не енергобаланси, а енергетичні характеристики [4, 15, 26].

Початковими енергетичними характеристиками агрегатів є (рис. 11.1):

- характеристика підведеної потужності ($P_{\text{підв}} = f_1(A)$);
- характеристика втраченої потужності ($P_{\text{втр}} = f_2(A)$);
- характеристика корисної потужності ($P_{\text{кор}} = f_3(A)$).

Ординати характеристики підведеної потужності агрегату дорівнюють сумі ординат характеристик втраченої і корисної потужностей (тобто кожна точка характеристики підведеної потужності є окремим енергобалансом).

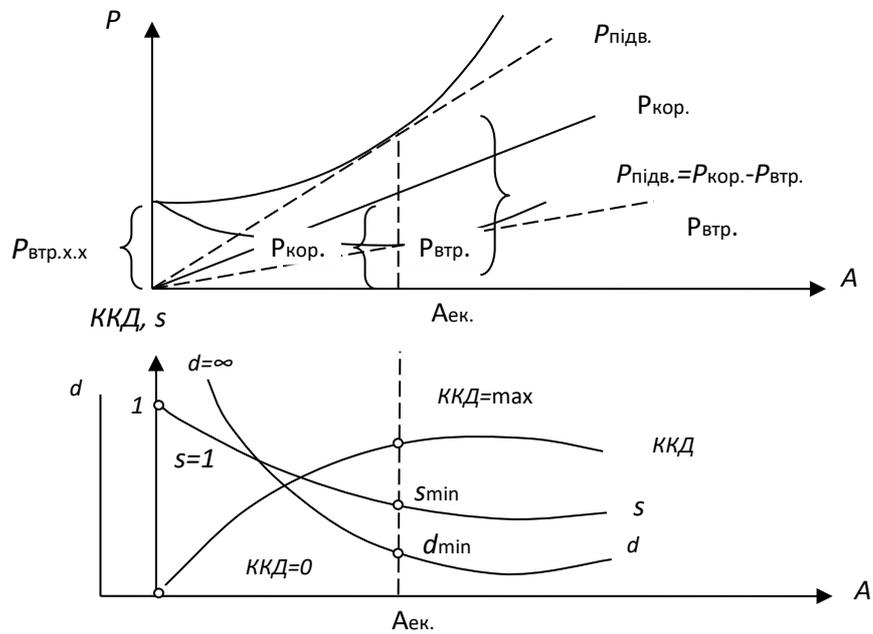


Рис. 11.1 – Початкові і похідні енергетичні характеристики агрегатів

Важливим показником енергетичних характеристик є величина підведеної потужності при холостому ході обладнання. Ця величина є втратами холостого ходу агрегату – це постійні втрати, але в загальному випадку за наявності в обладнанні додаткових втрат потужності в зонах малого навантаження агрегату (рис. 9.2) це вже сума постійних і змінних втрат.

Початкові характеристики, які є важливими самі по собі, необхідні також для побудови похідних енергетичних характеристик. До похідних характеристик агрегатів належать (рис. 11.1):

- характеристика питомої витрати енергії ($d=f_4(A)$);
- характеристика коефіцієнта корисної дії ($ккд=f_5(A)$);
- характеристика питомих втрат ($s=f_6(A)$).

Оскільки дані показники енергоекономічності агрегату є похідними від одних і тих самих початкових величин, криві відповідних енергетичних характеристик мають зв'язані точки (наприклад, при $d=\min$, $ккд=\max$ і $s=\min$). Більше того, похідні енергетичні характеристики агрегатів часто мають точки екстремуму, що відповідають певній величині продуктивності агрегату $A_{ек}$.

Цю величину прийнято називати економічною продуктивністю агрегату (для генераторів це економічна потужність), оскільки вона визначає економічний з енергетичної точки зору режим ізольованої роботи обладнання. На початкових енергетичних характеристиках агрегату ця точка визначається шляхом проведення з початку координат дотичних до цих характеристик.

Найбільше практичне застосування початкових характеристик має характеристика підведеної потужності, а з похідних – характеристика питомої витрати енергії (хоча при вирішенні багатьох завдань енергозбереження велику увагу необхідно приділяти також характеристикам абсолютних і питомих втрат).

Енергетичні характеристики агрегатів не є стандартними геометричними фігурами. Тому можна виділити тільки головні зовнішні ознаки енергетичних характеристик. Зокрема, для характеристик підведеної потужності можна виділити два різних за формою їх різновиди.

Умовно їх можна назвати криволінійними і прямолінійними (останні є менш різко вираженими криволінійними характеристиками).

Таким чином, всі енергоустановки за видами їх характеристик підведеної потужності можна розділити на три групи (рис. 11.2):

- обладнання з прямолінійними характеристиками (до цієї групи відносять, зокрема, горизонтальні стрічкові конвеєри, електрокомпресори);
- обладнання з увігнутими характеристиками (такі характеристики властиві, зокрема, текстильним машинам, ковшовим елеваторам);
- обладнання з випуклими характеристиками (такі характеристики трапляються значно рідше, вони властиві, зокрема, деяким типам відцентрових машин – насосам, вентиляторам).

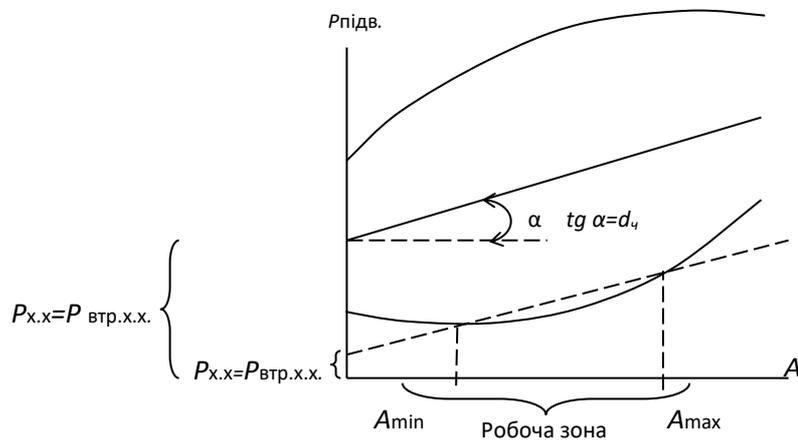


Рис. 11.2 – Форми характеристик підведеної потужності агрегатів

11.2. Рівняння енергетичної характеристики агрегатів з прямолінійною характеристикою підведеної потужності та його елементи

Енергетичні характеристики агрегатів виражаються в аналітичній формі, тобто за допомогою рівнянь. Це стосується, перш за все, прямолінійних і близьких до них характеристик підведеної потужності [4, 26]. Рівняння такої характеристики має вигляд:

$$P_{\text{підв}} = P_{\text{х.х}} + d_{\text{ч}}A \quad (11.1)$$

де $P_{\text{підв}}$ – підведена до агрегату потужність; A – продуктивність (навантаження) агрегату; $P_{\text{х.х}}$ і $d_{\text{ч}}$ – константи рівняння енергетичної характеристики.

Якщо енергетична характеристика агрегату прямолінійна на всіх її ділянках, параметри рівняння $P_{\text{х.х}}$ і $d_{\text{ч}}$ мають не тільки розрахунковий, але і фізичний зміст. В цьому випадку $P_{\text{х.х}}$ є дійсними втратами холостого ходу агрегату (тобто втрати при навантаженні, що дорівнює нулю). Величина $d_{\text{ч}}$ носить назву часткової питомої витрати, або відносного приросту (для генеруючого обладнання). В обумовлених вище умовах вона є питомою величиною корисної енергії і змінних втрат енергії (прямо пропорційних навантаженню агрегату) на одиницю виробленої продукції.

Розділивши ліву і праву частини рівняння підведеної потужності (11.1) на продуктивність агрегату A , отримуємо рівняння характеристики питомої витрати енергії:

$$d = \frac{P_{x.x}}{A} + d_{\text{ч}}. \quad (11.2)$$

Права частина цього рівняння містить змінну складову питомої витрати, що знижується при збільшенні навантаження агрегату, і постійну складову, що дорівнює частковій питомій витраті енергії. При цьому чим більше стала складова в рівнянні підведеної потужності агрегату, тим в більшому діапазоні може змінюватися його питома витрата енергії.

Якщо характеристика підведеної потужності не строго прямолінійна, а отримана в результаті випрямлення криволінійної характеристики на певній її ділянці, то параметри рівняння характеристики мають тільки розрахунковий (але не фізичний) зміст. Параметр $P_{x.x}$, на відміну від дійсних втрат холостого ходу, називають витратою або умовною витратою енергії холостого ходу. Використання лінійного рівняння для криволінійних характеристик підведеної потужності агрегатів цілком допустиме. Проте не можна виходити за межі ділянки характеристики, для якої це рівняння справедливе з допустимою похибкою (цю ділянку називають робочою зоною характеристики).

Використання аналітичного виразу криволінійних енергетичних характеристик агрегатів не спрощує роботу з ними, якщо для цих цілей не використовується програмне забезпечення. Для таких характеристик часткова питома витрата енергії не є величиною сталою і в загальному випадку є першою похідною підведеної потужності агрегату за його продуктивністю, тобто тангенс кута нахилу дотичної, проведеної до тієї або іншої точки характеристики.

Запитання для самоперевірки

1. У яких випадках замість енергобалансу агрегату необхідно будувати його енергетичні характеристики?
2. З якою метою використовуються енергетичні характеристики агрегатів?
3. Як зв'язані між собою енергобаланси та енергетичні характеристики агрегатів?
4. Назвіть вихідні та похідні енергетичні характеристики агрегатів.
5. Який вигляд мають вихідні та похідні енергетичні характеристики агрегатів?
6. Які з енергетичних характеристик агрегатів є основними?
7. Які зв'язані точки можуть мати вихідні та похідні енергетичні характеристики?
8. На які групи можна поділити агрегати за формою їх енергетичної характеристики підведеної потужності?
9. Для якої групи агрегатів доцільно використовувати енергетичні характеристики у аналітичному вигляді?
10. Який загальний вигляд мають рівняння основних енергетичних характеристик для цієї групи агрегатів? Який фізичний зміст мають параметри цих рівнянь?

Тема 12. Методи побудови енергобалансів та енергетичних характеристики агрегатів

12.1. Основні методи побудови енергобалансів та енергетичних характеристик агрегатів.

12.2. Аналіз методів побудови енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів.

12.3. Поняття про характеристичні умови. Введення поправок до енергетичних характеристик агрегатів.

12.1. Основні методи побудови енергобалансів та енергетичних характеристик агрегатів

Відомі основні методи побудови енергетичних балансів і характеристик [20, 26]:

- експериментальний (дослідний);
- розрахунково-аналітичний;
- розрахунково-статистичний;
- комбінований.

Найточніше енергобаланси і енергетичні характеристики устаткування можуть бути отримані експериментальним (дослідним) методом на основі його випробування. В процесі випробування агрегату за допомогою лабораторних приладів проводяться вимірювання підведеної до нього потужності, а також параметрів основного і всіх відгалужених енергопотоків. Продуктивність (навантаження) агрегату підтримується постійною на деякому заданому рівні.

Такі випробування здійснюються за кількома значеннями його продуктивності. В результаті отримують ряд енергобалансів, що відносяться до різного навантаження агрегату. Необхідна точність виміру потужності, особливо для теплоенергетичного устаткування, може бути отримана лише при достатній тривалості кожного дослідження, оскільки стан устаткування має бути рівноважним і

режим процесу має бути сталим. Тому отримати значну кількість експериментальних точок вдається рідко.

Для отримання достовірних результатів при використанні дослідного методу побудови енергобалансів необхідно дотримуватися певних правил проведення експерименту. Зокрема, випробування агрегату мають бути повними, тобто охоплювати не лише основне устаткування, але і допоміжні механізми з тим, щоб можна було побудувати баланси і енергетичні характеристики не лише бруто, але і нетто. Крім того, з метою побудови нормалізованих енергобалансів і характеристик, відповідних прогресивним умовам експлуатації агрегату, необхідно забезпечити при випробуваннях підтримку прогресивних технологічних параметрів операції і нормальних параметрів підведеної енергії, а також нормальний технічний стан агрегату і якісне його експлуатаційне обслуговування.

Після закінчення експерименту характеристики підведеної потужності або втрат будуються за отриманими дослідними даними і згладжуються, тобто будується не ламана лінія, а деяка монотонна крива. Характеристики питомих показників будуються також за точками, але не по обчислених для кожного окремого режиму роботи агрегату (окремого енергобалансу) значенням цих показників, а по їх значеннях, відповідних ординатах згладженої початкової характеристики. Недотримання цього правила може призвести до неспівпадіння початкових і похідних характеристик, що є неприпустимим.

Експериментальний метод побудови енергобалансів і енергетичних характеристик є найбільш точним. Проте його використання вимагає наявності відповідного персоналу і необхідної вимірювальної апаратури, можливості виведення з роботи устаткування на час проведення його випробувань, проведення відповідних підготовчих робіт та ін. Тому можливість практичного використання цього методу обмежена.

При використанні розрахунково-аналітичного методу корисна складова витрати енергії і її втрати за усіма напрямками визначаються розрахунковим шляхом на підставі фізико-хімічних і емпіричних залежностей. Проте в цілях

контролю і забезпечення більшої точності результатів бажано і в цьому випадку визначати хоча б окремі елементи втрат шляхом проведення вимірів за допомогою наявних приладів енергетичного обліку, наприклад, таким чином, може бути виконаний вимір втрат холостого ходу обладнання.

Розрахунково-аналітичний метод дозволяє будувати енергобаланси агрегатів, а за ними і енергетичні характеристики для будь-яких значень технологічних параметрів операції і будь-якої продуктивності агрегату, що дуже корисно для аналізу і нормалізації питомих витрат енергії. Також можна побудувати не згладжені, а точні енергетичні характеристики устаткування.

Очевидно, що цей метод побудови енергобалансів і енергетичних характеристик агрегатів з технічної і організаційної точки зору набагато простіший за експериментальний. Його застосування може бути обмежено лише відсутністю необхідних фізико-хімічних або емпіричних залежностей між параметрами, або невідповідністю цих залежностей конкретним видам обладнання, або умовам його роботи (що, втім, зустрічається досить часто).

Розрахунково-статистичний метод не придатний для побудови нормалізованих енергобалансів і енергетичних характеристик устаткування. Він може бути використаний тільки для побудови фактичних характеристик середньої підведеної до агрегату потужності, розрахованої за певні періоди часу. За основу для побудови цих характеристик приймаються звітні дані про витрату енергії і випуск продукції цим агрегатом за відповідні періоди часу (зміну, доба). Шляхом ділення витрати енергії і випуску продукції на час роботи устаткування за цей період можна визначити середньочасову витрату енергії, тобто середню підведену потужність, і середньочасову продуктивність агрегату. На основі цих даних будується відповідна графічна залежність.

Такі характеристики, значно менш точні, ніж побудовані за експериментальними даними або розрахунково-аналітичним методом. Крім того, вони відображають не прогресивний, а фактичний, часто дуже низький рівень ефективності енерговикористання. Тому застосування енергетичних характеристик, побудованих розрахунково-статистичним методом, для цілей

нормалізації енергоспоживання неприпустимо. Вони можуть бути використані тільки для порівняльної оцінки енергоекономічності агрегатів при різних їх навантаженнях або у часі.

Комбінований метод побудови енергобалансів і енергетичних характеристик агрегатів є найбільш універсальним і доступним. Цей метод є поєднанням експериментального і розрахунково-аналітичного. При використанні цього методу корисна складова витрати енергії визначається розрахунковим шляхом, а втрати енергії – експериментальним і розрахунковим методом з наступним їх аналізом і ув'язкою в енергобалансі агрегату. На практиці застосовується саме комбінований метод побудови енергобалансів і енергетичних характеристик агрегатів. Проте, необхідно пам'ятати, що у результаті використання одночасно двох різних за точністю методів визначення корисної витрати і втрат енергії в побудованих енергобалансах можливі неузгодження, тобто баланс енергії в повному розумінні цього слова може бути відсутнім.

12.2. Аналіз методів побудови енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів

В Україні оцінка та контроль енергоефективності, зокрема, у промисловості традиційно здійснюється шляхом нормування питомих витрат палива та енергії, яке, базується на побудові та аналізі енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів (підприємств, організацій та установ, їх структурних підрозділів тощо) [13, 14]. Енергобаланси повинні відігравати важливу мобілізуючу та організуючу роль в підвищенні ефективності використання палива та енергії. Вони мають бути тим засобом, за допомогою якого, зокрема, забезпечуватиметься науково-технічна обґрунтованість норм питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів, що встановлюються. Тому надзвичайно важливо, щоб енергетичні баланси, які будуються з метою контролю та аналізу енергоспоживання відповідних господарських об'єктів,

були якомога більш точними і максимально об'єктивно відображали реально існуючі напрямки та обсяги корисного споживання і втрат палива чи енергії.

Теоретично для побудови енергобалансів будь-яких технологічних чи виробничо-господарських об'єктів можуть бути застосовані експериментальний (дослідний), розрахунково-аналітичний або комбінований методи, останній з яких являє собою поєднання двох попередніх методів. Кожен з цих методів, у свою чергу, поділяється на певні різновиди, що відрізняються ступенем деталізації технічного обґрунтування окремих складових витрат та втрат енергії, використанням тих чи інших теоретичних формул, складністю та кількістю необхідних дослідів, способом поєднання розрахункової і експериментальної баз тощо [12].

Досвід свідчить, що при виборі того чи іншого методу та його різновиду необхідно враховувати ряд чинників. З одного боку, слід враховувати наявні технічні засоби вимірювання чи обліку, можливість проведення необхідних дослідів чи експериментів, точність та обґрунтованість існуючих розрахункових формул та нормативів, достовірність, точність і повноту технічних характеристик обладнання, а також даних енергетичного і технологічного обліку. З іншого боку, необхідно враховувати складність структури енергобалансу, що має бути побудований, вид енергії, що використовується, ступінь сталості зовнішніх умов роботи обладнання, характер виробництва тощо. Значна кількість та різноманітність цих чинників робить недоцільною жорстку регламентацію застосування для більшості промислових об'єктів будь-якого заздалегідь визначеного методу побудови їх енергобалансів.

Найбільш точно енергобаланси технологічних об'єктів (машин, установок, агрегатів, окремих технологічних процесів тощо) можуть бути одержані експериментальним (дослідним) методом. Цей метод полягає у проведенні спеціально підготовлених випробувань обладнання. Його застосування вимагає залучення значної чисельності відповідно підготовлених працівників, наявності великої кількості вимірювальних приладів, можливості підключення цих приладів у необхідних місцях, виведення з виробничого процесу технологічного

обладнання на час проведення його випробувань тощо. Тому можливість практичного використання експериментального методу дуже обмежена навіть для побудови енергобалансів окремих технологічних установок чи агрегатів. Застосування ж цього методу для одержання енергетичних балансів господарських об'єктів (підприємств, організацій, установ, їх структурних підрозділів) здебільшого є просто неможливим, оскільки у цьому випадку мова йде про необхідність проведення одночасних (синхронних) вимірювань у багатьох десятках чи навіть сотнях пунктів. Тому про використання експериментального методу для побудови енергобалансів господарських об'єктів мова може йти лише у тому випадку, якщо підприємство, організація чи установа має розгалужену систему технічного обліку енергоспоживання, зокрема, відповідну автоматизовану систему обліку. Однак, на сьогоднішній день значна частина господарських об'єктів таких систем обліку не має.

Найбільш реальним для побудови енергобалансів різних виробничих об'єктів традиційно вважається комбінований метод. Однак, з зазначених вище причин експериментальна частина роботи, що виконується при його застосуванні, здебільшого є дуже незначною.

Таким чином, для одержання енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів фактично використовується лише один метод – розрахунково-аналітичний. При його застосуванні корисна складова витрат енергії і її втрати в усіх напрямках визначаються розрахунковим шляхом на підставі відповідних фізико-хімічних та емпіричних залежностей. З метою контролю і підвищення точності результатів побудови енергобалансу при використанні розрахунково-аналітичного методу окремі елементи витрат і втрат енергії бажано визначати також шляхом проведення вимірювань за допомогою наявних приладів енергетичного обліку.

