УДК 620.9

Г.Г. Панченко, канд. техн. наук, ст. наук. співр., **ORCID** 0000-0002-7234-4078
Інститут загальної енергетики Національної академії наук України

ОГЛЯД СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ

В статті надано огляд термінології, методів, цілей і задач енергетичного аналізу, а також методичних підходів до його виконання. Визначено причини обмеженого застосування енергетичного аналізу в Україні: використання балансових моделей обмежене недостатністю статистичних даних щодо міжсекторного балансу, а аналізу процесу – складністю розрахункових моделей. Запропоновано структуру повної енергоємності. Зазначено, що при оцінці енергетичних витрат на імпорт енергоресурсів і продукції необхідно використовувати енергетичний еквівалент валюти з врахуванням всіх надходжень валюти. Визначено, що подальший розвиток енергетичного аналізу з застосуванням підходу «аналіз процесу» вимагає доопрацювання запропонованої в стандарті ДСТУ 3682-98 і ГОСТ 30583-98 методики шляхом розробки адекватних спрощуючих припущень і зменшення складності розрахункових моделей. Вдосконалення цієї методики дозволить підвищити ефективність енергетичного аналізу інвестиційних проектів, зовнішньоекономічних зв'язків, планів економічного розвитку країни, функціонування економіки і окремих виробничих процесів, а також розширити сфери застосування енергетичного аналізу.

Ключові слова: енергетичний аналіз, повні енерговитрати, прямі енерговитрати, непрямі енерговитрати, повна енергоємність, балансові моделі, аналіз процесу.

Вступ

Методи енергетичного аналізу набули розвитку і широкого застосування після нафтової кризи 1973 року, хоча вони були відомі задовго до цієї кризи. Одним з засновників енергетичного аналізу, як окремого наукового напрямку досліджень, є український вчений С.А.Подолинський [1], який показав, що працю і матеріальну діяльність людини можна розглядати як витрати енергії, «результатом яких є збільшення енергетичного бюджету суспільства». Аналогічні ідеї було висловлено в анонімній праці [2], яку науковці також приписують перу С.А.Подолинського.

В Інституті загальної енергетики НАН України було розроблено стандарт [3, 4]. Цей стандарт було розроблено з метою визначення методів розрахунку повної енергоємності виробництва продукції, робіт і послуг (ПРП). Цей стандарт використовується спеціалістами Інституту для визначення повної енергоємності найбільш енергоємних видів продукції при виконанні наукових досліджень та виконання науково-дослідних робіт.

Подальший розвиток енергетичного аналізу вимагає доопрацювання запропонованої в стандарті методики з метою розширення його застосування в практиці енергетичного аналізу. При цьому необхідно врахувати міжнародний досвід застосування енергетичного аналізу, накопичений за час, що пройшов після введення в дію стандарту - 1 січня 1999 р. В роботі надано огляд термінології та аналіз існуючих методичних підходів до визначення складових повної енергоємності ПРП.

Терміни і визначення

Існує кілька визначень поняття енергетичний аналіз або чистий енергетичний аналіз [5]. За визначенням англомовної версії електронного словника Вікіпедія «енергетичний аналіз - це метод обліку, метою якого є знаходження загальної суми енергії, необхідної для всього життєвого циклу продукту». В [6] енергетичним аналізом називається «визначення кількості енергії, витраченої на виробництво певного матеріального блага або послуги, на основі прийнятих домовленостей». Хоча для позначення досліджень економічних систем енергетичними методами з використанням енергетичних одиниць доцільно було б вживати термін [7] енергоекономічний аналіз. Але, з огляду на усталеність терміну, для позначення окресленого напрямку досліджень пропонується користуватися назвою «енергетичний аналіз».

В [8] зазначається, що енергетичний аналіз не є енергетичною теорією вартості. При цьому гроші розглядаються як похідна від двох основних ресурсів - енергії і праці, а енергія трактується як те, що забезпечує як негентропію, так і тепло.

Основними кількісними показниками в енергетичному аналізі є повні енерговитрати на виробництво ПРП і повна енергоємність ПРП. Повна енергоємність визначається як відношення повних енерговитрат на виробництво ПРП до обсягів виробництва. В свою чергу повні енерговитрати на виробництво ПРП визначається як сума енерговитрат на всіх етапах виробництва, включно з добуванням, переробкою, транспортуванням, зберіганням вхідної продукції сировини і матеріалів, виробництвом основних виробничих фондів, на технологічні процеси, на відтворення робочої сили і на захист навколишнього природного середовища. У випадку визначення повної енергоємності окремих видів продукції (таких, як будівлі, автомобілі тощо) до повних енерговитрат включають також витрати на експлуатацію цієї продукції.

В загальному випадку повні енерговитрати на виробництво ПРП поділяють на прямі, які витрачаються безпосередньо в технологічному процесі, і непрямі. В іноземній літературі, крім терміну непрямі енерговитрати, використовуються також терміни оречевлені енерговитрати або втілена енергія (embodied energy) [9, 10], акумульовані [11], кумульовані енерговитрати [12, 13] і навіть сіра енергія [14]. В деяких випадках до складу повних енерговитрат включаються енерговитрати за час експлуатації продукції, зокрема, будівель [15] та повні енерговитрати на демонтаж і утилізацію будівель і обладнання. У вітчизняній літературі для позначення повних енерговитрат знайшли також використання терміни прихована енергія [16], скриті або минулі енерговитрати [17] і «наскрізні енерговитрати» [18], До їх складу в різних випадках зараховують не всі енерговитрати. В залежності від мети досліджень в наскрізних енерговитратах враховуються енерговитрати в економіці в цілому або в окремому її секторі, на підприємстві або навіть в окремому цеху.