Очевидно, що з технічної і організаційної точки зору цей метод побудови енергобалансів значно простіше експериментального. Його застосування може бути обмежене лише відсутністю потрібних фізико-хімічних чи емпіричних залежностей або невідповідністю цих залежностей новим видам обладнання чи

сучасним умовам його роботи (що, втім, зустрічається досить часто). Однак, виникає питання, чи завжди енергетичні баланси виробничо-господарських об'єктів, одержані за допомогою розрахунково-аналітичного методу, є достатньо точними та обґрунтованими? Відповіді на це питання можна, зокрема, розглянувши традиційну методика побудови електробалансів таких об'єктів.

Наприклад, при побудові балансу електроенергії будь-якого господарського об'єкту з використанням розрахунково-аналітичного методу основні напрямки корисного споживання та втрат енергії, як правило, досить повно та детально можна визначити, знаючи склад будівель та споруд, які належать до цього об'єкту, його виробничу структуру (тобто, склад основних і допоміжних підрозділів), схему електропостачання, а також склад основного та допоміжного технологічного обладнання, що належить до кожного з підрозділів і є споживачами електричної енергії.

Зрозуміло, що для подальшого аналізу електроспоживання на будь-якому об'єкті необхідно скласти не миттєвий, а деякий середній (як правило, середньорічний) його електробаланс. Тому для розрахунку кількісних значень обсягів корисного споживання чи втрат енергії за кожним з напрямків необхідно знати не тільки параметри відповідних елементів схеми електропостачання і номінальну електричну потужність кожної одиниці основного та допоміжного обладнання, але також характерні умови, тривалість, режими його роботи (тобто, характерний графік електричного навантаження обладнання) тощо.

Іншими словами, однією з основних вихідних величин, на підставі якої традиційно визначаються обсяги корисного споживання та втрат електроенергії при побудові електробалансу будь-якого виробничо-господарського об'єкту розрахунково-аналітичним методом, є середня електрична потужність, що споживається кожною одиницею основного та допоміжного обладнання.

Однак 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 можуть відповідати дійсності (зокрема, після проведення

капітальних ремонтів чи модернізації обладнання). Що ж до характерних графіків електричного навантаження основного та допоміжного обладнання, то у переважній більшості випадків вони зі зрозумілих причин просто невідомі (значна кількість та різноманітність обладнання, змінні режими та умови його роботи, відсутність або недостатня кількість необхідних вимірювальних приладів чи приладів обліку, недостатня чисельність персоналу енергетичних служб тощо).

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).

Звісно, числові значення таких коефіцієнтів для кожної одиниці обладнання можуть бути визначені експериментальним шляхом, але через зазначені вище причини у виробничих умовах такі вимірювання виконуються досить рідко. Тому реальні коефіцієнти завантаження основного і допоміжного обладнання, як і графіки його електричного навантаження, на виробничо-господарських об'єктах, для яких складаються електробаланси, здебільшого, також залишаються невідомими. При цьому у розрахунках середнього електричного навантаження споживачів, 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 різних можливих числових значень довідкових коефіцієнтів завантаження (наприклад, мінімальних або максимальних) дуже помітно впливає на результати розрахунку середнього річного споживання електроенергії технологічним обладнанням того чи іншого типу.

Крім того, слід зазначити, що наведені в довідковій літературі коефіцієнти завантаження (чи коефіцієнти використання) були визначені експериментальним шляхом досить 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.

Очевидно, що в результаті використання таких недостовірних вихідних даних розрахункові величини середнього електричного навантаження кожної одиниці основного чи допоміжного обладнання можуть суттєво відрізнятись від реальних величин їх навантаження.

Ще однією, не менш важливою вихідною величиною, необхідною для побудови балансів електричної енергії виробничо-господарських об'єктів, є тривалість роботи основного і допоміжного технологічного обладнання. Для окремих одиниць обладнання, на яких безпосередньо здійснюються основні виробничі процеси, тривалість роботи протягом зміни чи доби можна встановити досить точно, але за умови, що на відповідні процеси розроблені і використовуються технологічні карти. Однак, для значної кількості одиниць основного і практично для більшості допоміжного обладнання технологічні карти, як правило, відсутні. Тому для такого обладнання реальна середня тривалість його роботи також невідома, а основним джерелом її оцінки є результати опитування операторів технологічних установок, відповідних фахівців чи менеджерів.

Зрозуміло, що оцінка тривалості роботи обладнання, одержана на підставі опитування працівників об'єкту, здебільшого, має суб'єктивний характер і далеко не завжди співпадає з дійсними її значеннями.

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 можна одержати 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, без жодного сумніву, можна стверджувати, що розрахункові величини середнього річного споживання електричної енергії, що визначаються традиційними методами для кожної окремої одиниці основного чи допоміжного обладнання, в результаті використання зазначених вище недостовірних вихідних даних можуть значно відрізнятись у будь-який бік від фактичних їх обсягів електроспоживання. Не менш хибними можуть бути також результати розрахунку втрат енергії в окремих елементах електричної мережі.

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, можна сприймати як ознаку достатньої точності побудованого для нього електробалансу. Проте, виходячи з зазначеного вище, цілком закономірно виникає питання: чи дійсно можна вважати баланс споживання електричної енергії, побудований для будь-якого господарського об'єкту з використанням традиційного розрахункового методу, достатньо точним і придатним для аналізу енергоспоживання?

Відповідь на це питання напрошується негативна, оскільки, як було показано, оцінки обсягів споживання і втрат електроенергії за окремими статтями електробалансів, одержаних традиційним розрахунковим шляхом, здебільшого, виявляються спотвореними і значною мірою не відповідають реальним витратам і втратам енергії на об'єкті, що розглядається. Тобто, розрахунково-аналітичний метод, який у більшості випадків застосовується зараз для побудови та аналізу енергобалансів виробничо-господарських об'єктів, також не дає змоги вирішувати цю задачу з прийнятною точністю.

12.3. Поняття про характеристичні умови. Введення поправок до енергетичних характеристик агрегатів

Яким би методом не була побудована енергетична характеристика агрегату, необхідно пам'ятати, що вона завжди відповідає конкретним технологічним параметрам операції, умовам виробництва, технічному стану устаткування і якості його експлуатаційного обслуговування. Усі ці умови називаються характеристичними. Проте, і реальні умови, в яких працює устаткування, і нормальні умови, в яких воно повинне працювати, можуть істотно відрізнитися від характеристичних. Зміна експлуатаційних умов у більшому або меншому ступені супроводжується зміною питомих витрат енергії.

Тому при використанні енергетичних характеристик агрегатів важливо знати, яким експлуатаційним показникам і умовам роботи, вони відповідають. Крім того, треба також знати, під дією яких чинників і в якій мірі можуть змінюватися питомі витрати енергії у цій операції. Це дозволяє вносити необхідні поправки до показників, які визначаються за допомогою енергетичних характеристик, і використовувати ці характеристики при відхиленні дійсних умов експлуатації устаткування від характеристичних.

При введенні поправок слід враховувати тільки об'єктивні, тобто незалежні від персоналу, відхилення експлуатаційних умов від характеристичних. Таким чином, поправки до енергетичних характеристик агрегатів повинні вводитися не просто на відхилення фактичних умов і параметрів від характеристичних, а лише на відхилення нормальних умов і параметрів роботи устаткування від характеристичних. Якщо характеристичні умови співпадають з нормальними, то навіть за наявності відхилень від них фактичних умов роботи агрегату поправки до його енергетичних характеристик вводяться не повинні.

Величина поправок до енергетичних характеристик агрегатів визначається на підставі спеціальних графіків або шкал. Вони встановлюються на основі окремих випробувань устаткування або розрахунків. Введення поправок до значень будь-якого з показників, які визначаються за енергетичними характеристиками агрегатів, здійснюється за допомогою єдиної формули. Наприклад, для витрати електроенергії агрегатом ця формула має вигляд:

$$W_{\text{експ}} = W_{\text{хар}} \left(1 + \frac{\Delta W}{100} \right),$$

де $W_{\text{хар}}$ – характеристична витрата електроенергії агрегатом; $W_{\text{експ}}$ – експлуатаційна витрата електроенергії; ΔW – величина поправки для конкретного відхилення нормальних значень експлуатаційних показників від характеристичних (визначається у відсотках).

Як приклад можна навести графік зміни витрати електроенергії при прокатці сталі залежно від температури злитків (рис. 12.1). Характеристичним параметром на цьому графіку є температура злитків, рівна 1150 °С. При відхиленні нормальної температури злитків від характеристичної, величина поправки до витрати електроенергії визначається у відсотках за ординатами зазначеного графіка.

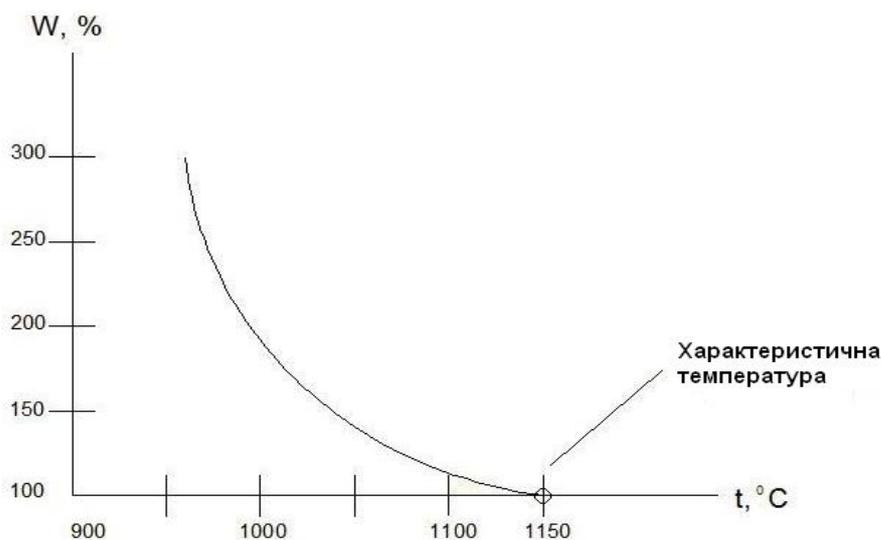


Рис. 12.1 – Зміна витрати електричної енергії при прокатці сталі в залежності від температури злитків

Запитання для самоперевірки

1. В чому полягає сутність експериментального (дослідного) методу?
2. Розкрийте сутність розрахунково-аналітичного методу побудови енергобалансів.
3. Охарактеризуйте розрахунково-статистичний метод.
4. У чому полягає сутність комбінованого методу?
5. За допомогою яких методів можуть бути побудовані енергетичні характеристики будь-якого об'єкту?
6. Проаналізуйте методи побудови енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів. Визначте їх переваги та недоліки.
7. Що таке характеристичні умови?

8. У яких випадках необхідно коригувати наявні енергетичні характеристики агрегатів?
9. Як в загальному випадку здійснюється таке коригування?

РОЗДІЛ 4. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ РОБОТИ ЕНЕРГОСПОЖИВАЮЧИХ АГРЕГАТІВ

Тема 13. Режими роботи та продуктивність обладнання безперервної дії

13.1. Обладнання безперервної дії та можливі режими його роботи.

13.2. Показники використання обладнання безперервної дії за потужністю та у часі.

13.3. Середня підведена потужність та середня питома витрата енергії агрегата при його роботі з перервами.

13.1. Обладнання безперервної дії та можливі режими його роботи

Під обладнанням безперервної дії розуміють такі технологічні агрегати, виробництво продукції на яких пов'язане тільки з витратами часу на корисну роботу. До таких агрегатів належать, наприклад, металообробка обладнання, компресори, насоси.

Режим роботи обладнання пов'язаний з характером його навантаження в часі. Агрегат може працювати безперервно або з перервами протягом деякого періоду часу. При цьому його продуктивність (навантаження) під час роботи може бути незмінною або змінюватися у часі. У зв'язку з цим розрізняють такі режими роботи обладнання безперервної дії (рис. 13.1).

Розглядаючи режим роботи обладнання з перервами, необхідно знати, що вони можуть характеризуватися чергуванням періодів корисної роботи з холостими ходами або чергуванням корисної роботи з періодами зупинки (повного вимкнення) обладнання.

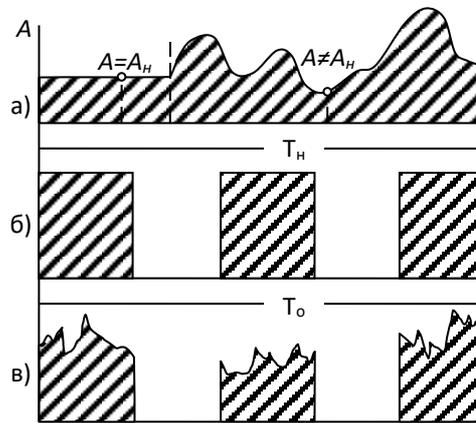


Рис. 13.1 – Режими роботи обладнання:

- а) неперервна робота з постійною і змінною продуктивністю;
- б) режим роботи з перервами з постійною продуктивністю;
- в) режим роботи з перервами зі змінною продуктивністю.

13.2. Показники використання обладнання безперервної дії за потужністю та у часі

Під продуктивністю технологічного обладнання розуміють обсяг випущеної продукції (або виконаної корисної роботи) за одиницю часу. Для обладнання безперервної дії характерне те, що його продуктивність може бути віднесена до багатьох малих відрізків або навіть моментів часу роботи агрегату. Інакше кажучи, продуктивність такого обладнання має миттєве значення і є синонімом навантаження агрегату. Проте найчастіше при визначенні поточної продуктивності обладнання безперервної дії як елементарний відрізок часу беруть одну годину. Годинна продуктивність обладнання безперервної дії, як і його миттєва продуктивність, є змінною величиною, яка належить до певних умов виробництва, параметрів технологічного процесу, а також до певного періоду часу [4, 26].

Величина миттєвої і годинної продуктивності обладнання співпадає у тому разі, коли агрегат працює безперервно з постійним навантаженням.

При безперервній роботі, але зі змінним навантаженням продуктивність обладнання в деякому відрізку часу характеризується її середньогодинною величиною A_n :

$$A_n = \frac{Q_n}{T_n}, \quad (13.1)$$

де T_n – час безперервної роботи обладнання; Q_n , – обсяг випуску продукції агрегатом за час T_n .

Значення годинної (або середньогодинної) продуктивності агрегату при безперервній роботі залежать тільки від навантаження обладнання за потужністю. Як відомо, для характеристики відносного завантаження обладнання за потужністю використовується коефіцієнт навантаження (коефіцієнт використання обладнання за потужністю), визначений як відношення середньогодинної продуктивності агрегату до його максимально можливої продуктивності за той самий відрізок часу T_n у конкретних умовах виробництва:

$$k_n = \frac{A_n}{A_{\max}}. \quad (13.2)$$

Показники годинної продуктивності обладнання належать до часу його безперервної роботи T_n . Вони є необхідними і достатніми для характеристики режиму роботи обладнання тільки в тому випадку, якщо в деякому календарному періоді часу T_0 відсутні перерви в роботі агрегату.

Загалом же календарний період T_0 містить не тільки час безперервної роботи T_n , але також і час перерв і простоїв обладнання T_c . Для характеристики продуктивності обладнання у всьому календарному періоді T_0 застосовують величину, середньокалендарну продуктивності A_0 (за зміну, добу, місяць і тому подібне), яка визначається:

$$A_o = \frac{Q_o}{T_o}, \quad (13.3)$$

де Q_o – випуск продукції за час T_o .

Показник A_o пов'язаний з величиною A_n через відносну тривалість безперервної роботи (ввімкнення) обладнання, яка може бути названа коефіцієнтом використання обладнання у часі і визначається:

$$k_t = \frac{T_n}{T_o} = \frac{T_n}{T_n + T_c}. \quad (13.4)$$

При цьому величина $T_o = T_n / k_t$, звідки:

$$A_o = \frac{Q \cdot k_t}{T_n} = A_n \cdot k_t. \quad (13.5)$$

На підставі (13.2) і (13.5) отримуємо залежність

$$A_o = A_n \cdot k_t = A_{\max} \cdot k_n \cdot k_t = A_{\max} \cdot k_t, \quad (13.6)$$

де k_t – інтегральний коефіцієнт, що характеризує використання обладнання як за потужністю, так і за часом.

Таким чином, енергетична економічність роботи технологічного обладнання безперервної дії істотно залежить від режиму його роботи, тобто від навантаження обладнання у часі. Причому навантаження на агрегат залежно від режиму його роботи необхідно оцінювати за допомогою різних показників його продуктивності (черговий, середньогодинний або середньокалендарний).

Величина навантаження агрегату значною мірою визначається показниками його навантаження за потужністю і часом, які відіграють важливу

роль і для аналізу використання і нормалізації витрат енергії технологічним обладнанням.

13.3. Середня підведена потужність та середня питома витрата енергії агрегата при його роботі з перервами

Обладнання безперервної дії може працювати протягом деякого періоду часу як безперервно, так і з перервами. Причому його навантаження під час роботи може бути як постійним, так і змінним.

При безперервній роботі обладнання енергетична економічність його роботи є однозначною функцією продуктивності. Для кожного конкретного значення продуктивності енергоекономічність роботи агрегату оцінюється за допомогою його енергетичної характеристики величиною підведеної потужності або питомої витрати енергії.

Під час роботи обладнання з перервами протягом деякого проміжку часу T_0 , при незмінній середньокалендарній продуктивності агрегату A_0 середня підведена потужність P_0 і середня питома витрата енергії d_0 можуть бути різними.

Вони можуть змінюватися залежно від характеру зміни навантаження агрегату у часі. Проте енергетичні характеристики обладнання не втрачають свого змісту.

На їх основі можна побудувати енергетичні діаграми, що відображають всі можливі режими роботи агрегату і відповідні ним області зміни значення P_0 і d_0 .

Для спрощення спочатку аналізується ефективність використання енергії обладнанням безперервної дії без обліку пускових витрат і додаткових втрат енергії нестационарного процесу, тобто втрат енергії, що виникають при переході з одного навантаження агрегату на інший. Перш за все необхідно пам'ятати, що енергетична економічність роботи обладнання у різних режимах залежить від форми його характеристики підведеної потужності. Тому необхідно розглядати

окремо кожен з відомих груп агрегатів, виявлених залежно від форми зазначеної характеристики.

Запитання для самоперевірки

1. Розкрийте сутність поняття «обладнання безперервної дії».
2. Охарактеризуйте можливі режими роботи обладнання.
3. В яких режимах технологічного (виробничого) навантаження можуть працювати агрегати безперервної дії?
4. Що являє собою продуктивність обладнання безперервної дії: миттєва, годинна, середньогодинна та середньокалендарна?
5. Які показники необхідно використовувати для визначення продуктивності агрегату при його роботі у кожному з можливих режимів виробничого навантаження?
6. Розкрийте сутність поняття «енергетична діаграма».

Тема 14. Енергетична економічність роботи обладнання безперервної дії

14.1. Енергетична діаграма та енергетична економічність роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності.

14.2. Енергетична діаграма та енергетична економічність роботи обладнання безперервної дії з ввігнутими характеристиками підведеної потужності.

14.3. Енергетична діаграма та енергетична економічність роботи обладнання безперервної дії з опуклими характеристиками підведеної потужності.

14.4. Продуктивність і енергетична економічність роботи устаткування циклічної дії.

14.5. Врахування пускових витрат енергії під час вибору режиму роботи агрегатів.

14.1. Енергетична діаграма та енергетична економічність роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності

При безперервній роботі обладнання з постійним навантаженням величина підведеної потужності за будь-якого значення продуктивності відповідно до залежності визначається:

$$P = P_{x,x} + d_{\text{ч}} A , \quad (14.1)$$

Розділивши обидві частини рівняння (14.1) на A , отримаємо рівняння характеристики питомої витрати енергії

$$d = \frac{P_{x.x}}{A} + d_{\text{ч}}. \quad (14.2)$$

У зазначених умовах витрата енергії за будь-який проміжок часу безперервною робота обладнання $T_{\text{н}}$ дорівнює:

$$W_{\text{н}} = P \cdot T_{\text{н}} = P_{x.x} \cdot T_{\text{н}} + d_{\text{ч}} \cdot Q_{\text{н}}, \quad (14.3)$$

Розділивши обидві частини виразу (14.3) на $T_{\text{н}}$, отримаємо:

$$P_{\text{н}} = \frac{W_{\text{н}}}{T_{\text{н}}} = P_{x.x} + d_{\text{ч}} A_{\text{н}}. \quad (14.4)$$

Потім, розділивши обидві частини останнього рівняння на $A_{\text{н}}$, отримуємо рівняння характеристики питомої витрати енергії

$$d_{\text{н}} = \frac{P_{x.x}}{A_{\text{н}}} + d_{\text{ч}}. \quad (14.5)$$

У рівняннях (14.4) і (14.5), на відміну від залежностей (14.1) і (14.2), фігурують вже не поточні (миттєві), а середньогодинні значення продуктивності обладнання і підведеної потужності, визначені за період безперервної роботи агрегату. Проте характер залежності між цими параметрами залишився незмінним, тобто константи в рівняннях підведеної потужності і питомої витрати енергії залишилися (рис. 14.1) [4, 26].

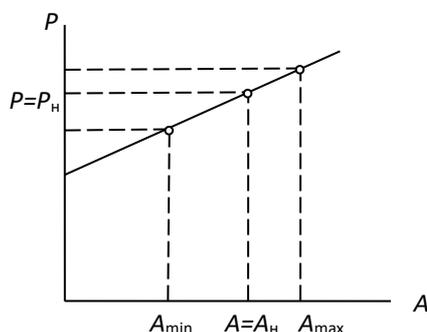


Рис. 14.1 – Співпадіння поточної і середньої підведеної потужності для агрегатів з прямолінійною характеристикою

Таким чином, на підставі викладеного можна зробити такі висновки:

1. При безперервній роботі обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності енергетичні характеристики режиму постійного навантаження агрегату одночасно є і характеристиками режиму його роботи зі змінним навантаженням.

2. Робота такого обладнання за однаковою продуктивністю (поточною або середньогодинною) в енергетичному відношенні дорівнює економічній як у постійному, так і змінному режимах навантаження, причому в останньому випадку – незалежно від характеру зміни навантаження агрегату за час його роботи, якщо при переході від одного значення навантаження до іншого не виникає додаткових витрат енергії.

Проте режим роботи обладнання у деякому календарному періоді може характеризуватися не тільки часом безперервної роботи, але також перервами і простоями. У цьому випадку оцінка енергетичної економічності роботи агрегату базується на середньокалендарних значеннях підведеної потужності і питомої витрати енергії.

Витрата енергії за час T_0 (без урахування пускових витрат), визначається виразом, аналогічним залежності (14.3):

$$W_o = P_{x,x} T_n + d_q Q, \quad (14.6)$$

оскільки при простоях і перервах з вимкненням обладнання енергія не витрачається. Характеристика середньокалендарної підведеної потужності і питомої витрати енергії матиме вигляд:

$$P_o = P_{x,x} \frac{T_n}{T_o} + d_{\text{ч}} \frac{Q}{T_o} = k_t P_{x,x} + d_{\text{ч}} A_o;$$

$$d_o = \frac{P_o}{A_o} = \frac{k_t P_{x,x}}{A_o} + d_{\text{ч}}. \quad (14.7)$$

Рівняння (14.7) відрізняються від раніше отриманих тим, що вони містять дві змінні величини: A_o і k_t . Отже, вони визначають собою вже не лінії, а області зміни значень P_o і d_o . Ці області є енергетичними діаграмами обладнання.

Енергетична діаграма роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності має вигляд, наведений на рис. 14.2.

Пряма $P_{x,x}-P_{\text{max}}$ на діаграмі відповідає випадку, коли $k_t=1$, тобто характеризує безперервну роботу обладнання протягом усього періоду часу T_o і є характеристикою залежності $P_n = f(A_n)$. У точці P_{max} цієї прямої агрегат працює з максимальною годинною продуктивністю. Таким чином, робота агрегату по прямій $P_{x,x}-P_{\text{max}}$ характеризується умовами:

$$T_o = T_n; A_o = A_n; k_t = 1; k_n = \text{var}. \quad (14.8)$$

$$T_o = \frac{T_n}{K_t}; A_o = k_t A_n = k_t A_{\text{max}}; k_n = 1; k_t = \text{var}. \quad (14.9)$$

Зазначеній прямій на діаграмі питомої витрати енергії відповідає крива d_1-d_2 . У точці d_2 , відповідно умові $A_o = A_{\text{max}}$, питома витрата енергії має найменшу величину.

Пряма $0-P_{\max}$ відповідає переривчастому режиму роботи обладнання з постійною годинною продуктивністю, що дорівнює A_{\max} , і з повним вимкненням агрегату на час перерв. Цей режим роботи обладнання характеризується умовами:

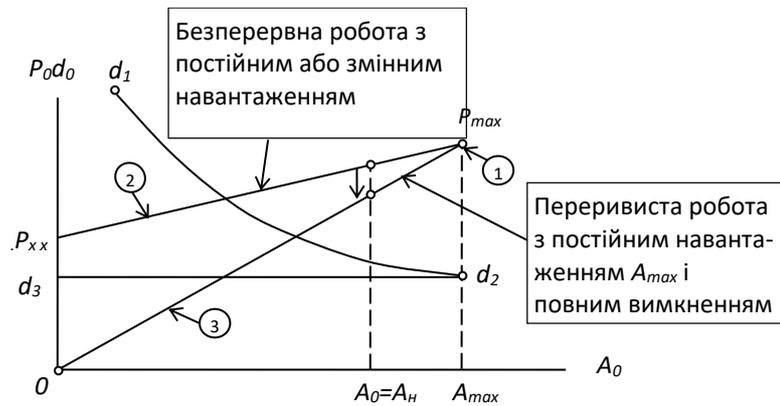


Рис. 14.2 – Енергетична діаграма для обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності

На діаграмі (рис. 14.2) питомої витрати енергії цьому режиму відповідає пряма d_3-d_2 . Прямі $P_{x,x}-P_{\max}$ і $0-P_{\max}$ є обмежувачами прямими енергетичної діаграми обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності і визначають собою найбільш характерні режими роботи таких агрегатів.

Розглянута енергетична діаграма дозволяє зробити такі висновки щодо режимів роботи обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності [9, 10]:

1. За відсутності обмежень програмою випуску продукції таке обладнання з точки зору витрати енергії доцільніше експлуатувати в режимі безперервної роботи з постійним навантаженням, що дорівнює A_{\max} , за якої забезпечується найменша величина питомої витрати енергії.

2. Якщо за умовами програми випуску продукції обладнання не може бути максимально навантажене протягом всього календарного періоду часу T_0 (тобто

$A_0 < A_{\max}$) і в той же час виробництво не допускає переривчастого режиму роботи агрегату, то з точки зору витрати енергії все одно, буде обладнання працювати безперервно з постійною зниженою продуктивністю A_0 або воно працюватиме зі змінним навантаженням, забезпечуючи середньогодинну продуктивність $A_H = A_0$. В обох випадках робота агрегату виконуватиметься за однією і тією самою характеристикою (пряма $P_{x,x} - P_{\max}$). Проте при умові вибору постійного або змінного режиму навантаження перевага завжди віддається режиму постійного навантаження. Це пов'язано як із додатковими втратами енергії, що виникають іноді при змінному навантаженні, так і з метою збереження обладнання і зручності його експлуатації.

3. Якщо у тих самих умовах неповного навантаження обладнання випуском продукції виробництво допускає роботу агрегату з перервами, то з точки зору витрати енергії доцільно переходити на переривчастий режим роботи, чергуючи періоди роботи при максимальній годинній продуктивності з перервами в роботі з повним вимкнення агрегату. У цьому випадку робота обладнання виконуватиметься за прямою $0 - P_{\max}$ на діаграмі підведеної потужності і за лінією $d_3 - d_2$ на діаграмі питомої витрати енергії.

14.2. Енергетична діаграма та енергетична економічність роботи обладнання безперервної дії з ввігнутими характеристиками підведеної потужності

Енергетична економічність безперервної роботи такого обладнання з постійним навантаженням оцінюється за допомогою енергетичних характеристик. При змінному режимі навантаження агрегату оцінюється іншим способом. При постійній кількості виробленої продукції показники енергоекономічності роботи обладнання зі змінним і постійним навантаженням не співпадають (рис. 14.3). На підставі наведеного графіка видно, що середня величина підведеної потужності P_H за період безперервної роботи обладнання зі змінним навантаженням не співпадає з поточним значенням підведеної

потужності P , відповідним середньогодинному значенню продуктивності агрегату A_H [4, 26].

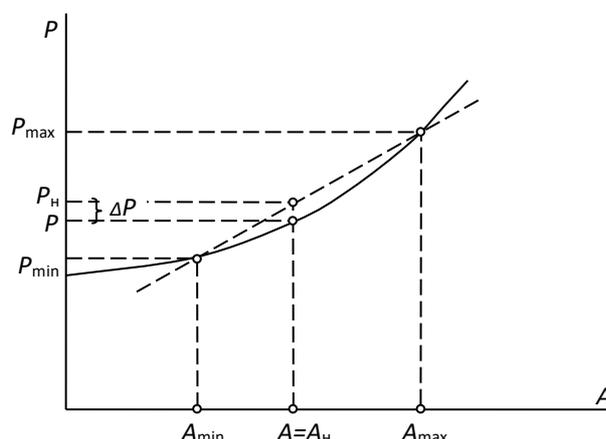


Рис. 14.3 – Неспівпадіння поточної і середньогодинної підведеної потужності для агрегатів з увігнутою характеристикою

Різниця між значеннями P_H і P характеризує додаткові втрати енергії змінного режиму навантаження у порівнянні з режимом постійного навантаження, які залежать від ступеня кривизни характеристики підведеної потужності і від діапазону зміни годинної продуктивності агрегату за час його безперервної роботи. Енергетична діаграма обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності може бути представлена у вигляді рис. 14.4. Заштрихована область відповідає безперервній роботі агрегату з різними режимами навантаження на протязі календарного періоду часу T_0 . Точка P_{\max} відповідає роботі обладнання у постійному режимі навантаження за максимальної годинної продуктивності A_{\max} . Проте найменша питома витрата енергії при безперервній роботі агрегату буде в точці b , яка відповідає роботі обладнання у постійному режимі навантаження з так званою економічною продуктивністю $A_{\text{ек}}$.

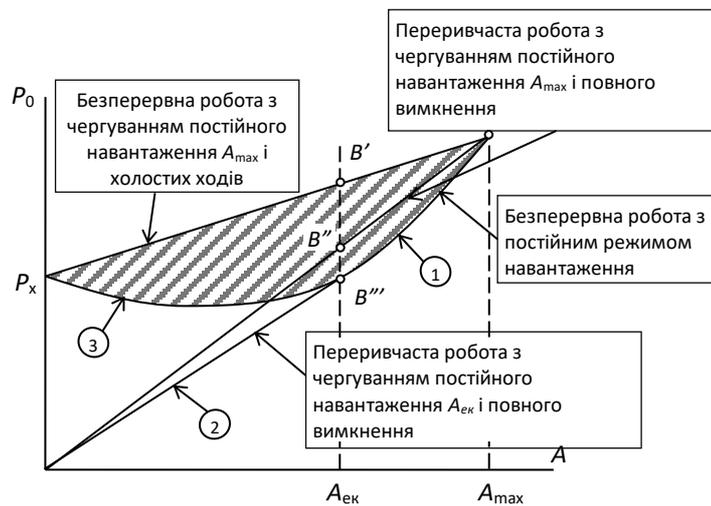


Рис. 14.4 – Енергетична діаграма для обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності

Крива $P_{x,x}-b-P_{max}$ характеризує режим постійного навантаження обладнання, найбільш вигідний в умовах безперервної роботи. Пряма $P_{x,x}-P_{max}$ відповідає найменш економічному з енергетичної точки зору режиму безперервної роботи агрегату, характеризується чергуванням періодів роботи за максимальної годинної продуктивності з холостими ходами.

Переривчасті режими роботи агрегату характеризуються на діаграмі прямими $0-P_{max}$ і $0-b$. Перша з них відповідає режиму чергування періодів роботи агрегату за максимальної годинної продуктивності A_{max} з повним вимкненням обладнання на час перерв, а друга – режиму чергування перерв з повним вимкненням агрегату з періодами роботи обладнання за економічної годинної продуктивності A_{ek} . Останній режим є найекономічнішим з точки зору витрати енергії, оскільки йому за заданої середньокалендарної продуктивності A_0 відповідає найменша величина середньокалендарної підведеної потужності P_0 , а отже, і найменша величина середньокалендарної питомої витрати енергії d_0 . Розглянута енергетична діаграма (рис. 14.4) дозволяє зробити висновки щодо енергетичної економічності роботи обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності [9, 10]:

1. Якщо за умовами виробничої програми такому обладнанню може бути задана середньокалендарна продуктивність, яка дорівнює або більша, ніж його економічна продуктивність (тобто $A_o \geq A_{ек}$), то з точки зору витрати енергії обладнання повинно працювати в режимі безперервної роботи з постійною годинною продуктивністю.

2. Якщо виробнича програма не забезпечує середньокалендарного навантаження обладнання за його економічною годинною продуктивністю (тобто $A_o < A_{ек}$), то з точки зору витрати енергії економічніше переходити на переривчастий режим роботи агрегату з чергуванням періодів роботи за постійного навантаження, що дорівнює економічній годинній продуктивності $A_{ек}$, з повним вимкненням обладнання.

3. Якщо у тих самих умовах навантаження обладнання випуском продукції ($A_o < A_{ек}$) виробництво не допускає переривчастого режиму роботи агрегату, то з точки зору витрати енергії обладнання слід експлуатувати в режимі безперервної роботи з постійним навантаженням, що дорівнює заданій середньокалендарній продуктивності A_o .

14.3. Енергетична діаграма та енергетична економічність роботи обладнання безперервної дії з опуклими характеристиками підведеної потужності

Для обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності під час роботи зі змінним навантаженням середньогодинна величина підведеної потужності і середньогодинна питома витрата енергії при заданій середньогодинній продуктивності A_n не дорівнюють підведеній потужності і питомій витраті енергії під час роботи агрегату з постійною годинною продуктивністю $A=A_n$ (рис. 14.5). Різниця між вказаними значеннями підведеної потужності характеризує в даному випадку не додаткові витрати, а економію

енергії при змінному режимі навантаження у порівнянні з режимом роботи з постійним навантаженням [4, 26].

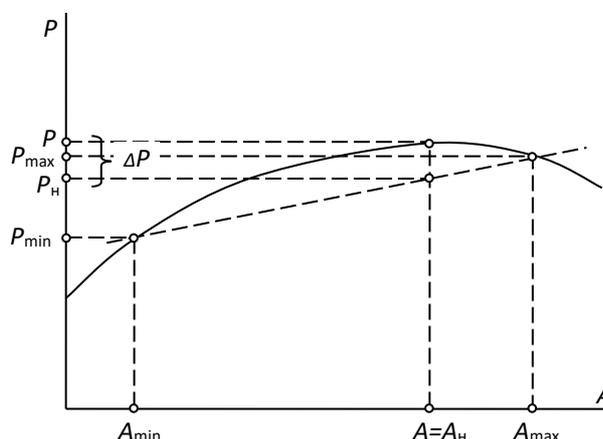


Рис. 14.5 – Неспівпадіння поточної і середньої підведеної потужності для агрегатів з опуклою характеристикою

Енергетична діаграма роботи обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності наведена на рис. 14.6. Заштрихована область характеризує безперервну роботу агрегату з різними режимами навантаження. Точка P_{\max} відповідає безперервній роботі з постійним навантаженням, що дорівнює максимальній годинній продуктивності обладнання A_{\max} , за якої буде найменше значення питомої витрати енергії. Крива $P_{x,x}-b-P_{\max}$ відповідає безперервній роботі обладнання в режимі постійного навантаження, який є найменш економічним з енергетичної точки зору за будь-яких умов, оскільки йому за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності відповідає найбільше значення середньокалендарної підведеної потужності P_0 .

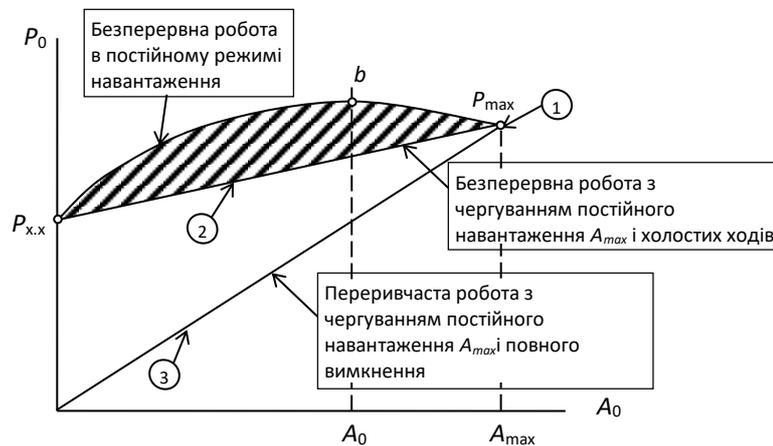


Рис. 14.6 – Енергетична діаграма для обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності

Пряма $P_{x,x}-P_{max}$ характеризує безперервну роботу агрегату з чергуванням корисної роботи за максимальної годинної продуктивності A_{max} з холостими ходами обладнання. Цей режим в умовах безперервної роботи агрегату за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності з точки зору споживання енергії економічніший, ніж робота з постійним навантаженням, що дорівнює тій самій середньокалендарній продуктивності A_0 .

Пряма $0-P_{max}$ відповідає переривчастому режиму роботи обладнання з чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності A_{max} і перерв з повним вимкненням агрегату. Цей режим є з енергетичної точки зору найекономічнішим за будь-якої заданої середньокалендарної продуктивності, меншій, ніж його максимальна годинна продуктивність.

На підставі енергетичної діаграми обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності можна зробити висновки [9, 10]:

1. Безперервна робота агрегату з постійним навантаженням з точки зору витрати енергії вигідна тільки тоді, коли виробнича програма дозволяє навантажити обладнання на величину його максимальної годинної продуктивності A_{max} протягом усього календарного періоду часу T_0 .

2. Для безперервної роботи обладнання, визначних умов виробництва і

заданій неповній середньокалендарній продуктивності агрегату $A_0 < A_{\max}$, з точки зору витрати енергії найекономічніше експлуатувати його в режимі чергування періодів роботи за максимальної годинної продуктивності з холостими ходами або з роботою за мінімальною годинною продуктивністю обладнання.

3. У тих самих умовах неповного завантаження обладнання випуском продукції ($A_0 < A_{\max}$), але допустимості переривчастої роботи, з енергетичної точки зору найекономічніше переходити на переривчастий режим роботи агрегату з чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності і перерв з повним вимкненням обладнання.

Таким чином, незважаючи на різні можливі режими роботи обладнання безперервної дії доцільно чотири режими:

1. Безперервна робота з постійним навантаженням агрегату. Цей режим допустимий для обладнання з прямолінійними і увігнутими характеристиками за будь-якого заданого значення його середньокалендарної продуктивності, а для обладнання з опуклими характеристиками – тільки за постійного навантаження, яка дорівнює максимальній годинній продуктивності агрегату.

2. Безперервна робота зі змінним навантаженням. Цей режим допустимий тільки для обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності.

3. Переривчастий режим, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи за максимальної годинної продуктивності агрегату з холостими ходами обладнання або роботою з мінімальною годинною продуктивністю. Цей режим допустимий в умовах обов'язкової безперервної роботи для обладнання з прямолінійними та опуклими характеристиками підведеної потужності і є недопустимим для агрегатів з увігнутими характеристиками.

4. Переривчастий режим, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи за максимальної або економічної годинної продуктивності агрегату і перерви у роботі з повним вимкненням обладнання.

У всіх розглянутих режимах, окрім безперервної роботи обладнання із змінним навантаженням, питома витрата енергії є сталою величиною за будь-

якої заданої середньокалендарної продуктивності агрегату. Таким чином, встановивши конкретний режим роботи обладнання, легко визначити за його енергетичною характеристикою норму питомої витрати енергії, точно відповідну вибраному режиму і заданій середньокалендарній продуктивності агрегату.