Загальні витрати енергії на виробництво ПРП найчастіше називають повними енерговитратами. Цей термін використовується також в стандартах ДСТУ 3682-98 та ГОСТ 30583-98. Він відповідає назві цієї величини – «total energy» в англомовних джерелах. Іноді для позначення повних енерговитрат використовується термін загальна потреба в енергії (gross energy requirement - GER), яка визначається як сума всіх невідновлюваних енергетичних ресурсів, що споживаються при наданні товару або послуги, і виражається в енергетичних одиницях на фізичну одиницю доставленої продукції або послуги [19].

Також термін «embodied energy» в значенні повних енерговитрат підтримується англомовною версією електронного словника Вікіпедія, в якому він визначається як «сума всієї енергії, необхідної для виробництва будь-яких товарів або послуг, що розглядається так, якби ця енергія була включена або «втілена» в самому продукті». На наш погляд, таке визначення недостатньо точно відображає фізичні процеси перетворення енергії при виробництві ПРП, оскільки енерговитрати не «втілюються» в ПРП, а лише використовуються при їх виробництві. Крім того, таке тлумачення повних енерговитрат недостатньо точно відображає економічні процеси, які визначають величину повних енерговитрат. Адже при визначенні повних енерговитрат за повний життєвий цикл виробництва і використання продукції до їх складу включають також енергію, яка ще не була витрачена безпосереднього на час виробництва продукції. Маються на увазі, в першу чергу, енерговитрати на відтворення робочої сили і на подолання негативних екологічних наслідків економічної діяльності, які ще не були витрачені і не можуть вважатися кумульованими. Крім того, роботи та послуги не є матеріальними речами і тому в них не може втілюватися енергія.

Так само, як з термінологією щодо повних енерговитрат, остаточно не склалася термінологія і з позначенням питомих повних енерговитрат – енергоємності. Крім терміну повна енергоємність, в літературі зустрічаються назви пряма, технологічна, цехова, повна цехова, заводська енергоємність [20], наскрізна, заводська а також повна металургійна енергоємність продукції [18], технологічна енергоємність продукції [21], енерготехнологічна продуктивність [16], комерційна енергоємність [22], енергетична рентабельність інвестицій [23], технологічне паливне число (ТПЧ) [16], а також технологічне паливно-екологічного число (ТПЕЧ) [24].

Енергетичну рентабельність інвестицій (energy returned on energy invested - EROEI) [23] можна визначити як енергію, що повертається на вкладену енергію - відношення кількості корисної енергії (ексергії), доставленої з конкретного енергетичного ресурсу, до кількості ексергії, що використовується для отримання цього енергетичного ресурсу.

Щодо використання ТПЧ необхідно зробити наступне застереження. При визначенні величини ТПЧ до складу енерговитрат додається хімічна енергія первинного палива, що завищує величину повної енергоємності. Адже енергетичний аналіз здійснюється в категоріях вартості (видобутку, збагачення, транспортування, перетворення тощо), а не енергетичної цінності (теплотворної здатності) енергетичних ресурсів. Наприклад, енергетична цінність нафти, видобутої в Саудівській Аравії і в Україні, може бути однаковою, але енергетичні витрати на її видобуток значно відрізняється. Тому в подальшому пропонується не користуватися ТПЧ як синонімом повної енергоємності.

Цілі і задачі енергетичного аналізу

В залежності від рівня складності виробничої системи (або рангу енергетичного аналізу) в [9] розрізняються чотири основних типи цілей досліджень з енергетичного аналізу:

- детальний аналіз окремих процесів, щоб зробити висновок щодо їх енергоефективності і надання рекомендацій щодо енергозбереження;
- аналіз споживання енергії у великих масштабах, прогнозування попиту на енергію або розробка політики, яка могла б зменшити майбутній попит;
- аналіз енергоспоживання таких базових технологій, як виробництво продуктів харчування та видо-

буток мінералів, щоб показати деякі з майбутніх наслідків технологічних тенденцій або дефіцит енергії;

•визначення енерговитрати та дослідження енергетичних потоків для розуміння термодинаміки індустріальної системи. Це дослідження виконується для досягнення довгострокової мети, засноване на фізичних, а не на грошових потоках.

Останні дослідження дають можливість зробити висновок про те, що методи енергетичного аналізу дозволяють вирішувати значно ширше коло задач, зокрема:

•оцінювати ефективність функціонування на любому рівні управління виробництвом - цех, завод, компанія, сектор економіки та економіка в цілому;

•розробляти енергетичний і вуглецевий баланси країни, сектору економіки та окремого підприємства;

•оцінювати ефективність зовнішньоекономічних зв’язків;

•визначати ефективність діяльності щодо енергозбереження, скорочення викидів парникових газів [25] та оптимізації використання обмеженої кількості дефіцитних ресурсів;

•виконувати аналіз впливу окремих факторів виробництва на енергетичну ефективність (наприклад, вплив сортаменту прокату на його енергоємність при розливці сталі у зливки [18]);

•оцінювати вплив природних факторів на споживацьку корзину [26];

•представляти в енергетичних одиницях витрати, які забезпечують життєдіяльність людини та підвищувати ефективність вирішення інших задач економічного розвитку.

Методичні підходи до енергетичного аналізу

В енергетичному аналізі використовуються два основних підходи, які ґрунтуються на використанні балансових моделей типу «витрати-випуск» або на результатах аналізу процесу [5, 27]. З огляду на джерела первинних даних і напрямок послідовності розрахунків, ці підходи ще називають, відповідно, підходом «зверху-вниз» і підходом «знизу-нагору» [11].