Якщо за умовами виробництва годинна продуктивність обладнання є незмінною, слід передбачити деякий діапазон можливої її зміни щодо встановленої середньої величини. У цьому випадку енергетична характеристика або діаграма агрегату дозволяє встановити відповідний діапазон допустимої зміни середньої питомої витрати енергії. При цьому норма питомої витрати енергії задається середнім значенням у визначеному діапазоні.

14.4. Продуктивність і енергетична економічність роботи устаткування циклічної дії

До обладнання циклічної дії належать, наприклад, металорізальні верстати, прокатні стани, молоти, преси, печі тощо. Виробництво продукції на такому обладнанні пов'язане не тільки з часом ефективної (корисної) роботи, але і з додатковим часом, що є складовою частиною робочого циклу таких агрегатів. Додатковий включає, наприклад, час установки і знімання деталей, підведення і відведення різальних інструментів та інші витрати часу, обумовлені технологічними і конструктивними чинниками. У зв'язку із зазначеними обставинами час безперервної роботи обладнання циклічної дії T_n можна розглядати тільки як подібність того самого часу для обладнання безперервної дії. Час T_n для агрегатів циклічної дії є сумою тривалості повних циклів його роботи, що здійснюються за даний період:

$$T_n = \sum_{i=1}^n T_{p_i} = \sum_{i=1}^n (T_n + T_b)_i = \sum_{i=1}^n (T_n + T_{x.x} + T_c)_i, \quad (14.10)$$

де T_p – тривалість одного робочого циклу агрегату; n – число повних циклів роботи за даний період часу; T_n – тривалість корисної роботи обладнання; T_b – допоміжний час, що складається в загальному випадку з часу холостого ходу $T_{x.x}$ і тривалості перерви в роботі з повним вимкненням агрегату T_c .

Для обладнання циклічної дії випуск продукції обліковується тільки за повний цикл його роботи або за ряд повних циклів. Тому поточна величина годинної продуктивності A агрегату циклічної дії є фіктивною величиною, відповідною годинній продуктивності обладнання, допоміжний час для якого становить нескінченно малу величину у порівнянні з часом його корисної роботи [4, 26].

Середньогодинна продуктивність A_n обладнання циклічної дії розглядається також тільки як подібність даного показника для обладнання безперервної дії. При цьому, якщо за кожний робочий цикл проводиться Q_p одиниць продукції, то середньогодинна продуктивність агрегату циклічної дії за час безперервної його роботи становитиме

$$A_n = \frac{Q_p}{T_p} = \frac{Q_p}{T_n + T_b} \quad \text{або} \quad A_n = \frac{n \cdot Q_p}{\sum_{i=1}^n T p_i}. \quad (14.11)$$

З формули (14.11) видно, що середньогодинна продуктивність обладнання циклічної дії залежить не тільки від кількості виробленої продукції, але також і від тривалості робочого циклу агрегату. Тому підвищити середньогодинну продуктивність обладнання циклічної дії необхідно не тільки шляхом збільшення його навантаження за потужністю, але і шляхом покращення його використання в часі (подібно до того, як може бути підвищена середньокалендарна продуктивність обладнання безперервної дії). Це може досягатися як шляхом збільшення одночасно оброблюваних виробів (наприклад, на багатошпindelних верстатах), так і шляхом зменшення часу корисної роботи і скорочення допоміжного часу в робочому циклі агрегату.

Значення середньокалендарної продуктивності A_0 обладнання циклічної дії не відрізняються від аналогічних значень для обладнання безперервної дії, оскільки ця величина як у першому, так і в другому випадках відображає відносну тривалість безперервної роботи, перерв і простоїв агрегату, що виходять за межі їх робочих циклів.

Для відрізків часу $T_0 \leq T_n$ при безперервній роботі обладнання циклічної дії, побудувати характеристику підведеної потужності, відповідну данному режиму, неможливо, оскільки за час T_n не можна визначити продуктивність агрегату. Отже, енергетична характеристика для такого обладнання може бути побудована тільки на відрізку часу $T_0 \geq T_p$.

Якщо розглядати роботу агрегату циклічної дії за час $T_0 \leq T_n$ (тобто за час, що не містить тривалість перерв, пов'язаних з режимом роботи підприємства), то, очевидно, можливі два стани обладнання протягом допоміжного часу:

- холостий хід агрегату;
- повне вимкнення обладнання.

Ті ж два стани обладнання можливі і під час перерв, пов'язаних з режимом роботи підприємства (міжзмінні перерви, вихідні, святкові дні та ін.).

Таким чином, енергетична діаграма роботи обладнання циклічної дії (рис. 14.7) подібна енергетичній діаграмі для обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності (рис. 14.2). Проте енергетична діаграма для обладнання циклічної дії не містить характеристики, відповідної безперервній роботі агрегату з постійним навантаженням. Отже, можливі тільки два режими, в яких з енергетичної точки зору доцільно використовувати обладнання циклічної дії:

- безперервний режим із чергуванням роботи за максимальної або економічної продуктивності з холостими ходами агрегату на протязі додаткового часу або часу перерв;
- переривистий режим із чергуванням роботи за максимальної або економічної продуктивності з повним вимкненням обладнання на протязі додаткового часу або часу перерв.

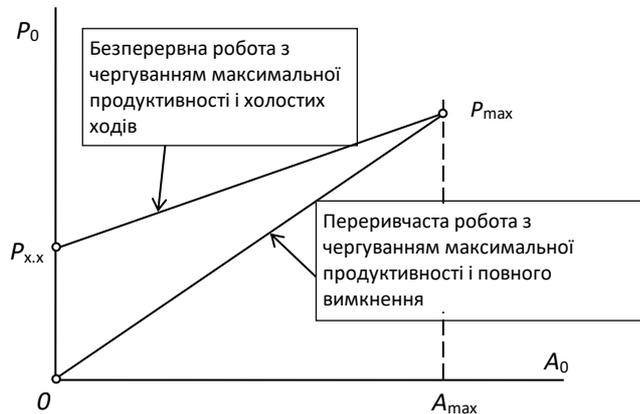


Рис. 14.7 – Енергетична діаграма для обладнання циклічної дії

Якщо не брати до уваги додаткові витрати енергії, пов'язані з вимкненням обладнання і подальшим його включенням у роботу, то з точки зору енергозбереження, перевагу слід надати переривчастому режиму роботи агрегатів циклічної дії з повним їх вимкненням на протязі додаткового часу або часу перерв. Проте остаточний вибір між зазначеними двома режимами роботи (як, втім, і для обладнання безперервної дії) необхідно здійснювати з урахуванням додаткових витрат і втрат енергії, що виникали в результаті вимкнення і подальшого включення агрегатів у роботу.

14.5. Врахування пускових витрат енергії під час вибору режиму роботи агрегатів

У роботі будь-якого обладнання практично завжди необхідні перерви. Як вже було сказано, під час роботи з перервами можливі два режими:

- повне вимкнення обладнання на час перерви;
- холостий хід агрегату.

Кожна зупинка обладнання і його подальше включення у роботу пов'язані з появою додаткових пускових втрат і втрат енергії нестационарного режиму

роботи агрегату. Скорочено їх називають пусковими витратами енергії. Режим холостого ходу обладнання завжди пов'язаний з додатковими втратами енергії на холостий хід. Таким чином, у кожному конкретному випадку завжди виникає питання про доцільність вибору одного з двох зазначених режимів.

У загальному випадку пускові витрати енергії для деякого агрегату складаються зі [26]:

- втрат акумульованої в устаткуванні енергії під час його зупинки, які повинні бути відшкодовані при подальшому пуску агрегату (наприклад, втрати теплової енергії у результаті охолодження печі під час простою);
- втрат, що виникають у результаті розсіяння енергії у навколишнє середовище за час пуску обладнання, тобто до моменту його включення в корисну роботу (наприклад, втрати на випромінювання теплової енергії поверхнею печі при її розігріванні);
- втрат енергії у зв'язку з нестаціонарністю процесу у початковий період після ввімкнення обладнання і у період між припиненням подачі енергії і повною зупинкою агрегату.

Для частини обладнання пускові витрати енергії невеликі і не залежать від тривалості простою (наприклад, для електроприводу). Для інших же видів обладнання ці витрати енергії дуже значні й істотно залежать від тривалості простою (наприклад, печі, сушильні й холодильні установки, камери вулканізації та ін.). Таким чином, питання про режим увімкнення обладнання на час перерв у його роботі має неоднакове значення для установок з різною величиною пускових витрат енергії. Вирішити це питання можна тільки шляхом зіставлення величини додаткових втрат енергії, що виникають у кожному з даних режимів перерви у роботі обладнання.

Припустимо що, під час перерви у роботі з повним вимкненням агрегату додаткові втрати енергії дорівнюватимуть деякій величині $W_{\text{пуск}}$. При перерві з холостим ходом обладнання додаткові втрати енергії визначаються виразом

$$W_{x,x} = P_{x,x} T_c, \quad (14.12)$$

де $P_{x.x}$ – потужність холостого ходу агрегату; T_c – тривалість перерви в роботі обладнання.

Прирівнюючи зазначені втрати енергії і вирішуючи відповідне рівняння щодо T_c , отримаємо тривалість перерви, що називається критичною, за якої обидва режими дають однакові додаткові втрати енергії:

$$T_{c.кр} = \frac{W_{пуск}}{P_{x.x}}. \quad (14.13)$$

При цьому, якщо тривалість перерви не перевищує величини $T_{c.кр}$, не слід вимикати обладнання на час перерви в його роботі. Якщо ж тривалість перерви більше $T_{c.кр}$, то з енергетичної точки зору доцільне повне вимкнення агрегату на час перерви.

Для обладнання, пускові витрати енергії якого залежать від тривалості перерви, вибір режиму вимкнення агрегату на час перерв у його роботі вирішується на підставі порівняння додаткових втрат енергії холостого ходу із залежністю $W_{пуск} = f(T_c)$ (рис. 14.8). Визначення залежності пускових витрат енергії від тривалості перерви в роботі агрегату ґрунтується на проведенні спеціальних випробувань обладнання. Воно зводиться до встановлення величини пускових витрат енергії на одну зупинку-простій-пуск агрегату для випадків різної тривалості його простоїв.

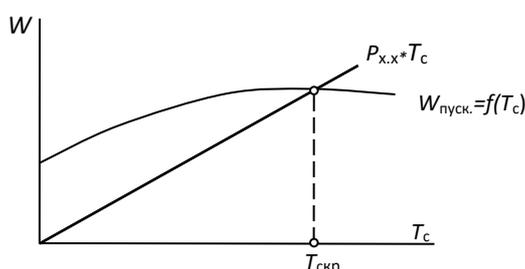


Рис. 14.8 – Вибір режиму ввімкнення обладнання
на час перерви у роботі

Розглянуте питання має практичне значення в організації роботи обладнання як безперервної, так і циклічної дії. Для перших це питання може виникнути у змінному, добовому, тижневому або навіть місячному розрізі, а для інших, крім того, також і у межах тривалості робочого циклу агрегату.

Запитання для самоперевірки

1. Опишіть енергетичну діаграму для агрегатів безперервної дії з прямолінійною характеристикою підведеної потужності.
2. Вкажіть режими роботи агрегату з прямолінійною характеристикою, які є найбільш та найменш енергоефективними при різних значеннях його продуктивності.
3. Опишіть енергетичну діаграму для агрегатів безперервної дії з ввігнутою характеристикою підведеної потужності.
4. Вкажіть режими роботи агрегату з ввігнутою характеристикою, які є найбільш та найменш енергоефективними при різних значеннях його продуктивності.
5. Опишіть енергетичну діаграму для агрегатів безперервної дії з опуклою характеристикою підведеної потужності.
6. Вкажіть режими роботи агрегату з опуклою характеристикою, які є найбільш та найменш енергоефективними при різних значеннях його продуктивності.
7. Опишіть особливості енергетичної діаграми для обладнання циклічної дії.
8. Що являють собою пускові витрати енергії?
9. Охарактеризуйте витрати та втрати енергії входять до складу пускових витрат енергії.

10. Як враховуються пускові витрати енергії при виборі енергоефективних режимів роботи агрегатів?

РОЗДІЛ 5. ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ДОСЯГНУТОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗОВИХ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Тема 15. Отримання необхідної інформації стосовно рівня досягнутої енергоефективності за результатами енергетичного аналізу

15.1. Основні терміни та визначення.

15.2. Послідовність отримання відповідної інформації щодо рівня досягнутої енергоефективності з енергетичного аналізу.

15.1. Основні терміни та визначення

Базовий рівень енергоспоживання (BRE) — це кількісний показник для обчислення економії енергії, що застосовується як точка відліку для відображення ситуації до і після впровадження заходів з енергоефективності, шляхом порівняння рівнів досягнутої та досяжної енергоефективності. Його можна визначити, використовуючи показники енергоефективності для виробничих підрозділів, систем, процесів або обладнання та підприємства в цілому. BRE встановлюють для певного проміжку часу, що називається періодом дії базового рівня [3, 7, 23].

Період дії базового рівня має бути досить тривалими для того, щоб врахувати всі можливі варіанти режиму роботи підприємства, а також щоб охопити всі зміни у визначальних змінних, таких як сезонність виробництва, погодні умови тощо. Частота, з якою підприємство отримує дані, також є важливим чинником у визначенні відповідного періоду дії BRE.

Зазвичай період дії BRE становить 12 місяців (один календарний рік) для узгодження цього періоду з періодом дії цілей з енергоменеджменту та бізнес-цілей підприємства. Також, один рік охоплює повний спектр бізнес-циклів, що змінюються в залежності від ринкового попиту на вироблену продукцію.

Однак може бути також і інша тривалість періоду дії базового рівня.

Так, наприклад, БРЕ тривалістю менше одного року можуть визначатися в тих випадках, коли немає сезонності в енергоспоживанні або якщо більш короткий період може охопити всі можливі режими роботи підприємства. БРЕ такої тривалості може бути застосована, коли є недостатня кількість історичних даних, і наявні лише поточні.

У випадках, коли підприємство має дуже короткі річні виробничі цикли, або продукцію виробляють протягом декількох місяців щороку і майже не виробляють протягом решти року застосовуються БРЕ тривалістю понад один рік. Наприклад, для виноробного заводу кожного року необхідно відстежувати рівень досягнутої/досяжної енергоефективності лише під час періоду дроблення та бродіння, однак це можливо здійснювати лише протягом декількох років.

Базовий рівень енергоспоживання має бути унормованим з використанням параметрів, що впливають на енерговикористання та/чи енергоспоживання, наприклад рівень виробництва продукції, кількість градусо-днів тощо (рис. 15.1) [7, 23].

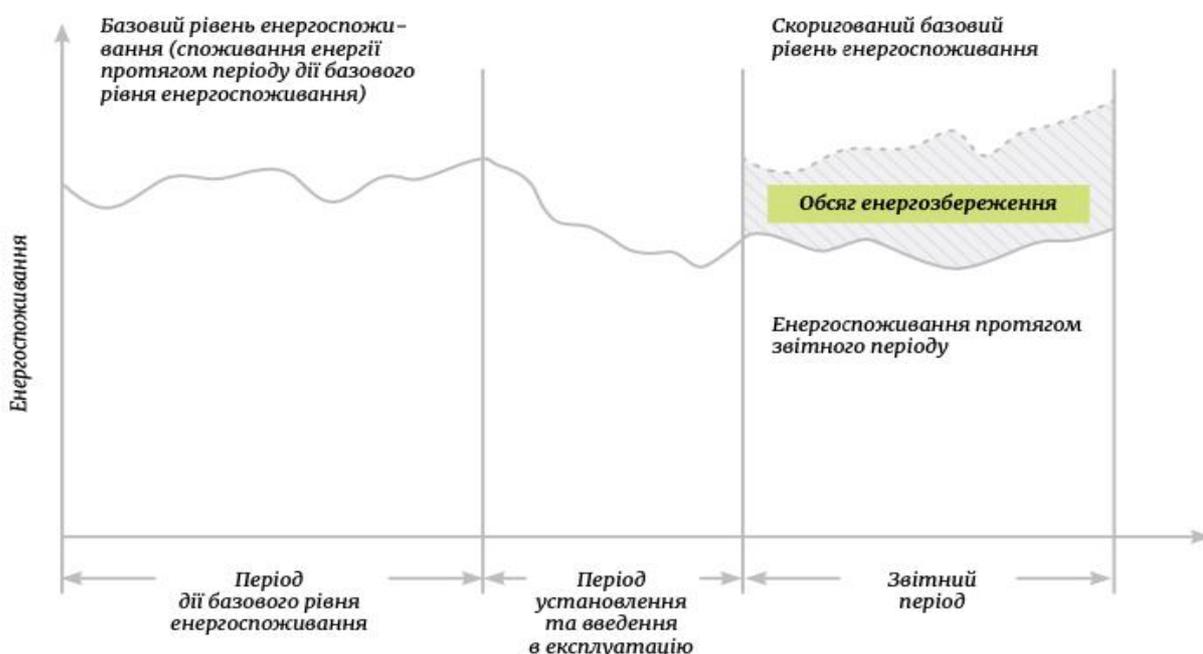


Рис. 15.1 – Наочне відображення застосування базового рівня енергоспоживання

На рис. 15.1 під звітним періодом розуміється проміжок часу в майбутньому, за який підприємство планує оцінити зміни показників енергоефективності відносно періоду дії БРЕ. Рівень досягнутої/досяжної енергоефективності (енергорезультативність) – вимірювані результати щодо існуючого рівня енергоефективності та потенційного, який можливо досягти завдяки впровадженню заходів з енергоефективності. Його може бути виражено в одиницях енергоспоживання (наприклад, ГДж, кВт·год), питомого енергоспоживання, (наприклад, кВт·год/одиницю продукції), пікової потужності (наприклад, кВт), відсоткової зміни в ефективності або безрозмірними величинами тощо.

Визначення переліку основних чинників та персоналу, що впливають на енергоспоживання

Всі чинники, що впливають на енергоспоживання, можна умовно розділити на статичні чинники та визначальні змінні [7, 17, 23].

Під статичним чинником (static factor) розуміється визначений чинник, який значно впливає на енергетичну результативність та який не змінюється. При цьому критерії значущості встановлює саме підприємство. Такими чинниками, наприклад, можуть бути розміри будівлі, конструкція встановленого обладнання, кількість працюючих змін, асортимент продукції тощо.

Під визначальною змінною (relevant variable) розуміється кількісний чинник, який зазвичай впливає на енергетичну результативність і який щоденно змінюється. При цьому критерії значущості також встановлює саме підприємство. Такими чинниками, наприклад, можуть бути погодні умови, умови виробництва (температура всередині, рівень освітленості), робочий час, кількість виробленої продукції тощо.

Визначення переліку основних чинників та персоналу, що впливають на енергоспоживання, може здійснюватися спочатку методом опитування персоналу (для формування первинного переліку чинників), а вже потім із залученням відповідних математичних методів аналізу даних (наприклад, факторного аналізу).

В загальному випадку рівень досягнутої/досяжної енергоефективності підприємства визначається в послідовності, що відображена на рисунку 15.2.

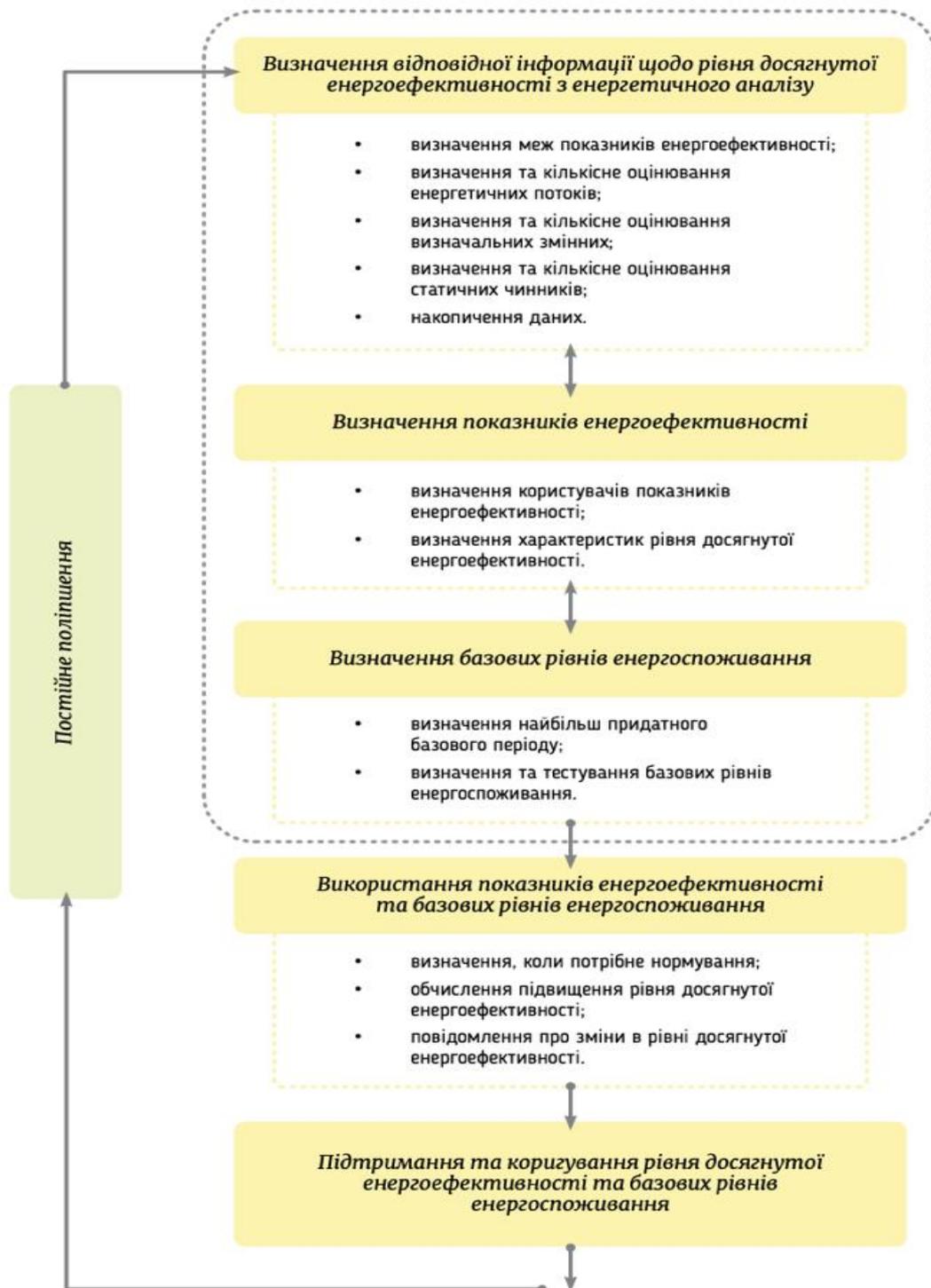


Рис. 15.2 – Узагальнена схема вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності [23]

Для порівняння енергорезультативності за період дії базового рівня енергоспоживання та за звітним періодом, проводять обчислення різниці значень показників енергетичної ефективності за обидва періоди.

Показник енергетичної ефективності (ПЕЕ) – кількісне значення чи міра енергорезультативності, що визначає підприємство. ПЕЕ може бути представлено простою метричною одиницю, коефіцієнтом або складною моделлю.

Встановлення базових рівнів енергоспоживання та визначення показників енергетичної ефективності рекомендується виконувати згідно рекомендацій ДСТУ ISO 50001:2020 та ДСТУ ISO 50006:2016 [22, 23].

Для того, щоб забезпечити досягнення безперервного процесу покращення енергорезультативності на підприємстві, необхідно постійно впроваджувати заходи з енергоефективності. Такі заходи розробляються під час проведення енергоаудиту або в межах функціонування системи енергетичного менеджменту. Впровадження заходів з енергоефективності здійснюється в рамках виконання енергетичних завдань підприємства. Показником успішності реалізації цих завдань є досягнення планових ПЕЕ у порівнянні з BRE.

Енергетичне завдання – це кількісно виражена ціль щодо поліпшення енергетичної результативності підприємства. Наприклад: зменшення річного споживання електричної енергії цехом № 1 на 10 % від споживання електричної енергії в попередньому році.

Зв'язок між енергорезультативністю, енергетичними завданнями, BRE та ПЕЕ показано на рис. 15.3, де проілюстровано простий випадок, коли безпосереднє виміряне енергоспоживання використовують як ПЕЕ, а значення енергорезультативності порівнюють у період дії базового рівня енергоспоживання із звітним періодом.

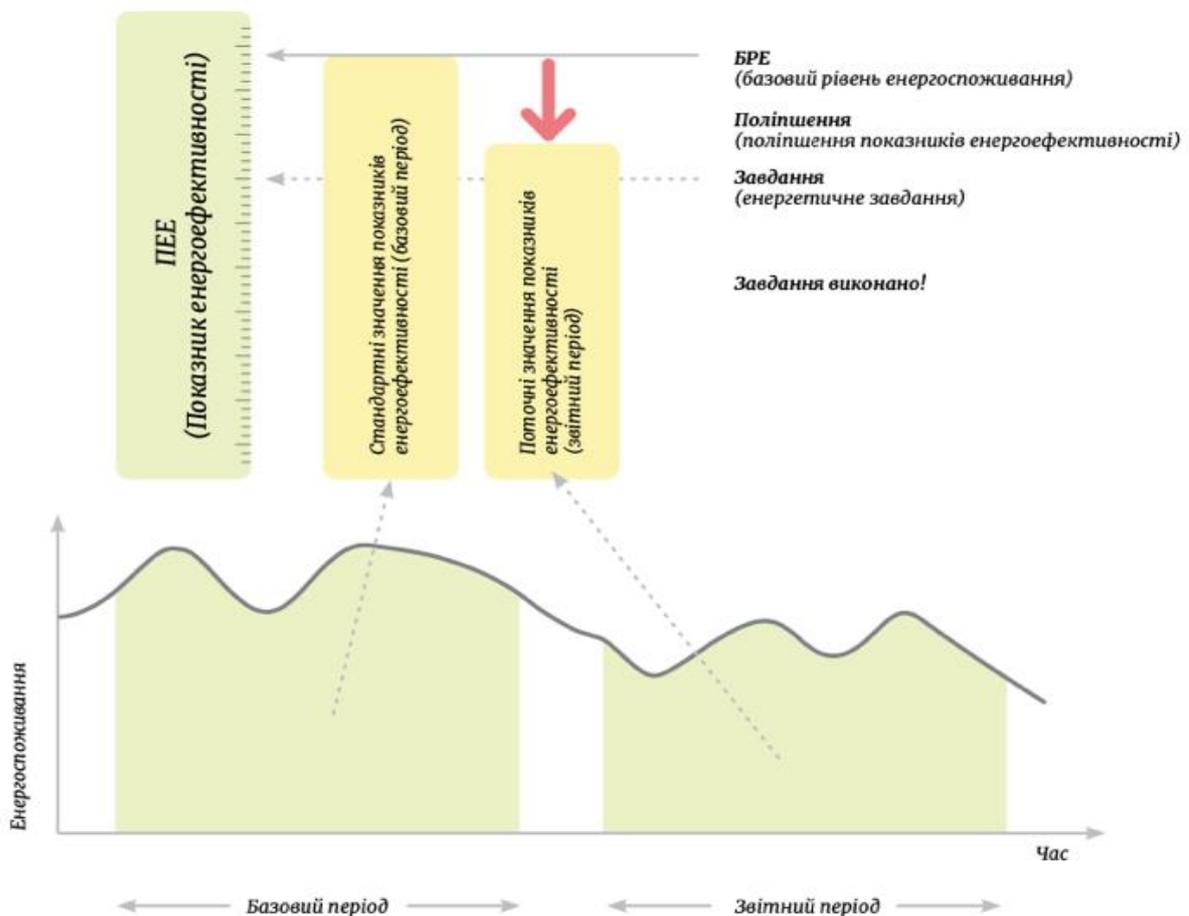


Рис. 15.3 – Взаємозв'язок між енергорезультативністю, енергетичними завданнями, BRE та ПЕЕ [23]

У тих випадках, коли підприємство вирішило, що визначальні змінні (погодні умови, виробництво, кількість робочих годин підприємства тощо), впливають на енергорезультативність, необхідно унормувати ПЕЕ та відповідні їм BRE. Це дає можливість порівняти рівень досягнутої/досяжної енергоефективності за еквівалентних умов.

15.2. Послідовність отримання відповідної інформації щодо рівня досягнутої енергоефективності з енергетичного аналізу

Енергетичний аналіз надає корисну інформацію стосовно рівня досягнутої енергоефективності для формування ПЕЕ та BRE. Встановлення належних ПЕЕ та відповідних їм BRE потребує доступу до наявних енергетичних даних

організації, аналізу даних та оброблення інформації щодо енергетичних ресурсів. Розглянемо послідовність отримання інформації щодо рівня досягнутої енергоефективності з енергетичного аналізу [8, 23].

1. Визначення меж показників енергоефективності

Сфера застосування системи енергоменеджменту та межі охоплюють зону діяльності, в межах якої організація керує рівнем досягнутої енергоефективності.

Для вимірювання рівня досягнутої енергоефективності треба визначити прийнятні межі вимірювання кожного ПЕЕ. Вони називаються межами ПЕЕ та можуть перекриватися.

Примітка. Спочатку визначають користувачів ПЕЕ та їхні потреби, а потім визначають відповідні межі ПЕЕ.

Під час визначення меж ПЕЕ треба розглянути:

- організаційні обов'язки, пов'язані з енергоменеджментом;
- легкість виділення меж ПЕЕ за допомогою вимірювання енергії та визначальних змінних ;
- межу системи енергоменеджменту;
- організація визначає як пріоритет контроль і поліпшення об'єктів із суттєвим енерговикористанням (СВЕ) або їх групу;
- спеціальне обладнання, процеси та підпроцеси, які організація хоче виділити та керувати ними.

Існують три основні рівні межі ПЕЕ – індивідуальні, системні та організаційні, їхній опис наведено в табл. 15.1.

Три рівні межі ПЕЕ

<i>Рівні межі ПЕЕ</i>	<i>Опис та приклади</i>
Індивідуальний об'єкт/обладнання/процес	Межу ПЕЕ може бути визначено навколо фізичного периметра одного об'єкта/обладнання/процесу, які організація хоче контролювати та покращувати <i>Приклад.</i> Обладнання для вироблення пари
Системний	Межу ПЕЕ може бути визначено навколо фізичного периметра групи об'єктів/процесів/обладнання, що взаємодіють один з одним, які організація хоче контролювати та покращувати <i>Приклад.</i> Обладнання для вироблення та використання пари, таке як сушарка
Організаційний	Межу ПЕЕ може бути визначено навколо фізичного периметра об'єктів/процесів/обладнання також з урахуванням відповідальності в енергоменеджменті осіб, команд, груп або структурних одиниць, призначених організацією <i>Приклад.</i> Пара, придбана для заводу/заводів або відділу організації

2. Визначення та кількісне оцінювання потоків енергії

Після того, як визначено межу ПЕЕ, необхідно визначити енергію, що протікає через межу. Організація може використовувати схему, показану на рис.15.4, щоб визначити інформацію про енергію, необхідну для встановлення ПЕЕ. Ці fence діаграми або карти енергії наочно показують потік енергії всередині та через межу ПЕЕ. Вони також можуть містити додаткову інформацію, таку як точки вимірювання та матеріальні потоки, які важливі для аналізу енерговикористання та встановлення ПЕЕ.

Організація повинна оцінювати потоки енергії через межу ПЕЕ, зміни рівня запасів палива, а також кількість будь-якої накопиченої енергії.

ПЕЕ та БРЕ для СВЕ потребують добре визначених меж для того, щоб кількісно визначити потоки енергії. Важливим чинником для кожного СВЕ є відповідні прилади обліку для вимірювання енергоспоживання, яке перетинає межу СВЕ, а також наявність даних про визначальні змінні.

Практичні поради. Визначення та кількісне оцінювання визначальних змінних

Організації часто важко зрозуміти ступінь взаємозв'язку між змінними та енергоспоживанням. Нижче описано метод оцінювання суттєвості впливу змінних на енергоспоживання.

По-перше, важливо зрозуміти будь-які тенденції в енергоспоживанні та в потенційно визначальних змінних. Їх може бути побудовано протягом тривалого часу на графіку тренду. Це дасть змогу організації отримати свідчення щодо впливу сезонності чи свідчення залежності змінних від енергоспоживання. Наприклад, якщо енергоспоживання збільшуватиметься в холодні зимові місяці через нагрівання. Якщо навантаження пов'язано з охолодженням, споживання збільшуватиметься протягом літніх місяців, як показано на рис.15.5.

Після оцінювання видимих тенденцій в енергоспоживанні та змінних, організація може оцінити значимість співвідношення. Для цього організація може побудувати простий X-Y графік залежності енергоспоживання та змінних. Якщо змінна є визначальною, можна очікувати, що буде видима залежність в розкиді точок. Якщо точки розкидано наближено до математичної функції, що відповідає лінії тренду, то це свідчить про наявність визначальних змінних (рис. 15.6 a) і 15.6 b)). Якщо точки розташовано у вигляді випадкової хмари, без видимого порядку, змінна ймовірно не є визначальна (див. рис. 15.6 c)).

У багатьох випадках проста лінійна залежність є достатньою для визначення визначальності. Деякі змінні можуть виявитись нелінійно залежними, і організація повинна вирішити, як долучити ці змінні в розрахунок ПЕЕ.

Якщо певна визначальна змінна не є однозначно пов'язаною з енергоспоживанням, організація може використовувати змодельовану ПЕЕ з двома або більше визначальними змінними. Крім того, межі ПЕЕ можна розділити, щоб виокремити енергоспоживання, яке значною мірою пов'язано лише з однією змінною.

Певні визначальні змінні можуть проявляти спільну лінійність, тобто дві або більше змінних послідовно змінюються разом. Щоб визначити цю ситуацію, організація може побудувати X-Y діаграму змінних. Якщо організація визначає, що спільна лінійність існує, треба використовувати змінну, яка має більший вплив на енергоспоживання і повинна використовувати іншу змінну як константу.

Якщо робочі моделі та значення визначальних змінних значно відрізняються, важливо забезпечити, щоб дані було проаналізовано для кореляції з правильною частотою, щоб упевнитись, що вплив кожної змінної оцінено належним чином.

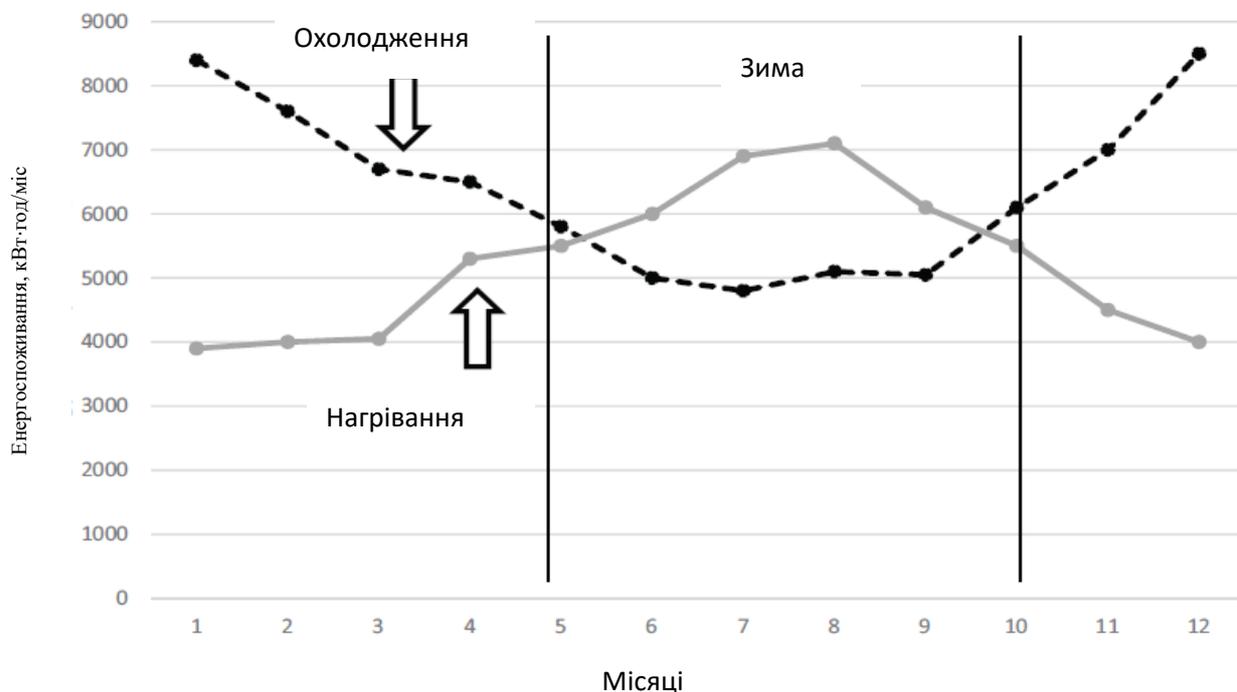
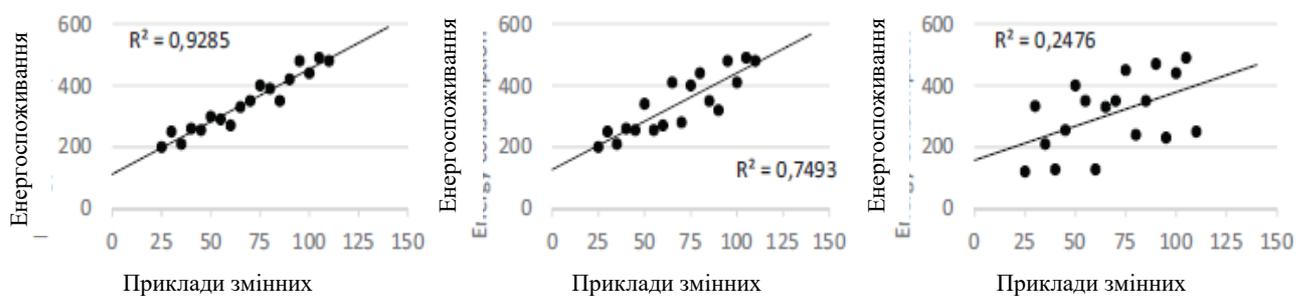


Рис. 15.5 – Діаграма тенденцій, що показує сезонність



- а) Важливі змінні б) Менш важливі змінні в) Неважливі змінні

Рис. 15.6 – Змінні різного рівня важливості

4. Визначення та кількісне оцінювання статичних чинників

Чинники, що впливають на рівень досягнутої енергоефективності, часто змінюють значення. Чинники слід проаналізувати, щоб побачити, чим краще їх вважати – визначальною змінною чи статичним чинником. Наприклад, завод може мати постійно змінюваний рівень виробництва, що є визначальною змінною та нерегулярно змінювати асортимент продукції, що є статичним чинником.

Важливо записати умови цих статичних чинників у той час, коли їх встановлюють. Організація повинна розглянути ці статичні чинники протягом деякого часу, щоб переконатися, що ПЕЕ та БРЕ залишаються відповідними, і записувати будь-які значні зміни, які можуть вплинути на рівень досягнутої енергоефективності.

Хоча статичні чинники можуть суттєво не відрізнитись у звітному періоді та періоді дії базового рівня енергоспоживання, але якщо змінюються умови, то статичні чинники можуть змінитися, і організація повинна підтримувати відповідні ПЕЕ та БРЕ.

Практичні поради. Зміни статичних чинників, які потребують підтримування, пов'язаного з ПЕЕ та БРЕ

Може бути важко зрозуміти, коли статичні чинники потребують підтримування, пов'язаного з ПЕЕ та БРЕ. Нижче описано кілька корисних порад.

<ul style="list-style-type: none">– Зміна виду продукції. Завод може мати узгоджений набір виробів, які він виробляє. Тоді тип виробу буде статичним чинником. Якщо завод вводить новий виріб, підтримування може знадобитися для нового виду виробу.

<ul style="list-style-type: none">– Добові зміни. Завод може мати певну кількість виробничих змін на добу. Якщо кількість змін збільшується або зменшується, це може потребувати підтримування.

<ul style="list-style-type: none">– Зміни в кількості населення будівлі. Будівля має відносно сталу кількість мешканців. Якщо кількість мешканців значно збільшується, це може потребувати підтримування.