Перспективним видається комплексний підхід до визначення повних енерговитрат, який полягає у використанні результатів розрахунків, одержаних на основі балансової моделі економіки з подальшою деталізацією на основі аналізу процесів [28].

Використання балансових моделей

Перші дослідження з енергетичного аналізу з використанням балансових моделей виконувались в країнах Організації економічного співробітництва та розвитку - Німеччині [29], США [30] і [27], Канаді [31], Великобританії – [32], Новій Зеландії – [33]. У 2000 р. було виконано перше дослідження також в Індії [34]. В Україні дослідження з використання міжгалузевого балансу в енергетиці знайшли розвиток в роботах [35, 36] та ін. Для економіки США було виконано перші розрахунки з використанням матриці міжсекторного балансу на 357 секторів за 1963 р. [27] та за 1967 рік [37]. Основними завданнями при виконанні розрахунків були визначення потоків енергії з потоками товарів через регіональні кордони (що має ключове значення для питання енергетичної самодостатності), а також питання енергозбереження та потенціалу економії енергії та заміщення товарів і послуг [37].

При застосуванні балансових моделей доводиться робити спрощуючи припущення, які впливають на точність оцінок. Перш за все, це стосується врахування імпорту. В [37] зазначається, що це ускладнюється наявністю двох видів імпорту. Перший вид імпорту, який названо конкурентним імпортом, - це товари, які мають вітчизняні аналоги, такі наприклад, як сталь. Другий вид - неконкурентний імпорт, аналогів якому немає, наприклад банани. Перерахований імпорт сталі в моделі [37] додається до обсягів виробництва вітчизняного металургійного сектору. В моделі [27] обсяги валового випуску зменшуються на обсяг імпорту. Подібну корекцію зробити неможливо для імпорту другого типу, тому що розробникам невідома енергоємність продукції неконкурентного імпорту, наприклад, нефриту, тику або бананів. В економіці США цей імпорт є відносно невеликий і розробники ним просто знехтували. Але для країн з більшим імпортом, ніж у США, це припущення призведе до значних помилок [37]. Необхідно відзначити, що за час, який пройшов після розробки цих моделей, частка імпорту енергоємних видів продукції у США значно зросла. Так що розробники сучасних моделей, результати яких не публікуються, повинні вносити відповідні методичні поправки. Однією з основних переваг використання балансових моделей над більш детальним підходом є порівняно швидке визначення видів продукції, які мають приблизно однакову енергоємність для одержання загальних результатів для широкого асортименту товарів, а також при дослідженні, наприклад, основного капіталу, імпорту, експорту тощо [27]. Тому використання балансових моделей застосовується переважно для досягнення трьох останніх цілей з перелічених рангів енергетичного аналізу [9].

Таблиця «витрати-випуск» України за 2016 рік містить дані про 42 сектори економіки. Тому для її використання дослідникам необхідно докладати значних зусиль для підготовки первинних даних та розробки обґрунтованих припущень. Для порівняння, таблиці «витрати-випуск» для створення балансових моделей в США в 1963 р. містили дані про 357 секторів за 1963 р. [27], а в Індії - 115 секторів у 1983-1994 рр. [38].

Використання аналізу процесу

Другий метод енергетичного аналізу ґрунтується на використанні імітаційних моделей технологічних процесів, в яких описуються потоки матеріальних і енергетичних ресурсів. Цей метод традиційно використовується для досягнення першої цілі з перелічених рангів енергетичного аналізу [9], а саме для детального аналізу окремих процесів, щоб зробити висновок щодо їх енергоефективності і надання рекомендації щодо енергозбереження. Розвиток методики визначення енергоємності ПРП дасть можливість використовувати аналізу процесу для досягнення також інших трьох цілей енергетичного аналізу, перелічених в попередньому розділі. На відміну від першого методу, аналіз процесів не вимагає існування докладної статистичної інформації щодо міжгалузевого балансу.

Згідно з [5], виконання аналізу процесу вимагає детальних даних про виробництво цільового продукту і подібних (але зазвичай менш деталізованих) даних про інші фактори, які не відображені в процесі аналізу. Для агрегованих виробничих секторів дані отримуються з державної статистичної інформації про економічну діяльність. Для окремих виробничих процесів інформацію часто необхідно збирати безпосередньо у виробників, торгових асоціацій та консультантів. Якщо всі потоки можуть бути виміряні у фізичних одиницях, зазвичай немає підстав для введення вартісних (у грошових одиницях) значень у аналіз. Тому результуюча енергоємність виражається у фізичних термінах (енергетичних одиницях цільового продукту).

Методи аналізу процесів добре відомі і широко застосовуються в наукових дослідженнях і практичній роботі. Співробітники ІЗЕ НАНУ застосовують ці методи при виконанні досліджень з підвищення ефективності використання енергії в промисловості [39, 40], прогнозуванні потреби економіки в енергетичних ресурсах з урахуванням попиту на енергоємні експортно-орієнтовані види продукції [41], визначенні складової повної енергоємності заходів з охорони навколишнього середовища [42] та інших складових повної енергоємності при виробництві електричної енергії [43, 44], в переробній промисловості [45], для аналізу ефективності нововведень [46] та ін. Ці методи знаходять застосування також в інших галузях виробництва, в яких вони раніше не застосовувалися, наприклад, в приладобудуванні [47], сільському господарстві при виконанні орних робіт [48] та при виборі техніки [49].