<ul style="list-style-type: none">– Зміна площі. Будівля має фіксовану площу. Якщо організація значно розширює будівлю, це може потребувати підтримування.
--

5. Накопичення даних

5.1. Збирання даних

Організація повинна зазначити дані, що їх має бути зібрано для кожного ПЕЕ та відповідного БРЕ. Збирання даних може відбутися в будь-який момент під час процесу. Джерела енергії має бути визначено разом з визначальними змінними. Важливо зібрати всі дані, зокрема статичні чинники, які будуть використані для ПЕЕ та відповідного БРЕ.

Практичні поради. Проблеми під час збирання даних

Організації можуть зіткнутися з рядом проблем під час збирання даних. Наведені нижче сценарії описують можливі вирішення деяких з цих проблем.

– Відсутність конкретних облікових даних від постачальників енергії. Якщо організація не має конкретних облікових даних від постачальників енергії, вона може запроваджувати додаткові прилади обліку самостійно або через свого постачальника енергії.

– Відсутність даних про визначальні змінні. Якщо організація не має всіх даних для конкретного енергомісткого процесу, вона може використовувати давачі для отримання цих даних.

– Несумісність форм даних. Якщо енергетичні дані організації виміряно з іншою частотою, ніж дані для своїх інших чинників, вона може підсумувати або деталізувати дані, щоб вирівняти їх.

– Відсутність даних для визначених використань енергії. Якщо організація не забезпечена даними щодо визначених використань енергії, вона може придбати сублічильники (лічильники індивідуальних показів енергоспоживання) для цих використань.

Організація може визначити чи є достатньо значним енерговикористання в межах ПЕЕ або чи є можливість для поліпшення, щоб визначити можливість витрат на нові лічильники, сублічильники та/або давачі для вимірювання інших чинників. У таких випадках організація зазначає такі прилади обліку в плані моніторингу, вимірювання та аналізу.

Якщо організації використовують встановлені значення для розрахунку ПЕЕ та БРЕ, вони повинні задокументувати свої припущення та методи.

Організація може виявити, що деякі ПЕЕ, які було визначено раніше як важливі, не можуть бути виміряні внаслідок обмежених даних або інших перешкод. У цьому випадку організація повинна оцінювати та послідовно уточнювати ПЕЕ або ввести додаткові лічильники чи методи вимірювання.

5.2. Вимірювання

Енергоспоживання вимірюють зазвичай за допомогою стаціонарних лічильників або сублічильників чи тимчасових приладів обліку енергоспоживання. Енергоспоживання треба вимірювати та обчислювати, використовуючи дані протягом певного періоду часу.

Під час вибору ПЕЕ організація повинна враховувати наявні можливості вимірювання та моніторингу. Організація повинна проводити вимірювання для кожного значення енергії та визначальної змінної, необхідної для обчислення вибраних ПЕЕ та БРЕ.

Примітка. У багатьох випадках кількість спожитої енергії має бути виміряна опосередковано. Це може потребувати вимірювання витрати, об'єму або маси палива, що подається, і може змінюватися залежно від таких чинників, як склад, температура зовнішнього повітря, тиск та інші чинники. Коефіцієнти або чинники зазвичай застосовують до поточного виміряного потоку газу або рідкого палива для обчислення кількості енергії, що міститься в паливі.

Вимірювання може бути отримано на локальній основі (наприклад, за допомогою мобільних/портативних вимірювачів), на тимчасовій основі (наприклад, за допомогою реєстраторів даних) або безперервно (наприклад, з використанням даних з системи контролю та збирання даних (SCADA), або системи збирання та оброблення даних (DAHS)). Енергоспоживання та визначальні змінні, використовувані для обчислення кожного ПЕЕ, має бути виміряно в той самий час і з тією самою частотою. Якщо безперервні вимірювання неможливі, організація повинна забезпечити, щоб локальні або тимчасові вимірювання було проведено в періоди, які представляють типову картину роботи.

Всі вимірювання повинні бути точними та відтворюваними, а відповідні лічильники відкалібровано. Всі вимірні значення має бути підтверджено.

5.3. Вибір частоти збирання даних

Період збирання даних може бути довший, ніж період дії базового рівня енергоспоживання та звітний періоди. Збирання даних проводять періодично

(наприклад, щогодини, щодня, щотижня). Це називається частотою збирання даних.

Організація повинна вибрати відповідну частоту збирання даних для кожного енергоспоживання та визначальної змінної, включеної в ПЕЕ та відповідного БРЕ. Період збирання даних і частота повинні бути достатніми для охоплення умов експлуатації та мають забезпечувати достатню кількість точок даних для аналізування.

Частота збирання даних може бути значно вища, ніж частота звітності з метою визначення та розуміння впливу визначальних змінних на рівень досягнутої енергоефективності. Наприклад, щогодинне, щоденне або щотижневе збирання даних може знадобитися на оперативному рівні для вирішення суттєвих відхилів. Такі значення енергії та визначальні змінні може бути об'єднано для щомісячного аналізу на організаційному рівні.

Якщо має бути встановлено нові вимірювальні системи, організація повинна враховувати частоту даних, необхідних для задоволення своїх потреб моніторингу енергоефективності.

5.4. Забезпечення якості даних

Перед обчисленням ПЕЕ та відповідних БРЕ організація повинна розглянути набір вимірних значень енергії та визначальних змінних, щоб визначити якість даних. Несправні облікові прилади, помилкове отримання даних, або нетипові умови експлуатації можуть призвести до значних викидів значень, які можуть потребувати вивчення.

Якщо деякі вимірювання викидів зробити неможливо, слід подбати, щоб це не внесло помилку в ПЕЕ або до відповідного БРЕ.

Неточності вимірювальних приладів можуть поставити під сумнів правильність зібраних даних. Організація повинна періодично калібрувати обладнання відповідно до рекомендацій заводу-виробника, щоб зменшити ризик неточних даних.

Практичні поради. Визначення та аналізування викидів

Проаналізувати та виміряти викиди може бути складно.

Зазвичай викиди визначають, розглядаючи розкид значень на діаграмі. Це можуть бути графіки або функції визначальних змінних з середнім, стандартним відхилом і стандартною похибкою в обчислених даних. Точки даних, що виходять за межі заздалегідь визначених стандартних відхилів від очікуваного значення графіку або функції, можна вважати викидами.

Наприклад, щорічні відключення фабрики призводить до значної зміни енергоспоживання, яка проявляється як викиди в конкретному тижні роботи. Перед тим як унеможливити викиди, треба провести дослідження для визначення, чи є підстави для викидів, і якщо унеможливлення відбулось, це має бути задокументовано.

Точність вимірювання та рівень невизначеності треба брати до уваги під час інтерпретації та поданні ПЕЕ.

Запитання для самоперевірки

1. Розкрийте сутність поняття «базовий рівень енергоспоживання».
2. Що являє собою період дії базового рівня та яким чином він може бути встановлений?
3. Поясніть застосування базового рівня енергоспоживання.
4. Розкрийте сутність понять «статичні чинники» та «визначальні змінні».
5. Опишіть послідовність вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності.
6. Охарактеризуйте взаємозв'язок між енергорезультативністю, енергетичними завданнями, БРЕ та ПЕЕ.
7. Поясніть яким чином визначаються межі показників енергоефективності.
8. Опишіть та наведіть приклади трьох рівнів межі ПЕЕ.
9. Опишіть яким чином визначаються та кількісно оцінюються потоки енергії.

10. Поясніть яким чином визначаються та кількісно оцінюються визначальні змінні.
11. Поясніть яким чином визначаються та кількісно оцінюються статичні чинники.
12. Як здійснюється накопичення даних при визначенні БРЕ.

Тема 16. Визначення показників енергоефективності

- 16.1. Визначення користувачів показників енергоефективності (ПЕЕ).
- 16.2. Визначення характеристик питомого рівня досягнутої енергоефективності.

16.1. Визначення користувачів показників енергоефективності (ПЕЕ)

Під час визначення ПЕЕ необхідно знати характеристики енергоспоживання, такі як базове навантаження (тобто фіксоване енергоспоживання), а також змінне навантаження, пов'язане з виробництвом, розміщенням, погодними та іншими чинниками.

Організації визначають завдання для рівня досягнутої енергоефективності як частину процесу планування енергії в своїх системах енергоменеджменту. Енергетичні завдання повинні характеризуватися значеннями ПЕЕ.

ПЕЕ, порівнювані в різний час, повинні давати змогу організації визначати чи змінився рівень досягнутої енергоефективності та чи відповідає це поставленим завданням.

Під час вибору відповідних ПЕЕ, ключовими чинниками для розгляду є користувачі інформації та їхні потреби.

Основними типами ПЕЕ є [7, 23, 25]:

– вимірне значення енергії: вимірювання споживання всієї ділянки або одного чи більше споживачів енергії за допомогою лічильника;

- співвідношення вимірних значень: рівняння енергоефективності;
- статистична модель: зв'язок між енергоспоживанням та визначальними змінними за допомогою лінійної або нелінійної регресії;
- проектна базова модель: взаємозв'язок між енергоспоживанням та визначальними змінними, використовуючи технічне моделювання.

ПЕЕ мають бути зрозумілими їх користувачам. Тип і складність ПЕЕ повинні бути адаптовані для різних потреб кінцевих споживачів. Можуть знадобитися кілька ПЕЕ.

ПЕЕ можуть бути розроблені для внутрішніх або зовнішніх користувачів. Внутрішні користувачі зазвичай використовують ПЕЕ для поліпшення енергоефективності. Зовнішні користувачі зазвичай використовують ПЕЕ для забезпечення інформаційних вимог, отриманих з юридичних та інших вимог.

Практичні поради. Користувачі ПЕЕ

Може бути складно визначити, хто може отримати значення ПЕЕ в організації. Наведені нижче відомості описують деяких загальних користувачів.

- Найвище керівництво. Обов'язки охоплюють забезпечення відповідності ПЕЕ для організації, щоб розглянути рівень досягнутої енергоефективності в довгостроковому плануванні, щоб переконатися, що всі юридичні та інші зовнішні вимоги буде виконано, і щоб переконатися, що результати виміряно та обліковано за певні проміжки часу. Найвище керівництво може використовувати один або декілька ПЕЕ, що представляють усю організацію.

- Керівник підприємства чи об'єкта. Зазвичай контролює ресурси в межах об'єкта чи підприємства та несе відповідальність за результати. Керівник підприємства чи об'єкта повинен розуміти, як запланований рівень досягнутої енергоефективності, так і будь-які відхилення від бажаних характеристик як в плані рівня досягнутої енергоефективності, так і у фінансовому плані. Керівник підприємства чи об'єкта може використовувати всі ПЕЕ свого підприємства чи об'єкта, зокрема ПЕЕ стосовно СВЕ.

- Робочий і обслуговуючий персонал. Відповідає за використання ПЕЕ для керування та забезпечення ефективної роботи, виконуючи коригувальні дії для відхилень рівня досягнутої енергоефективності, ліквідації витрат і проведення профілактичного обслуговування для зменшення погіршення рівня досягнутої енергоефективності. Робочий і обслуговуючий персонал може використовувати ПЕЕ, що стосуються процесу або обладнання, за які він є відповідальним.

- Інженер з організації виробництва. Планує, виконує та оцінює дії щодо поліпшення рівня досягнутої енергоефективності, використовуючи відповідні ПЕЕ для дії та методу оцінювання. Інженер з організації виробництва може використовувати складні ПЕЕ, такі як проектні моделі.

– Зовнішні користувачі. Це можуть бути контролювальні органи, професійні та галузеві асоціації, аудитори системи енергоменеджменту, клієнти, або інші організації.

ПЕЕ можуть бути встановлені на різних рівнях організації чи установи [23].

16.2. Визначення характеристик питомого рівня досягнутої енергоефективності

Для оцінки енергетичної результативності будь-якого промислового об'єкта необхідно застосовувати кількісні показники, що дають можливість визначити наскільки ефективно використовуються ПЕР. Узагальнено вони називаються показниками енергоефективності. Визначення фактичних значень таких показників дозволяє зіставляти їх з аналогічними величинами, досягнутими на подібних вітчизняних або закордонних підприємствах (бенчмаркінг енергоефективності), а також здійснювати їх порівняння для одного й того ж підприємства в різні часові періоди. Навіть таке спрощене порівняння дозволяє в першому наближенні зробити висновок про наявний на підприємстві потенціал енергозбереження.

Основним стандартом, який регламентує визначення показників енергоефективності є ISO 50006:2014 [23]. Відповідно до положень стандарту існує три основні рівні, на яких рекомендується розглядати ПЕЕ, а саме:

- індивідуальний (виробничий об'єкт, обладнання, процес);
- системний (група виробничих об'єктів, обладнання, процесів);
- організаційний (підрозділ, підприємство в цілому).

Основні типи та приклади застосування ПЕЕ відповідно до ISO 50006:2014 показано в табл. 16.1.

Типи та приклади застосування ПЕЕ [7, 23]

<i>Тип ПЕЕ</i>	<i>Випадки застосування</i>	<i>Приклади застосування</i>	<i>Недоліки даного типу ПЕЕ</i>	<i>Найбільш поширені помилки під час застосування на практиці</i>
Виміряне значення енергії	<ul style="list-style-type: none"> – Вимірювання зменшення енергії в абсолютному використанні чи споживанні – Виконання нормативних вимог щодо абсолютної економії енергії – Моніторинг та контроль запасів і витрат енергії – Розуміння тенденцій в енергоспоживанні – Вимірювання споживання енергії, отримане безпосередньо за допомогою 	<ul style="list-style-type: none"> – Енергоспоживання системою освітлення в кВт·год – Споживання палива котлами в ГДж – Споживання електроенергії під час годин пікового навантаження в кВт·год – Загальна економія енергії від програм, пов'язаних з енергоефективністю в ГДж 	<ul style="list-style-type: none"> – Не враховує вплив визначальних змінних, що призводить до отримання некоректних результатів для більшості випадків наведених застосувань – Не вимірює енергоефективність 	<ul style="list-style-type: none"> – Нечітко визначені межі ПЕЕ; – Не проводиться повірка лічильників, що ведуть облік енергоспоживання; – Не проводиться коригування БРЕ та ПЕЕ після модернізації технологічного процесу або обладнання.

	лічильника з/або без використання коефіцієнта перетворення			
Співвідношення вимірених значень	<ul style="list-style-type: none"> – Моніторинг енергоефективності енергоспоживчих систем, які мають лише одну визначальну змінну – Системи моніторингу, де незначне або відсутнє базове навантаження – Порівняння декількох об'єктів або промислових підприємств (бенчмаркінг) – Оцінка дотримання нормативних вимог щодо енергоефективності – Аналіз динаміки рівня енергоефективності 	<ul style="list-style-type: none"> – кВт·год/т продукції – ГДж/одинаця продукту – кВт·год /м² площі – ГДж/людино-дів – літрів палива на пасажиро-кілометр – Ефективність перетворення котла (%) – Вхідна енергія/вихідна енергія (наприклад, «теплова потужність» в генерувальних об'єктах) – кВт·год /МДж для систем охолодження – кВт/Н·м³ для компресорного устаткування – л/100 км – кВт·год/одинаця товару 	<ul style="list-style-type: none"> – Не враховує базового навантаження і нелінійний характер енерговикористання – Призводить до отримання не коректних результатів для об'єктів з великою часткою базового навантаження 	<ul style="list-style-type: none"> – Невідповідність між межами ПЕЕ та наявними системами обліку ПЕР (коли облік ПЕР встановлено на більш вищих рівнях ієрархії підприємства ніж визначається ПЕЕ); – Не враховано базове навантаження; – Вибір окремого обладнання або установок (суттєвих споживачів), що не має власної системи моніторингу енергоспоживання; – Не наведена методика

	<ul style="list-style-type: none"> – Оцінка рівня енергоефективності частини обладнання або системи 			<p>визначення показників енергоефективності та базового рівня енергоспоживання;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Не проводиться коригування БРЕ та ПЕЕ після модернізацій технологічного процесу або обладнання.
Статистична модель	<ul style="list-style-type: none"> – Система з декількома визначальними змінними – Енергоспоживання під час базового навантаження – Якщо порівняння потребує унормування – При моделюванні складних систем, коли може бути кількісно визначено зв'язок між енергорезультативністю 	<ul style="list-style-type: none"> – Енергорезультативність виробничого об'єкта з двома чи більше видами продукції – Енергорезультативність об'єкта з базовим навантаженням – Зв'язок між енергоспоживанням насоса/вентилятора та швидкістю потоку 	<ul style="list-style-type: none"> – Для моделювання із різними змінними може бути важко визначити зв'язки, а саме моделювання є ресурсоємним і таким, для якого важко забезпечити точність – Важко визначити джерело залишкової похибки: вона може бути викликана 	<ul style="list-style-type: none"> – Не наведена методика визначення показників енергоефективності та базового рівня споживання; – Обирається недостатня кількість впливових чинників; – Не враховується кореляція між

	<p>та визначальними змінними</p> <ul style="list-style-type: none"> – При використанні енергорезультативності з кількома визначальними змінними для підприємства в цілому – При визначенні взаємозв'язку між енергоспоживанням та визначальними змінними 		<p>помилками при моделюванні або при моніторингу енергоспоживання</p> <ul style="list-style-type: none"> – Може бути неточним, якщо не підтверджується статистичними випробуваннями – Потребує детального розуміння системи, щоб визначити правильну робочу форму або очікувані характеристики, якщо дані не є лінійними – Потребує актуалізації моделі для забезпечення достовірних результатів 	<p>впливовими чинниками;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Не проводиться коригування моделі після модернізацій технологічного процесу або обладнання.
--	--	--	---	--

<p>Проектна модель</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Оцінювання енергорезультативності від операційних змін з численними визначальними змінними – перехідні процеси та/або системи за участю динамічних зворотних зв'язків – Для систем із взаємозалежними визначальними змінними (наприклад температури та тиску) – Оцінювання енергорезультативності на етапі проектування 	<ul style="list-style-type: none"> – Промислові або генеруючі системи, де інженерні розрахунки або моделі дають змогу врахувати зміни у визначальних змінних та їхню взаємодію – Модель енергоспоживання охолоджувача, температура зовнішнього повітря (температура конденсації) і температура всередині (температура випаровування) – Модель всієї будівлі, що розрахована для годин роботи, централізованої розподільчої системи вентиляції та кондиціювання, а також потреби різних споживачів 	<ul style="list-style-type: none"> – Потребує актуалізації моделі для забезпечення достовірних результатів 	<ul style="list-style-type: none"> – Не наведена методика визначення показників енергоефективності та базового рівня енергоспоживання; – В моделі враховуються паспортні, а не фактичні параметри технологічного процесу або обладнання; – Не проводиться коригування моделі після модернізацій технологічного процесу або обладнання.
-------------------------------	--	--	---	---

Вибір рівнів та типів показників енергетичної ефективності є добровільним для кожного підприємства і, як правило, базується на можливості підприємства проводити моніторинг енергоспоживання обраного обладнання, виробничого об'єкта, процесу чи їх груп.

На даний час найбільш популярним в Україні ПЕЕ є питома енергоспоживання, що передбачає встановлення на початку планового року відповідної норми – планового показника питомих витрат ПЕР за характерними товарними групами.

Запитання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте користувачів показників енергоефективності.
2. Перерахуйте основні типи ПЕЕ.
3. опишіть сутність визначення характеристик питомого рівня досягнутої енергоефективності.
4. Наведіть три основні рівні, на яких рекомендується розглядати ПЕЕ.
5. Зазначте випадки застосування основних типів ПЕЕ.
6. Наведіть приклади застосування основних типів ПЕЕ.
7. Проаналізуйте та визначте основні недоліки основних типів ПЕЕ.
8. Наведіть найбільш поширені помилки під час застосування на практиці основних типів ПЕЕ.

Тема 17. Встановлення базових рівнів енергоспоживання

17.1. Визначення підходящого періоду дії базового рівня енергоспоживання.

17.2. Етапи встановлення базового рівня енергоефективності.

17.3. Головні чинники, що впливають на величину витрат ПЕР.

17.1. Визначення підходящого періоду дії базового рівня енергоспоживання

Під час встановлення БРЕ необхідно визначити відповідний період даних для розгляду характеру її діяльності. Період дії базового рівня енергоспоживання та звітний періоди мають бути досить тривалими, щоб гарантувати, що відмінності в робочих моделях враховуються в БРЕ та ПЕЕ. Зазвичай ці періоди становлять 12 місяців для обліку сезонності в споживанні енергії та визначальних змінних.