Ефективне використання аналізу технологічних процесів вимагає створення енергоекономічних моделей виробничих процесів і економічних систем. Основні принципи побудови таких енергоекономічних моделей [7] полягають в наступному:

- виділенні об'єкту моделювання з оточуючого середовища у відповідності до рангу аналізу (в залежності від постановки проблеми, ранг аналізу зростає із збільшенням складності виробничої системи);
- економічні процеси описуються в енергетичних термінах, а характеристики їх властивостей вимірюються в енергетичних одиницях;
- витрати живої праці виражаються через витрати харчової і залученої енергії, які забезпечують життєдіяльність людини.

При цьому модель енергоспоживання можна представити чотирма основними елементами , які відповідають так званій реалізованій, нереалізованій, перетвореній і спожитій енергії [7]. Для практичної реалізації моделі необхідно наповнити її елементи і зв'язки між ними конкретним змістом. А саме, елементу реалізованої енергії в економічній системі можна поставити у відповідність сектори паливно-енергетичного комплексу, перетвореної енергії – сектори промисловості і сільського господарства, спожитої енергії – сферу споживання матеріальних благ, а нереалізованої енергії – втрати на всіх етапах виробництва і споживання. Зв'язки між елементами такої моделі представляють собою потоки енергоресурсів і енергоносіїв всіх видів в енергетичному вигляді або у вигляді потоків енергії, витрачено на виробництво предметів виробництва і/або споживання. А потоки енергії у вигляді вторинних енергоресурсів або утилізованих відходів утворюють в енергоекономічній моделі зворотні зв'язки. Зовнішні зв'язки представляють собою перетоки енергії, обумовлені експортом і імпортом.

Модель такого типу розглядалась в роботі [50]. Такі моделі зручно представляти у вигляді орієнтованих графів, які складаються з множини вершин і дуг, що з'єднують вершини [46]. Вершини орграфу позначають технологічні процеси або сектори економіки, відповідно до рангу енергетичного аналізу, а дуги – потоки енергії в прямій або непрямій формі.

Основним недоліком аналізу процесу є нелінійне підвищення трудомісткості його застосування при підвищенні рангу аналізу. Тому він рідко знаходить застосування для енергетичного аналізу секторів економіки і економіки в цілому. Для подолання цього недоліку необхідно розробити адекватні припущення, які зменшать складність розрахункових моделей при виконанні енергетичного аналізу. Вдосконалення підходу аналізу процесу дозволить значно підвищити ефективність застосування енергетичного аналізу інвестиційних проектів, зовнішньоекономічних зв'язків, планів економічного розвитку країни, функціонування її економіки і окремих виробничих процесів, а також розширити сфери застосування енергетичного аналізу.

Структура повної енергоємності

У відповідності до [3, 4] та останніх досліджень з енергетичного аналізу [44] , до складу повної енергоємності ПРП необхідно включати повну енергоємність:

- енергоресурсів, необхідних для виробництва ПРП;
- вхідних продуктів, сировини і матеріалів;

- транспортування ПРП та вхідних продуктів, сировини і матеріалів;
- поворотних відходів;
- основних виробничих фондів;
- відтворення робочої сили;
- податків і обов'язкових платежів;
- заходів з охорони довкілля;
- експлуатації продукції;
- демонтажу і утилізації будівель.

Для визначення цих складових в кожному конкретному випадку виконання енергетичного аналізу можуть застосовуватися додаткові показники, які визначають повні витрати на виробництво ПРП. Наприклад, при визначенні повної енергоємності сільськогосподарських робіт можуть застосовуватися такі специфічні показники енерговитрат як повні енерговитрати машино-тракторних агрегатів при виборі техніки [49] та на посіві - енерговитрати живої праці, енерговитрати від зменшення агротехнологічних показників, переущільнення ґрунту, травмованості насіння, неякісного посіву, недотримання термінів посіву та глибини посіву насіння [48].

При виконанні енергетичного аналізу виробництва ПРП при оцінці енергетичних витрат при використанні імпортованих енергоресурсів (в першу чергу, природного газу і ядерного палива), а також імпортної продукції необхідно враховувати енергетичний еквівалент валюти. У відповідності до [3, 4, 28], енергетичний еквівалент валюти визначається як відношення повних енерговитрат на виробництво ПРП, що експортуються, до валютних надходжень від їх продажу. Але існують і інші джерела надходження валюти, неврахування яких буде призводити до спотворення оцінок показника повної енергоємності валюти. Тому величину повної енергоємності валюти необхідно визначати з врахуванням всіх валютних надходжень в країну.

Висновки

Одним з засновників енергетичного аналізу, як окремого наукового напрямку досліджень, є український вчений С.А.Подолинський, який показав, що працю і матеріальну діяльність людини можна розглядати як витрати енергії, «результатом яких є збільшення енергетичного бюджету суспільства».

В енергетичному аналізі використовуються два основних підходи, які ґрунтуються на використанні балансових моделей типу «витрати-випуск» (підхід «зверху-вниз») або на результатах аналізу процесу (підхід «знизу-нагору»).

З метою визначення методів розрахунку повної енергоємності виробництва продукції, робіт і послуг в Інституті загальної енергетики НАН України було розроблено стандарт ДСТУ і ГОСТ 30583-98 на основі другого підходу до енергетичного аналізу – аналізу процесу. Вдосконалення цієї методики дозволить підвищити ефективність енергетичного аналізу інвестиційних проектів, зовнішньоекономічних зв'язків, планів економічного розвитку країни, функціонування економіки і окремих виробничих процесів, а також розширити сфери застосування енергетичного аналізу.

Список використаної літератури

1. Подолинський С.А. Труд человека и его отношение к распределению энергии на нашей планете//Слово. – 1880. - № 4, 5 – С.135-240.

2. Д.І. Понятие о ценности и богатстве с точки зрения учения об энергии//Мысль. 1880. - №10. – с.162-172, №11. – с.7-9.

3. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт і послуг. ДСТУ 3682-98. – Держстандарт України. – Київ. – 1998. – 11 с.

4. Методика определения полной энергоемкости продукции, работ и услуг. ГОСТ 30583-98. - ГОСТ 30583-98ежгосударственный сонет по стандартизации, метрологии и сертификации. – 1998. – 11 с.

5.Bullard C., Penner P., Pilati D. (1978). Net Energy Analysis: a Handbook for Combining Processes and Input-Output Analysis // Resources and Energy. — Vol. 1. — No. 3. — P. 267–313.

6. Slesser M. Energy in the Economy. The Macmillan Press Ltd. London and Basingstoke, 1978, 164 p.

7. Вершин В.Е. Основные принципы построения энерго-экономических моделей производственных процессов // Вопросы кибернетики. Системные принципы организации моделей развития. – 1981. – Вып.72. – с.94-104.

8. Slesser M. Energy Analysis: Its Utility and Limits. - IIASA Research Memorandum. September 1978.

9. Chapman P. F. Energy Costs: a Review of Methods // Energy Policy. — 1974. — № 2. — P. 91–103.

10. Costanza R. Embodied Energy and Economic Valuation // Science. 1980. —Vol. 210. — P. 1219–1227.

11. Balandynovicz H.W., Bibrowski Z., Bojarski W. i in. Energochlonnosc skumulowana. - Warshawa: PWN, 1983. – 188 s.

12. Frischknecht R., Wyss F., Knöpfel S.B., Lützkendorf T. Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. The International Journal of Life Cycle. Assessment 20(7) · May 2015.

13. Sullivan J.L. , Clark C., Han J., Harto C.B. Cumulative energy, emissions, and water consumption for geothermal electric power production. Journal of Renewable and Sustainable Energy 5(2) · April 2013.

14. L.Chanel, P.Pourouchottamin L'énergie grise : la face cachée de nos consommations d'énergie. - https://www.iddri.org/fr/publications-et-evenements/propositions/lenergie-grise-la-face-cachee-de-nos-consommations-denergie. - 2013.

15. Jancovici J-M. Pour un bilan carbone des projets d'infrastructures de transport website jancovici. Com. Tribune de Patrick Jeantet, PDG de SNCF Réseau, et de votre serviteur, parue sur le site des Echos le 26 décembre. - 2017.

16. Розин С.Е., Щелоков Я.М. Энергетический анализ общественного производства. – Проблемы энергосбережения. – 1991. - №8. – с.49-57.

17.Украинская ассоциация сталеплавильщиков. Удельные расходы металлической шихты и энергоемкость стали различных способов производства. - http://uas.su/books/srmp/12/razdel12.php.

18. Литвиненко В.Г., Мантула В.., Каневский А.Л., Андреева Т.А., Юхнов В.Ю. Оценка энергоэффективности производствана основе анализа сквозной энергоемкости продукции. – Экология и промышленность. – 2009. № 2. С.47-53.

19. Boopendranath, M.R. and Shahul Hameed, M. (2013) *Gross energy requirement in fishing operations.* Fishery Technology, 50(1), pp. 27-35.

20. Станиціна В.В. Аналіз методів визначення показників енергетичної ефективності. Scientific Journal «ScienceRise» №10/2(15)2015.

21. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения. ГОСТ Р 51750-2001. – Москва. - Госстандарт России. – 2001.

22. Мельник Л.Г. Економіка енергетики : підручник / За ред. Л.Г.Мельника, І.Н.Сотник. – Суми: Університетська книга, 2015. – 378 с.

23. Murphy D.J. Hall C.A.S. (2010). "Year in review EROI or energy return on (energy) invested". Annals of the New York Academy of Sciences. 1185 (1): 102–118.

24. Дружинина О.Г. Разработка алгоритмов и моделей энерго-экологического анализа технологических процессов и оценка энергозатрат на примере металлургических технологий. - Автореферат диссертации. – Екатеринбург. – 1998.

25. Панченко Г.Г. Методика визначення повної вуглецевоємності продукції, робіт і послуг // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. – Київ. - 2012. – випуск 263. – с.107-112.

26. Климова Г.Н. Электрические системы и сети. Энергосбережение. – Учебное пособие для СПО. – М. – Юрайт. – 2018.

27. Writhe D.J. Good and Services: on input-output analysis. – Energy policy. – December 1974. – 307-315.

28. Панченко Г.Г. Энергоекономический анализ производства продукции, работ и услуг // Препринт НАН Украины. Ин-т проблем энергосбережения; 94-3. - Киев. - 1994. – 30 с.

29. Danton R.V. The energy cost of goods and services in the Federal Republic of Germany. – Energy Policy. – 1975. – S.279-284.

30. Bullard C., Herendeen R. (1975). The Energy Cost of Goods and Servicies // Energy Policy.—No. 4.— P. 268–278.

31. Bush M.J. The energy intensity of commodities produced in Canada. - Energy, 1981, vol. 6, issue 6, 503-517.

32. Pick H.J., Becker P.E., 1975. Direct and indirect use of energy andmaterials in engineering and construction. Applied Energy 1 (1),31–51.