Частота, з якою можна отримувати дані, є важливим чинником у визначенні відповідного періоду дії базового рівня енергоспоживання. Період дії базового рівня енергоспоживання повинен бути досить тривалим, щоб охопити зміни у визначальних змінних, таких як сезонність виробництва, погодні умови тощо.

Типовими базовими періодами є [23]:¶

– *Один рік.* Найбільш поширена тривалість БРЕ – один рік, переважно через узгодження цілей енергоменеджменту та бізнес-цілей, таких як зменшення енергоспоживання відносно попереднього року. Один рік також охоплює всі пори року і, отже, може охопити вплив визначальних змінних, таких як погода, енерговикористання та енергоспоживання. Він також може охопити повний спектр робочих бізнес-циклів, де виробництво може змінюватися протягом року через річний попит на ринку.

– *Менше одного року.* БРЕ тривалістю менше одного року можуть бути придатні в тих випадках, коли немає сезонності в енергоспоживанні або якщо короткий період підходить для робочих моделей. Коротка тривалість БРЕ може також знадобитися для ситуацій, коли є недостатня кількість відповідних або наявних історичних даних (наприклад, під час внесення змін в організації та інші процеси, які дають змогу отримувати лише поточні дані).

– *Понад один рік.* Сезонні та комерційні потреби можуть бути об'єднані, роблячи багаторічний БРЕ оптимальним. Зокрема, багаторічні періоди БРЕ корисні для дуже коротких річних виробничих циклів, коли продукцію виробляють протягом кількох місяців щороку і майже не виробляють протягом решти року (наприклад, винний завод, можливо, захоче відстежувати рівень досягнутої енергоефективності лише під час періоду дроблення та бродіння кожного року, однак протягом декількох років).

Необхідно підготувати набір даних в БРЕ, який треба порівняти з ПЕЕ протягом звітного періоду. Якщо необхідно контролювати ПЕЕ кожен день, навіть коли період дії базового рівня енергоспоживання становить один рік, для БРЕ необхідні щоденні дані. У цьому разі БРЕ встановлюють протягом одного року щоденних даних.

Деякі організації встановлюють період дії базового рівня енергоспоживання, використовуючи стандартні умови експлуатації протягом кількох років. Наприклад, комерційна будівля може використовувати середні дані про погоду за останні 40 років, щоб характеризувати типові умови експлуатації та застосувати ці дані для створення БРЕ.

У деяких випадках, наприклад, коли новий об'єкт будується і немає відповідної робочої історії, можливо буде необхідним імітувати, оцінити або розрахувати очікуване енергоспоживання для нового об'єкта, яке будуть використовувати як БРЕ.

17.2. Етапи встановлення базового рівня енергоефективності

Базові рівні енергоспоживання можуть бути встановлені у вигляді таких типів [7, 8, 12, 17]:

- тип 1 – як константа: $W = const$;
- тип 2 – як однофакторне лінійне рівняння регресії: $W = c_0 + c_1X$;
- тип 3 – як багатфакторне лінійне рівняння регресії: $W = c_0 + c_1X_1 + \dots + c_nX_n$;
- тип 4 – як однофакторне або багатфакторне нелінійне рівняння регресії.

У 99 % випадках базові рівні енергоспоживання встановлюються у вигляді перших трьох типів.

Для промислових підприємств БРЕ у вигляді константи може застосовуватися, тільки якщо жоден з наявних виробничих і технологічних чинників суттєво не впливають на обсяг енергоспоживання на підприємстві.

Якщо на енергоспоживання суттєво впливає один або декілька чинників, то БРЕ встановлюється у вигляді рівняння однофакторної чи багатфакторної лінійної регресії (методом регресійного аналізу). В цьому випадку БРЕ описується рівнянням регресії обсягу споживання підприємством палива та/або енергії залежно від чинників, які найбільш суттєво впливають на цю величину.

На початковому етапі регресійного аналізу при встановленні базових рівнів доцільно враховувати якомога більшу кількість чинників. Проте збільшення кількості врахованих чинників не завжди підвищує точність такої моделі.

Для більш поглибленої попередньої оцінки взаємозв'язків між чинниками рекомендується застосовувати кореляційний аналіз. Це дозволить зменшити кількість чинників впливу та скоротити кількість ітераційних розрахунків під час встановлення рівняння регресії для БРЕ.

Наведемо приклад визначення базового рівня споживання електричної енергії у вигляді рівняння статистичної моделі із застосуванням методу

регресійного аналізу. Для полегшення обчислень застосуємо пакет MS Excel «Аналіз даних» [7].

Етап 1. Визначення чинників, що впливають на енергоспоживання

Кількість чинників залежить від специфіки підприємства, наявної системи моніторингу, а також бажаного рівня точності математичної моделі БРЕ. У якості таких чинників у прикладі було обрано:

- обсяг виробництва продукції;
- обсяг виробництва суміжної сировини;
- споживання природного газу;
- споживання води;
- градусо-доби охолодження — CDD;
- градусо-доби опалення — HDD.

По кожному із зазначених чинників необхідно зібрати дані за визначений період. Також необхідно отримати від підприємства дані щодо споживання ПЕР.

Всі вхідні дані, необхідні для встановлення БРЕ, у прикладі отримані за місяцями протягом одного року (див. табл. 17.1).

Таблиця 17.1

Приклад загального вигляду таблиці заповнення вихідних даних

	Енергоресурс	Чинник 1	Чинник 2	...	Чинник 6
	Електроенергія	Обсяг виробництва продукції	Обсяг виробництва суміжної сировини		Градусо-доби опалення
Період збору статистичних даних	Од. вим. кВт*год	Од. вим. л	Од. вим. кг	...	Од. вим. кількість
Січень 2017	Величина 400 000	Величина 3 000 000	Величина 300 000	...	Величина 600
...
Грудень 2017	Величина 1 000 000	Величина 11 000 000	Величина 1 000 000	...	Величина 400

Етап 2. Використання пакету «Аналіз даних» MS Excel

Щоб скористатися можливостями, які надає пакет «Аналіз даних» MS Excel, потрібно, перш за все, активувати надбудову «Пакет аналізу» в налаштуваннях Microsoft Excel. Після цього на робочому листі Microsoft Excel вносяться вихідні дані. Після введення даних за допомогою функції «Регресія» буде проведений автоматичний підрахунок, результати якого будуть відображені трьома окремими таблицями.

У табл. 17.2 «Регресійна статистика» наводяться значення коефіцієнта кореляції множинного та R-квадрат. Якщо дане значення лежить в інтервалі від 1 до 0,9 по модулю, то відзначається дуже сильна кореляційна залежність. У разі якщо значення коефіцієнта кореляції лежить в інтервалі від 0,9 до 0,6, то має місце слабка кореляційна залежність. Якщо значення коефіцієнта кореляції знаходиться в інтервалі від $-0,6$ до 0, то кореляційна залежність є дуже слабкою або повністю відсутня.

Таблиця 17.2

Зведена таблиця результатів регресійної статистики (перша ітерація)

Регресійна статистика	
Множинний R	0,996315104
R-квадрат	0,992643786
Нормований R-квадрат	0,983816329
Стандартна похибка	24306,81359
Спостереження	12

Табл. 17.3 «Дисперсійний аналіз» призначена для перевірки гіпотези щодо адекватності регресійної моделі. Найбільш інформативними стовпчиками цієї таблиці є: «Значимість F», і «F-критерій». Для оцінки адекватності регресійній моделі використовується «F-критерій», в той час, як «значимість F» показує рівень значущості моделі. Якщо «значимість F» не значна (менше 0,1), то побудована модель значуща.

Таблиця 17.3

Зведена таблиця результатів дисперсійного аналізу (перша ітерація)

Дисперсійний аналіз					
	df	SS	MS	F	Значимість F
Регресія	6	3,98626E+11	66437590959	112,4495743	3,61669E-05
Залишок	5	2954105934	590821186,8		
Разом	11	4,0158E+11			

В табл. 17.4 «Коефіцієнти рівняння регресійної моделі» інформативними є «P-значення» і стовпчик «коефіцієнти». Якщо «P-значення» чинника є менше 0,1, то такий чинник є впливовим. Якщо «P-значення» більше 0,1, то чинник не впливає на модель, або він корелюється з іншими чинниками. Якщо «значимість F» та «P-значення» не задовольняють необхідним умовам, то чинник із найбільшим значенням «P-значення» відкидається, і регресійний аналіз проводиться знову з виключенням чинника, який не впливає на модель. Такі ітерації роблять до тих пір, поки не досягнемо умови, щоб всі «P-значення» чинників були меншими за 0,1.

Зведена таблиця коефіцієнтів рівняння регресійної моделі споживання електричної енергії (перша ітерація)

	Коефіцієнти	P-значення
Y-перетин	364413,06	0,002922736
Виробництво продукції, л	0,004455152	0,607153032
Виробництво напівфабрикатів, кг	-0,026451139	0,36952068
Споживання природного газу, м ³ /міс	2,4853186	0,006928746
Споживання води, м ³ /міс	1,019654209	0,484173066
HDD 18 °C	-461,9144929	0,003092944
CDD 18 °C	-221,0936784	0,384091666

За результатами першої ітерації, не впливовим чинником було визначено «споживання води». Саме тому дані щодо споживання води не були враховані при проведенні другої ітерації.

За результатами другої ітерації, не впливовим чинником було визначено «градусо-добы охолодження при 18 °C». Тому дані щодо градусо-діб охолодження не були враховані при проведенні третьої ітерації.

За результатами третьої ітерації, не впливовим чинником було визначено «виробництво напівфабрикатів». Тому дані щодо виробництва напівфабрикатів не були враховані при проведенні четвертої ітерації.

Оскільки, після проведення четвертої ітерації всі показники задовольняють умовам щодо достовірності моделі проведення ітерацій припиняється.

Етап 3. Отримання результатів регресійного аналізу

Отримання результатів регресійного аналізу може проводитись трьома різними шляхами:

- створення окремого файлу MS Excel;
- створення окремого робочого листа в MS Excel;
- виведення результатів на той самий робочий лист, що містить вхідні дані.

Таким чином, відповідно до стовпчика «Коефіцієнти» табл. 17.5 було отримано рівняння базового рівня споживання електричної енергії:

$$\text{Споживання електроенергії} = 337196 + \text{Виробництво продукції} \cdot 0,01361 + \\ + \text{Споживання природного газу} \cdot 2,28195 + \text{HDD}18 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (-393,42)$$

Таблиця 17.5

Зведені таблиці результатів регресійного аналізу (четверта ітерація)

	Коефіцієнти	P-значення
Y-перетин	337196,5575	7,07632E-06
Виробництво продукції, л	0,013610225	0,002741934
Споживання природного газу, м³/міс	2,281948053	1,40352E-07
HDD 18 °C	-393,4205169	1,80278E-06

Відповідно до результатів проведеного регресійного аналізу отримане рівняння базового рівня споживання електричної енергії можна використовувати для прогнозування та порівняння енергетичної ефективності підприємства в поточному році.

На рис. 17.1 наведено графічне порівняння фактичного і прогнозного (відповідно до регресійної моделі) значення споживання електроенергії за один рік.

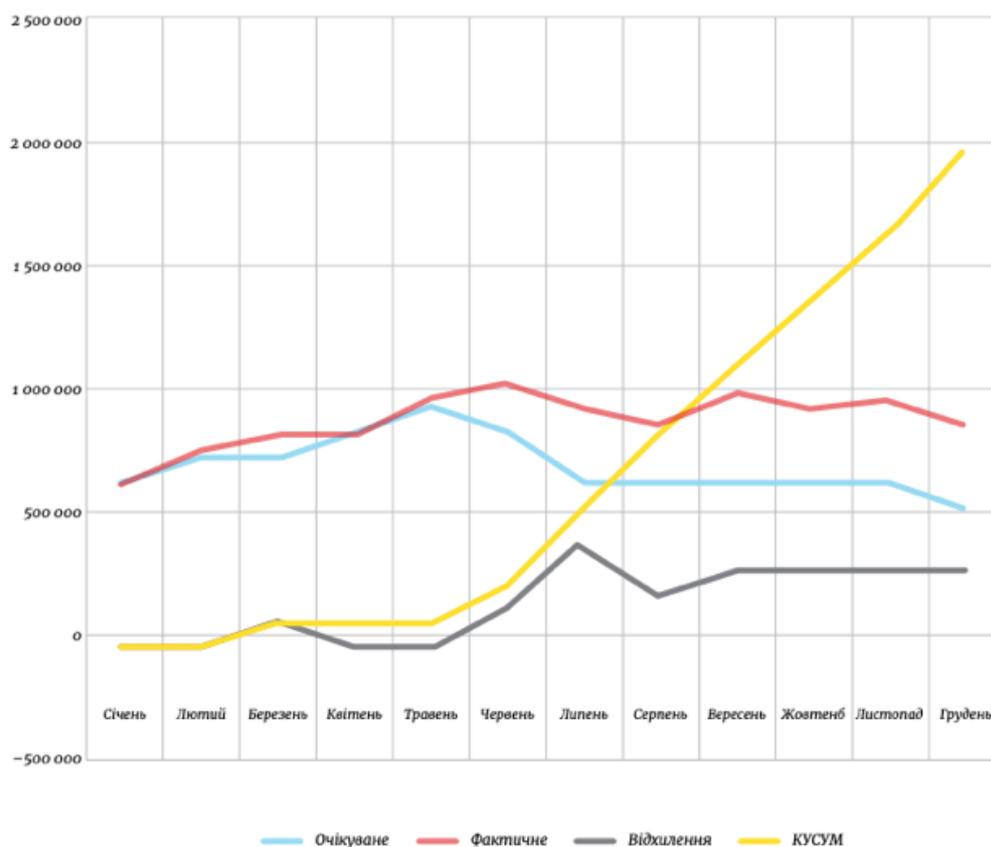


Рис. 17.1 – Графік фактичного та прогнозного (відповідно до регресійної моделі) споживання електроенергії, його відхилення та кумулятивної суми (КУСУМ)

Для більш інформативного представлення отриманої інформації використовують метод «КУСУМ», який графічно може показати досягнуту економію або перевитрати енергії за обраний період (місяць, рік) [5, 12, 16]. Графік «КУСУМ» для наведеного прикладу показано на рис.17.1. Відповідно до рисунку протягом року підприємство ефективно споживало електроенергію

лише у січні, а допустимо — в лютому, квітні та травні. Всі інші місяці мають значні відхилення від очікуваного рівня споживання електроенергії, а отже мають місце перевитрати електроенергії, які на кінець року складають близько 2 млн. кВт*год (див. на графіці криву КУСУМ). Можливими причинами цієї перевитрати є не оптимальне завантаження технологічного обладнання та відсутність оперативного контролю за відхиленнями фактичного споживання по відношенню до його очікуваного значення, а також не своєчасне реагування персоналу на ці відхилення.

17.3. Головні чинники, що впливають на величину витрат ПЕР

Перелік чинників, що впливають на величину витрат ПЕР, для типових напрямків енерговикористання наведено у табл. 17.6.

Таблиця 17.6

Головні чинники, що впливають на величину витрат ПЕР [5, 7]

<i>Напрямок енерговикористання</i>	<i>Теплоспоживання</i>	<i>Електроспоживання</i>
<i>Опалення будівель, споруд, окремих приміщень</i>	Призначення об'єкта, тип, конструктивні рішення, габарити, етажність, місце розташування, кліматичні умови, температурний режим, режим вологості, організація виробництва, організація ремонтних робіт	Потужність приводу, режим роботи системи, технічна характеристика обладнання, умови та вимоги до експлуатації, організація виробництва, організація ремонтних робіт
<i>Вентиляція будівель, споруд, окремих приміщень</i>	Призначення, тип, конструктивні рішення, габарити, місце розташування, кліматичні умови, тепловий режим, технологічні вимоги,	Потужність приводу, режим роботи системи, технічна характеристика обладнання, умови та вимоги до експлуатації, організація виробництва

	організація виробництва, організація ремонтних робіт	цтва, організація ремонтних робіт
<i>Гаряче водопостачання виробничих, підсобних та адміністративних приміщень</i>	Призначення, конструктивні рішення, норми споживання гарячої води, кількість споживачів, температурна характеристика водопостачання, режим витрат води, період функціонування, організаційна структура виробництва, організація ремонтних робіт	-
<i>Повітряно-теплові завіси</i>	Конструктивні рішення, потужність теплової завіси, температурний режим, кліматичні умови, режим роботи	-
<i>Зовнішнє освітлення</i>	-	Призначення, вимоги до освітленості, режим роботи, технічна характеристика світильників, організація виробництва, організація ремонтних робіт
<i>Внутрішньозаводський (внутрішньоцеховий) транспорт</i>	-	Призначення та тип транспорту, технічна характеристика, вид та обсяг транспортних робіт, режим роботи, конструктивні рішення, організація виробництва, організація ремонтних робіт
<i>Електропривод обладнання</i>	-	Тип обладнання (верстатне, нестандартизоване,

		технологічне, кувально-пресове тощо), конструктивна та технічна характеристика приводів, режим роботи (час, завантаженість, вид роботи тощо), організація виробництва; технологічні вимоги, технічний рівень обладнання, організація ремонтних робіт
Зварювальне обладнання	-	Вид зварювальних робіт, характеристика обладнання, призначення, технічні та технологічні вимоги, режим роботи обладнання

Запитання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте типові базові періоди для встановлення БРЕ.
2. Що необхідно враховувати при визначенні підходящого періоду дії базового рівня енергоспоживання?
3. Опишіть основні типи базових рівнів енергоспоживання.
4. Назвіть етапи встановлення базового рівня енергоефективності.
5. Наведіть опис кожного етапу встановлення БРЕ.
6. Зазначте статистичні тести, при використанні яких можна перевірити достовірність моделі БРЕ.
7. Яким чином можна визначити чинники, що впливають на енергоспоживання?
8. Проаналізуйте головні чинники, що впливають на величину витрат ПЕР

Тема 18. Використання показників енергоефективності та базових рівнів енергоспоживання для моніторингу енергоефективності

18.1. Обчислення поліпшення рівня досягнутої енергоефективності.

18.2. Моніторинг щодо рівня досягнутої енергоефективності.

18.3. Підтримання та коригування рівня досягнутої енергоефективності та базових рівнів енергоспоживання.

18.1. Обчислення поліпшення рівня досягнутої енергоефективності

Для оцінювання змін у рівні досягнутої енергоефективності організації повинні кількісно оцінити ПЕЕ протягом звітної періоду і порівняти ці значення з відповідними БРЕ. Організація також повинна порівняти кількісно оцінені рівень досягнутої енергоефективності зі своїми енергетичними завданнями та вжити заходів.

Є багато підходів і методів для організацій, щоб обчислити та виразити рівень досягнутої енергоефективності.

Для організації може бути складно вибрати з великої кількості підходів один для обчислення поліпшення рівня досягнутої енергоефективності. Наведені нижче методи є загальними [23].

– Різниця ПЕЕ. Це різниця між значенням ПЕЕ протягом періоду дії базового рівня енергоспоживання та значенням ПЕЕ протягом звітної періоду. Це може бути показано в наведеному нижче рівнянні, де B – базове значення ПЕЕ, P – значення звітної періоду

$$\text{Різниця} = P - B. \quad \text{¶}$$

– Відсоткова зміна. Це зміна значень від періоду дії базового рівня енергоспоживання та звітної періоду, виражена у відсотках від БРЕ. Це може бути виражено таким рівнянням:

$$\text{Відсоткова зміна} = [(P - B) / B] \times 100.$$

– Коефіцієнт. Це відношення значення протягом звітного періоду, поділене на значення протягом періоду дії базового рівня енергоспоживання.

$$\text{Коефіцієнт} = (P/B).$$

Ці три загальні підходи можуть бути використані для всіх типів ПЕЕ та BRE.

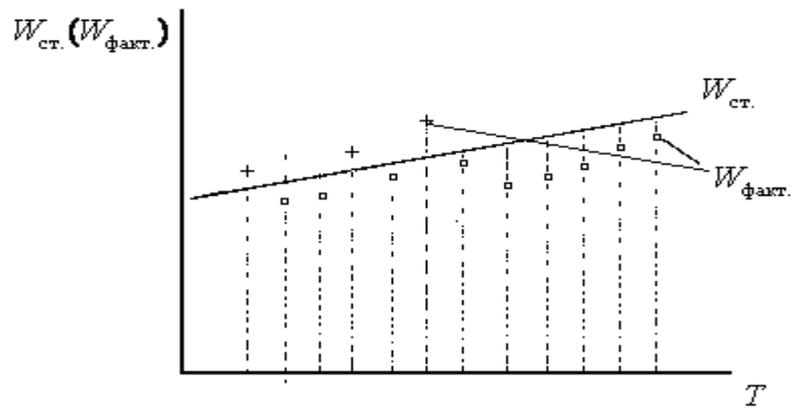
18.2. Моніторинг щодо рівня досягнутої енергоефективності

У випадку, коли BRE встановлено у вигляді константи або однофакторної (лінійної чи нелінійної) регресійної залежності, моніторинг щодо рівня досягнутої енергоефективності може здійснюватися графічно, тобто безпосередньо за допомогою його графіка [12]. На відповідний графік BRE на об'єкті щотижня наносять значення фактичної витрати енергії (рис. 18.1, *a*).

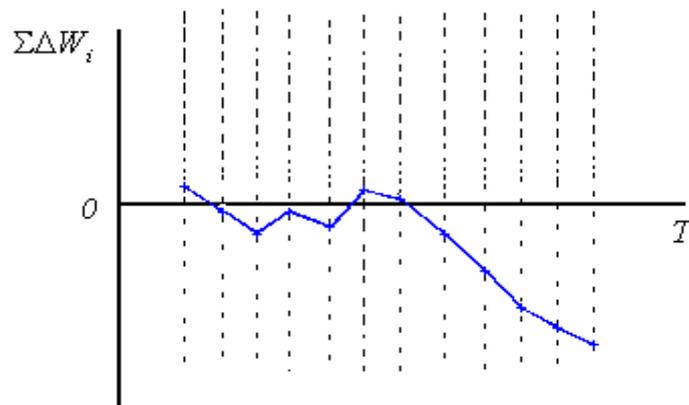
Знаходження фактичних значень споживання енергії нижче лінії встановленого BRE, свідчить про його виконання, а також про те, що на об'єкті протягом відповідного періоду моніторингу досягнуто відповідне енергозбереження (тобто за допомогою впровадженого на об'єкті заходу з енергоефективності дійсно досягнуто бажаного результату).

Поява фактичних значень споживання електроенергії, що перевищують лінію BRE, свідчить про те, що за відповідний період часу (тиждень) встановлений BRE не був виконаний, тобто запланованого енергозбереження на об'єкті не було досягнуто.

Однак, у разі встановлення на будь-якому об'єкті більш складних базових рівнів енергоспоживання, що являють собою лінійні або нелінійні багатофакторні рівняння регресії, застосовувати графічний спосіб моніторингу ефективності споживання енергії вже неможливо. У такому випадку для моніторингу досягнутих результатів енергозбереження використовують спеціальний графік, який називають графіком CUSUM (графіком кумулятивної суми). Цей графік (рис. 18.1, *б*) характеризує тенденцію зміни у часі (накопичення) результатів енергозбереження, фактично досягнутих на об'єкті.



a)



б)

Рис. 18.1 – Моніторинг зміни ефективності енергоспоживання:

a – за графіком БРЕ;

б – за допомогою побудови графіка CUSUM.

Побудова графіка CUSUM ґрунтується на поступовому визначенні та накопиченні відхилень, які виникають між фактичними та прогнозними (отриманими на основі відповідного БРЕ) обсягами енергоспоживання на об'єкті [4, 5]. При цьому величина відхилення фактичного обсягу споживання енергії відносно встановленого для об'єкта базового рівня енергоспоживання для деякого i -го періоду моніторингу становить

$$\Delta W_i = W_{\text{факт}i} - W_{\text{пр}i}, \quad (18.1)$$

де $W_{\text{факт}i}$ – фактичний обсяг енергоспоживання за відповідний період; $W_{\text{пр}i}$ – прогнозна величина енергоспоживання за той же період, визначена за встановленим БРЕ.

Значення кумулятивної суми відхилень фактичної витрати енергії ΔW_i на k -му кроці моніторингу виконання встановленого БРЕ розраховується за формулою

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k, \quad (18.2)$$

де $\Delta W_{\Sigma k}$ – сумарне відхилення споживання енергії від його значень на основі БРЕ, отриманих протягом минулих k періодів моніторингу; ΔW_i – відхилення енергоспоживання від БРЕ на i -му кроці моніторингу; $\Delta W_{\Sigma k-1}$ – сумарне відхилення фактичних обсягів споживання енергії від БРЕ, отримане протягом минулих $k-1$ періодів моніторингу; ΔW_k – відхилення енергоспоживання від його значення на основі БРЕ на k -му кроці моніторингу.

Методику побудови графіка кумулятивної суми можна проілюструвати за допомогою рис. 18.2.

Таким чином, графік кумулятивної суми має вигляд ламаної лінії (рис. 18.2), точки зламів якої відповідають розрахованим значенням $\Delta W_{\Sigma k}$ (18.2). При цьому моніторинг результатів впровадження будь-якого заходу з енергоефективності з використанням графіка CUSUM також здійснюється візуально, на основі аналізу загальної тенденції зміни у часі величини кумулятивної суми.

Від’ємна величина $\Delta W_{\Sigma k}$, знайдена на кожному кроці моніторингу, свідчить про те, що встановлений БРЕ виконується, а також на об’єкті протягом відповідного періоду моніторингу досягнуто заплановане енергозбереження. Очевидно, що за такого, позитивного результату моніторингу втручатися

персоналу в роботу об'єкта не потрібно, і в системі енергетичного менеджменту може виконуватися наступний крок моніторингу енергоефективності.

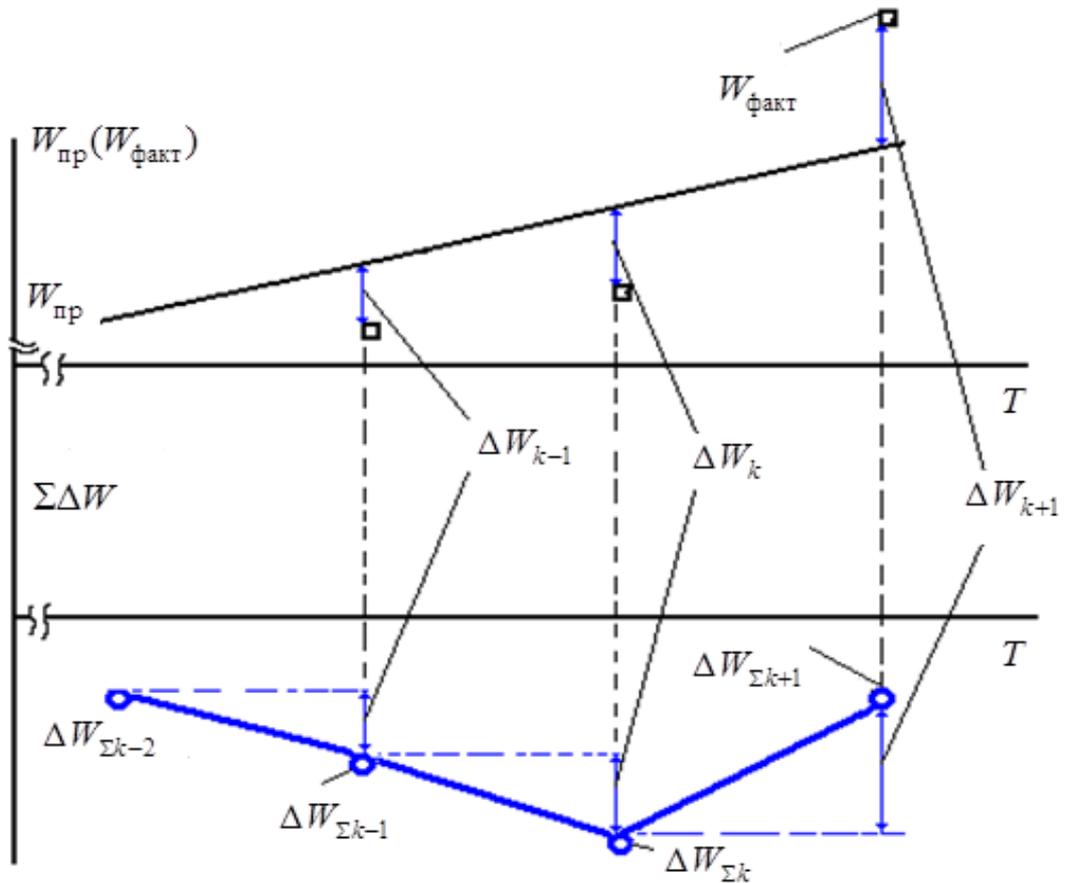


Рис. 18.2 – Побудова графіка кумулятивної суми

Поява ж додатнього значення величини $\Delta W_{\Sigma k}$ на будь-якому кроці моніторингу свідчить про те, що за відповідний період часу встановлений БРЕ не був виконаний, тобто заплановане енергозбереження на об'єкті не було досягнуто. За такого від'ємного результату моніторингу потрібне обов'язкове оперативне втручання в роботу об'єкта персоналу, завданням якого є виявлення та усунення причини невиконання встановленого БРЕ. Як показує практика, основними з таких причин можуть бути людський фактор (тобто невиконання співробітниками своїх обов'язків, пов'язаних з реалізацією запланованого заходу з енергоефективності на об'єкті), поява деяких об'єктивних причин, що призвели до невиконання БРЕ або до зменшення обсягу енергозбереження (наприклад, зміна якості сировини або матеріалів, параметрів технологічного процесу чи зовнішніх умов виробництва).

Однією з причин невиконання встановленого БРЕ може бути недосконалість самого БРЕ, у якому, починаючи з деякого часу, можуть не враховуватися стабільні об'єктивні зміни, що відбулися на об'єкті. Тобто однією з можливих дій персоналу у випадку появи від'ємного результату моніторингу ефективності використання енергії може бути встановлення нового БРЕ для об'єкта.

Періодично встановлювати новий БРЕ можливо і доцільно також у разі позитивних результатів контролю за умови, що на об'єкті протягом досить тривалого часу спостерігається стабільне енергозбереження, тобто за допомогою реалізованого на об'єкті заходу з енергоефективності систематично досягають очікуваного результату. При цьому графік кумулятивної суми має стійку тенденцію до зниження, наприклад, як на рис. 18.1, б.

У цьому випадку новий БРЕ встановлюється на підставі фактичних обсягів електроспоживання, досягнутих на об'єкті в результаті впровадження відповідного заходу з енергоефективності. Після цього на об'єкті виявляється і реалізується наступний захід з енергоефективності і процес моніторингу результатів його впровадження здійснюється вже за новим БРЕ.

Таким чином, у системі енергетичного менеджменту забезпечується підтримка на заданому рівні ефективності використання енергії на об'єкті, а також поступове підвищення цього рівня. За аналогією до нормування питомих витрат енергії такий процес можна назвати поступовою «нормалізацією» енергоспоживання.

18.3. Підтримання та коригування рівня досягнутої енергоефективності та базових рівнів енергоспоживання

Якщо відбуваються зміни на об'єктах, системах або процесах, це може вплинути на енерговикористання, енергоспоживання, ефективність і відповідні визначальні змінні. Організація повинна впевнитись, що ПЕЕ, відповідні межі та БРЕ залишаються все ще відповідними та незмінними у вимірюваних рівнях

досягнутої енергоефективності. Якщо вони більше невідповідні, організація повинна змінити або розробити нові ПЕЕ або відкоригувати БРЕ.

Наведено кілька ситуацій для визначення чи доцільно і далі використовувати значення ПЕЕ та БРЕ [5, 23, 24]:

а) порівняння базових значень визначальних змінних протягом звітного періоду, щоб побачити чи перебувають вони в межах чинного статистичного діапазону (використовують статистичні моделі);

б) визначення основних змін статичних чинників, які могли б призвести до анулювання розрахунків рівня досягнутої енергоефективності за еквівалентних умов, зокрема основні долучені або припинені виробничі процеси та основні виробничі зміни, такі як зміни в робочому графіку.

Якщо значення БРЕ більше невідповідні, то треба провести коригування розрахунку рівня досягнутої енергоефективності. Період дії базового рівня енергоспоживання може бути скориговано (наприклад, змінено на інший період часу) або рівень досягнутої енергоефективності може бути обчислено без зміни період дії базового рівня енергоспоживання, використовуючи деякі методи, зокрема:

– застосовують енергетичні дані звітного періоду, для розроблення статистичної моделі, а потім обчислюють характеристики з використанням фактичних базових даних; цей підхід іноді називають ретроспективним аналізом;

– застосовують дані, базовані на стандартних умовах, для розроблення статистичної моделі, а потім обчислюють характеристики з даними фактичної енергії та визначальних змінних періоду дії базового рівня енергоспоживання та звітного періодів.

Також можна використовувати комбінації цих підходів. Ці методи дають змогу організації проводити значну кількість змін без постійного коригування їхнього періоду дії базового рівня енергоспоживання періоду.

Нижче наведено приклади загальних змін ПЕЕ та БРЕ, які організація може передбачити.

– Зміни статичного чинника. Якщо статичний чинник змінюється, відповідний БРЕ може потребувати коригування. У деяких випадках може виникнути необхідність у розробленні нового ПЕЕ та БРЕ. Статистичні тести можуть показати чи слід організації розробляти нові БРЕ або ПЕЕ.

– Зміна енерговикористання. Якщо організація проводить фундаментальні зміни у використанні форм енергії, можливо буде потрібно змінити те, що відстежується (ПЕЕ), і як ці чинники зважено в їхніх БРЕ.

– Доступність даних. Поліпшення системи вимірювання та збирання даних об'єкта може призвести до покращення якості даних або до виявлення нових визначальних змінних. Можливо, що в такому разі знадобляться нові ПЕЕ та БРЕ.

– Частота даних. Якщо дані зібрано за регулярні проміжки часу чи з більшою частотою, це може забезпечити ефективніше керування новими ПЕЕ та БРЕ.

– Зміни завдання. Організації, можливо, побажають оновити період БРЕ для того, щоб зафіксувати їх на сьогоднішній день і зосередитись на підвищенні поточних рівнях досягнутої енергоефективності замість минулих. Стратегічне рішення такого характеру потребує оновлення в БРЕ за останній період (наприклад, як в минулому році) як нового відліку.

– Використання заздалегідь визначеного методу. Організація може заздалегідь визначити умови, що потребують зміни ПЕЕ та коригування БРЕ. Організація також повинна заздалегідь визначити правила та методи, які буде використано.

– Аналіз системи менеджменту. Один із входів в аналізі системи менеджменту є аналіз ПЕЕ. Таким чином, виходом з аналізу може бути зміна ПЕЕ.

Необхідно регулярно переглядати метод для визначення та оновлення ПЕЕ та відповідних БРЕ.

Запитання для самоперевірки

1. Наведіть підходи і методи для обчислення рівня досягнутої енергоефективності.
2. Опишіть проведення моніторингу щодо рівня досягнутої енергоефективності, коли БРЕ встановлено у вигляді константи або однофакторної (лінійної чи нелінійної) регресійної залежності.
3. Опишіть проведення моніторингу щодо рівня досягнутої енергоефективності, коли БРЕ встановлено у вигляді багатфакторної (лінійної чи нелінійної) регресійної залежності.
4. Що являє собою графіка CUSUM?
5. Поясніть побудову графіка CUSUM.
6. Що показує графік CUSUM?
7. Що означають додатні та від'ємні значення відхилень у побудованому графіці CUSUM?
8. Наведіть ситуації для визначення чи доцільно і далі використовувати значення ПЕЕ та БРЕ.
9. Зазначте випадки, коли необхідно провести коригування розрахунку рівня досягнутої енергоефективності.
10. Наведіть приклади загальних змін ПЕЕ та БРЕ.

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

(назва навчальної дисципліни)

підготовки магістр

(назва освітнього ступеня)

денної та заочної форм здобуття освіти

освітньо-професійна програма Менеджмент організацій і адміністрування

(назва)

спеціалізації / предметної спеціальності _____

(за наявності)

(шифр і назва)

спеціальності 073 менеджмент

(шифр, назва спеціальності)

галузі знань 07 Управління та адміністрування

(шифр і назва)

ВИКЛАДАЧ (-ЧП): Шишкін В.О. к.е.н., доцент, доцент кафедри П,МОтаЛ

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено

на засіданні кафедри ПМОіЛ

Протокол №1 від "25" 08 2025 р.

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Павлюк Т.С.

(ініціали, прізвище)

Погоджено

Гарант освітньо-професійної програми

(підпис)

Хацер М.В.

(ініціали, прізвище)

2025 рік

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

(назва навчальної дисципліни)

підготовки магістр

(назва освітнього ступеня)

денної та заочної форм здобуття освіти

освітньо-професійна програма Менеджмент організацій і адміністрування

(назва)

спеціалізації / предметної спеціальності _____

(за наявності)

(шифр і назва)

спеціальності 073 менеджмент

(шифр, назва спеціальності)

галузі знань 07 Управління та адміністрування

(шифр і назва)

ВИКЛАДАЧ (-ЧІ): Шишкін В.О. к.е.н., доцент, доцент кафедри П,МОтаЛ

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено

на засіданні кафедри ПМОіЛ

Протокол №1 від "25" 08 2025 р.

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Павлюк Т.С.

(ініціали, прізвище)

Погоджено

Гарант освітньо-професійної програми _____

(підпис)

Хацер М.В.

(ініціали, прізвище)

2025 рік

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

(назва навчальної дисципліни)

підготовки магістр

(назва освітнього ступеня)

денної та заочної форм здобуття освіти

освітньо-професійна програма Менеджмент організацій і адміністрування

(назва)

спеціалізації / предметної спеціальності _____

(за наявності)

(шифр і назва)

спеціальності 073 менеджмент

(шифр, назва спеціальності)

галузі знань 07 Управління та адміністрування

(шифр і назва)

ВИКЛАДАЧ (-ЧІ): Шишкін В.О. к.е.н., доцент, доцент кафедри П,МОтаЛ

(П.І.Б., науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено

на засіданні кафедри ПМОіЛ

Протокол №1 від "25" 08 2025 р.

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Павлюк Т.С.

(ініціали, прізвище)

Погоджено

Гарант освітньо-професійної програми

(підпис)

Хацер М.В.

(ініціали, прізвище)

2025 рік

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

(назва навчальної дисципліни)

підготовки магістр

(назва освітнього ступеня)

денної та заочної форм здобуття освіти

освітньо-професійна програма Менеджмент організацій і адміністрування

(назва)

спеціалізації / предметної спеціальності _____

(за наявності)

(шифр і назва)

спеціальності 073 менеджмент

(шифр, назва спеціальності)

галузі знань 07 Управління та адміністрування

(шифр і назва)

ВИКЛАДАЧ (-ЧІ): Шишкін В.О. к.е.н., доцент, доцент кафедри П,МОтаЛ

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено

на засіданні кафедри ПМОіЛ

Протокол №1 від "25" 08 2025 р.

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Павлюк Т.С.

(ініціали, прізвище)

Погоджено

Гарант освітньо-професійної програми

(підпис)

Хацер М.В.

(ініціали, прізвище)

2025 рік

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

(назва навчальної дисципліни)

підготовки магістр

(назва освітнього ступеня)

денної та заочної форм здобуття освіти

освітньо-професійна програма Менеджмент організацій і адміністрування

(назва)

спеціалізації / предметної спеціальності _____

(за наявності)

(шифр і назва)

спеціальності 073 менеджмент

(шифр, назва спеціальності)

галузі знань 07 Управління та адміністрування

(шифр і назва)

ВИКЛАДАЧ (-ЧІ): Шишкін В.О. к.е.н., доцент, доцент кафедри П,МОтаЛ

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено

на засіданні кафедри ПМОіЛ

Протокол №1 від "25" 08 2025 р.

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Павлюк Т.С.

(ініціали, прізвище)

Погоджено

Гарант освітньо-професійної програми

(підпис)

Хацер М.В.

(ініціали, прізвище)

2025 рік