33. Peet N.J., Carter A.J., Baines J.T., 1985. Energy in the New Zealandhousehold, 1974–1980. Energy 10 (11), 1197–1208.

34. Tiwari, P., 2000. An analysis of sectoral energy intensity in India.Energy Policy 28, 771–778.

35. Кулик М.Н., Шульженко С.В., Костюковский Б.А. Анализ изменения потребности Украины в топливно-энергетических ресурсах на основании использования статистического межотраслевого баланса // Проблеми загальної енергетики, 1999, № 1 (47): 6-9.

36. М.М. Кулик Фундаментальні властивості основних матричних форм в системах рівнянь міжгалузевого балансу// Проблеми загальної енергетики, 2017, 2(49): 14-39.

37. Bullard C., Herendeen R. (1975). The Energy Cost of Goods and Servicies // Energy Policy.—No. 4.— P. 268–278.

38. Pachauri S., Spreng D. Direct and indirect energy requirements of households in India. – Energy Policy; v. 30(6); 2002; p. 511-523.

39. Гнідой М.В., Куц Г.О., Терещук Д.А. Метод розрахунку повних енергетичних витрат на виробництво продукції. – Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1997. № 5. – с.67-72.

40. Маляренко, Е. Е. Применение метода полной энергоемкости продукции для анализа энергетической эффективности производства - ISSN 1562-8965. Проблеми загальної енергетики. – 2010. – № 3 (23). – С. 19–24.

41. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Куц Г.О. Прогнозування потреби економіки в енергетичних ресурсах з урахуванням попиту на енергоємні експортно-орієнтовані види продукції. - ISSN 1562-8965. Проблеми загальної енергетики, 2015, вип. 4 (43): 5-13.

42. Станиціна В.В. Енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища як складова повної енергоємності продукції. - - ISSN 1562-8965. Проблеми загальної енергетики, 2011, вип. 4 (27). – с.47-52.

43. Білодід В.Д. Оцінювання ефективності енергетичних технологій за методологією визначення повних енергетичних витрат // ISSN 1562-8965. Проблеми загальної енергетики, 2012, вип. 3 (30): 12-18.

44. Білодід В.Д. Визначення ефективності вироблення електричної енергії атомними електростанціями за методологією повних енергетичних витрат. Частина 1. Витрати енергії на будівництво // ISSN 1562-8965. Проблеми загальної енергетики, 2018, вип. 2 (53): 36-44.

45. Панченко Г.Г., Коробко Б.П. Энергоемкость заготовок деталей машин // УкрНИИНТИ. Сер. Пром. Енергетика и энергосбережение. – 1990. – Вып. 1. - 30 с.

46. Панченко Г.Г. Энерго-экономический анали эффективности нововведений. – Проблемы энергосбережения. – 1993. - №1. – с.29-37.

47. Туманов Ю.Н. Плазменные, высокочастотные, микроволновые и лазерные технологии в химико-металлургическом производстве. – М. – Физматлит. – 2010.

48. Щитов С.В., Тихончук П.В., Спиридачнчук Н.В. Оптимизация энергозатрат в технологии посева сельскохозяйственных культур. - КиберЛенинка: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-energozatrat-v-tehnologii-poseva-selskohozyaystvennyh-kultur. – 2013.

49. Щитов С.В., Тихончук П.В., Спириданчук Н.В., Энергозатраты как критерий выбора трактора. - Достижения науки и техники АПК, №9. -2012. – с.75-76.

50. Баландинович Г., Парчевскі З. Проблемы определения основних общественных потребностей в Польше. – Экономика и математические методы. 1989. – том XXV, вып. 3. – с.477-483.

G. Panchenko, Cand.Sc.(Eng.), Senior Researcher, **ORCID** 0000-0002-7234-4078
Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine

REVIEW OF THE STATE AND PROSPECTS OF ENERGY ANALYSIS DEVELOPMENT

The article provides an overview of the terminology, methods, goals and objectives of energy analysis, as well as methodological approaches to its implementation. The reasons for the limited use of energy analysis in Ukraine are identified: the use of balance models is limited by the lack of statistics on intersectoral balance, and the analysis of the process by the complexity of the calculation models. The structure of total energy intensity is proposed. It is noted that in estimating energy costs for imports of energy and products, it is necessary to use the energy equivalent of the currency, taking into account all foreign currency revenues. It is determined that the further development of energy analysis using the process analysis approach requires refinement of the methodology proposed in DSTU 3682-98 and GOST 30583-98 by developing adequate simplifying assumptions and reducing the complexity of the calculation models. Improvement of this technique will increase the efficiency of energy analysis of investment projects, foreign economic relations, plans for economic development of the country, functioning of the economy and individual production processes, as well as expand the scope of energy analysis.

Key words: energy analysis, total energy, direct energy, indirect energy, total energy intensity, balance models, process analysis.

References

1. Podolinskii S.A. Trud cheloveka i ego otnoshenie k raspredeleniyu energii na nashei planete // Slovo.– 1880. - № 4, 5 – S.135-240 [in Russian].

2. D.I. Ponyatye o tsennosti i bogatstve s tochki zrenia ucheniya ob energii // Mysl. - 1880. - №10. – S.162-172, №11. – S.7-9 [in Russian].

3. Metodyka vyznachennia povnoi enerhoiemnosti produktsii, robit i posluh. DSTU 3682-98. – Derzhstandart Ukrainy. – Kyiv. – 1998. – 11 s. [in Ukrainian].

4. Metodika opredeleniya polnoy energoemkosti produktsii, rabot i uslug. GOST 30583-98. - GOST 30583-98ezhgosudarstvennyiy sonet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii. – 1998. – 11 s. [in Russian].

5.Bullard C., Penner P., Pilati D. (1978). Net Energy Analysis: a Handbook for Combining Processes and Input-Output Analysis // Resources and Energy. — Vol. 1. — No. 3. — P. 267–313.

6. Slesser M. Energy in the Economy. The Macmillan Press Ltd. London and Basingstoke, 1978, 164 p.

7. Vershin V.E. Osnovnyie printsipyi postroeniya energo-ekonomicheskih modeley proizvodstvennyih protsessov // Voprosyi kibernetiki. Sistemnyie printsipyi organizatsii modeley razvitiya. – 1981. – Vyip.72. – s.94-104. [in Russian].

8. Slesser M. Energy Analysis: Its Utility and Limits. - IIASA Research Memorandum. September 1978.
9. Chapman P. F. Energy Costs: a Review of Methods // Energy Policy. — 1974. — № 2. — P. 91–103.
10. Costanza R. Embodied Energy and Economic Valuation // Science. 1980. —Vol. 210. — P. 1219–1227.
11. Balandynovicz H.W., Bibrowski Z., Bojarski W. i in. Energochlonnosc skumulowana. - Warshawa: PWN, 1983. – 188 s.
12. Frischknecht R., Wyss F., Knöpfel S.B., Lützkendorf T. Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. The International Journal of Life Cycle. Assessment 20(7) · May 2015.
13. Sullivan J.L. , Clark C., Han J., Harto C.B. Cumulative energy, emissions, and water consumption for geothermal electric power production. Journal of Renewable and Sustainable Energy 5(2) · April 2013.
14. L.Chanel, P.Pourouchottamin L'énergie grise : la face cachée de nos consommations d'énergie. - https://www.iddri.org/fr/publications-et-evenements/propositions/lenergie-grise-la-face-cachee-de-nos-consommations-denergie. - 2013.
15. Jancovici J-M. Pour un bilan carbone des projets d'infrastructures de transport website jancovici. Com. Tribune de Patrick Jeantet, PDG de SNCF Réseau, et de votre serviteur, parue sur le site des Echos le 26 décembre. - 2017.
16. Rozin S.E., Schelokov Ya.M. Energeticheskiy analiz obschestvennogo proizvodstva. – Problemyi energosberezheniya. – 1991. - #8. – s.49-57. [in Russian].
17. Ukrainskaya assotsiatsiya staleplavilschikov. Udelnyie rashodyi metallicheskoy shihtyi i energoemkost stali razlichnyih sposobov proizvodstva. - http://uas.su/books/srmp/12/razdel12.php. [in Russian].
18. Litvinenko V.G., Mantula V.., Kanevskiy A.L., Andreeva T.A., Yuhnov V.Yu. Otsenka energoeffektivnosti proizvodstvana osnove analiza skvoznoy energoemkosti produktsii. – Ekologiya i promyishlennost. – 2009. # 2. S.47-53. [in Russian].
19. Boopendranath, M.R. and Shahul Hameed, M. (2013) Gross energy requirement in fishing operations. Fishery Technology, 50(1), pp. 27-35.
20. Станиціна В.В. Аналіз методів визначення показників енергетичної ефективності. Scientific Journal «ScienceRise» №10/2(15)2015. [in Ukrainian].
21. Metodika opredeleniya energoemkosti pri proizvodstve produktsii i okazanii uslug v tehnologicheskih energeticheskih sistemah. Obschie polozheniya. GOST R 51750-2001. – Moskva. - Gosstandart Rossii. – 2001.22. Мельник Л.Г. Економіка енергетики : підручник / За ред. Л.Г.Мельника, І.Н.Сотник. – Суми: Університетська книга, 2015. – 378 с. [in Russian].
23. Murphy D.J. Hall C.A.S. (2010). "Year in review EROI or energy return on (energy) invested". Annals of the New York Academy of Sciences. 1185 (1): 102–118.
24. Druzhinina O.G. Razrabotka algoritmov i modeley energo-ekologicheskogo analiza tehnologicheskih protsessov i otsenka energozatrat na primere metallurgicheskih tehnologiy. - Avtoreferat dissertatsii. – Ekaterinburg. – 1998. [in Russian].
25. Panchenko H.H. Metodyka vyznachennia povnoi vuhletsevoiemnosti produktsii, robit i posluh // Naukovi pratsi Ukrainskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu. – Kyiv. - 2012. – vypusk 263. – s.107-112. [in Ukrainian].
26. Klimova G.N. Elektricheskie sistemyi i seti. Energosberezhenie. – Uchebnoe posobie dlya SPO. – M. – Yurayt. – 2018. [in Russian].
27. Writhe D.J. Good and Services: on input-output analysis. – Energy policy. – December 1974. – 307-315.
28. Panchenko G.G. Energoekonomicheskiy analiz proizvodstva produktsii, rabot i uslug // Preprint NAN Ukrainyi. In-t problem energosberezheniya; 94-3. - Kiev. - 1994. – 30 s. [in Russian].
29. Danton R.V. The energy cost of goods and services in the Federal Republic of Germany. – Energy Policy. – 1975. – S.279-284.
30. Bullard C., Herendeen R. (1975). The Energy Cost of Goods and Servicies // Energy Policy.—No. 4.— P. 268–278.
31. Bush M.J. The energy intensity of commodities produced in Canada. - Energy, 1981, vol. 6, issue 6, 503-517.
32. Pick H.J., Becker P.E., 1975. Direct and indirect use of energy andmaterials in engineering and construction. Applied Energy 1 (1),31–51.
33. Peet N.J., Carter A.J., Baines J.T., 1985. Energy in the New Zealandhousehold, 1974–1980. Energy 10 (11), 1197–1208.
34. Tiwari, P., 2000. An analysis of sectoral energy intensity in India.Energy Policy 28, 771–778.
35. Kulik M.N., Shulzhenko S.V., Kostyukovskiy B.A. Analiz izmeneniya potrebnosti Ukrainyi v toplivno-energeticheskih resursah na osnovanii ispolzovaniya statisticheskogo mezhotraslevogo balansa // Problemi zagalnoYi energetiki, 1999, # 1 (47): 6-9. [in Russian].
36. М.М. Кулик Фундаментальні властивості основних матричних форм в системах рівнянь міжгалузевого балансу// Проблеми загальної енергетики, 2017, 2(49): 14-39. [in Ukrainian].
37. Bullard C., Herendeen R. (1975). The Energy Cost of Goods and Servicies // Energy Policy.—No. 4.— P. 268–278.
38. Pachauri S., Spreng D. Direct and indirect energy requirements of households in India. – Energy Policy; v. 30(6); 2002; p. 511-523.

39. Гнідой М.В., Куц Г.О., Терещук Д.А. Метод розрахунку повних енергетичних витрат на виробництво продукції. – Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1997. № 5. – с.67-72. [in Ukrainian].

40. Malyarenko, E. E. Primenenie metoda polnoy energoemkosti produktsii dlya analiza energeticheskoy effektivnosti proizvodstva - ISSN 1562-8965. Problemi zagalnoYi energetiki. – 2010. – # 3 (23). – S. 19–24. [in Russian].

41. Malyarenko, E. E. Primenenie metoda polnoy energoemkosti produktsii dlya analiza energeticheskoy effektivnosti proizvodstva - ISSN 1562-8965. Problemi zagalnoYi energetiki. – 2010. – # 3 (23). – S. 19–24. [in Russian].

42. Станиціна В.В. Енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища як складова повної енергоємності продукції. - - ISSN 1562-8965. Проблеми загальної енергетики, 2011, вип. 4 (27). – с.47-52. [in Ukrainian].

43. BIlodId V.D. OtsInyuvannya efektivnostI energetichnih tehnologIy za metodologIEyu viznachennya povnih energetichnih vitrat // ISSN 1562-8965. Problemi zagalnoYi energetiki, 2012, vip. 3 (30): 12-18. [in Ukrainian].

44. BIlodId V.D. Viznachennya efektivnostI viroblennya elektrichnoYi energIYi atomnimi elektrostantsIyami za metodologIEyu povnih energetichnih vitrat. Chastina 1. Vitrati energIYi na budIvnitstvo // ISSN 1562-8965. Problemi zagalnoYi energetiki, 2018, vip. 2 (53): 36-44. [in Ukrainian].

45. Panchenko G.G., Korobko B.P. Energoemkost zagotovok detaley mashin // UkrNIINTI. Ser. Prom. Energetika i energosberezhenie. – 1990. – Vyip. 1. - 30 s. [in Russian].

46. Panchenko G.G. Energo-ekonomicheskiy anali effektivnosti novovvedeniy. – Problemyi energosberezheniya. – 1993. - #1. – s.29-37. [in Russian].

47. Tumanov Yu.N. Plazmennyie, vyisokochastotnyie, mikrovolnovyie i lazernyie tehnologii v himiko-metallurgicheskom proizvodstve. – M. – Fizmatlit. – 2010. [in Russian].

48. Schitov S.V., Tihonchuk P.V., Spiridanchuk N.V. Optimizatsiya energozatrat v tehnologii poseva selskohozyaystvennyih kultur. - KiberLeninka: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-energozatrat-v-tehnologii-poseva-selskohozyaystvennyh-kultur. – 2013. [in Russian].

49. Schitov S.V., Tihonchuk P.V., Spiridanchuk N.V., Energozatratyi kak kriteriy vyibora traktora. - Dostizheniya nauki i tehniki APK, #9. -2012. – s.75-76. [in Russian].

50. Balandinovich G., Parchevski Z. Problemyi opredeleniya osnovnih obschestvennyih potrebnostey v Polshe. – Ekonomika i matematicheskie metodyi. 1989. – tom XXV, vyip. 3. – s.477-483. [in Russian].

УДК 620.9

Г.Г. Панченко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., **ORCID** 0000-0002-7234-4078
Институт общей энергетики Национальной академи наук Украины

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В статье дан обзор терминологии, методов, целей и задач энергетического анализа, а также методических подходов к его выполнению. Определены причины ограниченного применения энергетического анализа в Украине: использование балансовых моделей ограничено недостаточностью статистических данных о межсекторном балансе, а анализа процесса - сложностью расчетных моделей. Предложена структура полной энергоемкости. Отмечено, что при оценке энергетических затрат на импорт энергоресурсов и продукции необходимо использовать энергетический эквивалент валюты с учетом всех поступлений валюты. Определено, что дальнейшее развитие энергетического анализа с применением подхода «анализ процесса» требует доработки предложенной в стандарте ДСТУ 3682-98 и ГОСТ 30583-98 методики путем разработки адекватных упрощающих предположений и уменьшения сложности расчетных моделей. Совершенствование этой методики позволит повысить эффективность энергетического анализа инвестиционных проектов, внешнеэкономических связей, планов экономического развития страны, функционирование экономики и отдельных производственных процессов, а также расширить сферы применения энергетического анализа.

Ключевые слова: энергетический анализ, полные энергозатраты, прямые энергозатраты, непрямые энергозатраты, полная энергоемкость, балансовые модели, анализ процесса.

Надійшла 21.10.2019
Received 21.10.2019