

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

УДК 620.9:66

**О.Є. МАЛЯРЕНКО**, канд.техн.наук,  
Інститут загальної енергетики НАН України м. Київ

## ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У БАГАТОПРОДУКТОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ ПРОМИСЛОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

*Розглянуто показники енергетичної ефективності, які можуть бути використані при аналізі енергетичної ефективності у багатопродуктовому виробництві продукції, методичні підходи до розподілу спільних енерговитрат. Надано результати розрахунку повної енергоємності кількох видів продукції багатопродуктового виробництва коксохімічної промисловості.*

*Ключові слова:* енергетична ефективність, повна енергоємність продукції, розподіл спільних енерговитрат, багатопродуктове виробництво.

Діючий стандарт ДСТУ 3755–98 „Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення у нормативну документацію” [1] включає 41 показник з енергоефективності, що характеризує певну кількісну характеристику експлуатаційних властивостей устаткування, відображають технічну досконалість процесу або агрегату, рівень або ступінь споживання ними енергії та палива при використанні за прямим функціональним призначенням. До номенклатури показників віднесено: коефіцієнти корисної дії (ККД), корисного використання енергії та палива, питомі витрати палива та енергетичних ресурсів, енергоємність продукції та її види, коефіцієнт використання потужності й використання обладнання (коефіцієнт завантаження за потужністю), електропаливний коефіцієнт, коефіцієнти електрифікації з корисної та первинної енергії, коефіцієнти попиту потужності та теплоелектричний, енергоозброєність праці, теж саме з потужності та енергії, номінальні тепло- і паропродуктивність, споживана потужність, напруження та струм, втрати енергії у натуральному, умовному та вартісному виразі, коефіцієнти, що характеризують повноту використання вторинних енергоресурсів (ВЕР), вища та нижча теплоти згоряння палива, втрати холостого ходу та короткого замикання (для трансформатора), та ін.

За показниками енергоефективності оцінюють наскільки ефективно використовуються матеріальні, технічні та енергетичні ресурси на виробництві, в галузі та у країні в цілому. Інтенсивність та ефективність енерговикористання безпосередньо пов'язані з впливом на довкілля та глобальні процеси зміни клімату при добуванні енергоносіїв, виробництві, передачі, розподілі та споживанні необхідного виду енергії. Тому проблему ефективності енерговикористання потрібно розглядати комплексно.

Методологічно добре розроблені питання оцінки енергетичної ефективності однопродуктових виробництв, але найенергоємніші галузі промисловості, такі як хімічна, металургійна, коксохімічна, нафтопереробна, нафтохімічна виробляють цілу низку товарних продуктів в одному виробничому циклі (при переробці одиниці сировини). У випадку металургійної та хімічної промисловості багатопродуктовість створюється завдяки поступовому перетворенню вихідної сировини з додаванням інших видів сировини та матеріалів для виробництва різних видів продукції (агломерат—чавун—сталь—прокат різного виду й інші сталеві вироби). У процесах коксохімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості відбувається розділення сировини на кілька продуктів або фракцій з подальшим виробництвом товарних продуктів за окремими ланцюгами виробництва. Питанню оцінки енергетичної ефек-

тивності одержання продукції таких багатопродуктових виробництв і присвячена дана робота.

*Мета роботи* — запропонування методичного підходу до розрахунку показників енергетичної ефективності з використанням методів енергоекономічного аналізу.

До задачі дослідження треба віднести аналіз існуючих методичних підходів до оцінки енергетичної ефективності багатопродуктових виробництв та запропонування власного з метою оцінки енергоефективності комплексного виробництва промислової продукції.

Наукова новизна приведених у статті результатів роботи полягає у запропонуванні способу розподілу спільних енергетичних витрат у комплексному виробництві продукції та розрахунок повної енергоемності низки продуктів коксохімічного виробництва.

Традиційний підхід до оцінки енергетичної ефективності багатопродуктового виробництва у нашій країні полягає в аналізі питомих витрат енергетичних ресурсів в окремих цехах чи технологічних переділах, енергоемності окремих технологічних процесів, розрахунок ККД окремих технологічних процесів, установок та виробництва (заводу, електростанції) в цілому. Енергетичний ККД установок і заводу в цілому розраховують за відомою методикою Московського енергетичного інституту ім. Г. Кржижановського [2].

Якщо промислова технологія включає кілька технологічних процесів (переділів), то ККД такої технології, так званий коефіцієнт паливо-використання, визначається в загальному випадку з виразу [3]:

$$\eta_{пв} = \eta_{вд.тр.п.} \cdot \eta_{вир.ен.} \cdot \eta_{тр.ен.} \cdot \eta_{пр.м.} \cdot \eta_{тех.аз.} \quad (1)$$

де  $\eta_{вд.тр.п.}$  — ККД видобутку, транспортування та переробки палива;  $\eta_{вир.ен.}$  — ККД виробництва енергії (електричної та теплової);  $\eta_{тр.ен.}$  — ККД транспортування енергії;  $\eta_{пр.м.}$  — ККД приводів механізмів;  $\eta_{тех.аз.}$  — ККД технологічного агрегату.

За використання в технологічному процесі кількох видів енергоносіїв сумарний енергетичний ККД розраховується так:

$$\eta_{тех.проц.} = \sum_i \varepsilon_i \eta_{тех.проц.i} \quad (2)$$

де  $\varepsilon_i$  — частка окремого енергоносія в загальному енергобалансі технологічного процесу, що розглядається;  $\eta_{тех.проц.i}$  — енергетичний ККД процесу для  $i$ -го виду енергоносія.

Енергетичний ККД технологічного агрегату, що використовує теплоту вторинних енерге-

тичних ресурсів та хімічних реакцій, визначається так [3]:

$$\eta_{тех.проц.i} = \frac{Q_k + Q_{БЕР}}{Q_n + Q_{екз} + \Sigma Q_{ен}}, \quad (3)$$

де  $Q_k$  — теплота, що корисно використана в технологічному агрегаті;  $Q_{БЕР}$  — теплота вторинних енергетичних ресурсів, що використовується в даному технологічному агрегаті;  $Q_n$  — теплота, що вноситься з паливом;  $Q_{екз}$  — теплота екзотермічних реакцій;  $\Sigma Q_{ен}$  — теплота, що підведена з іншими енергоресурсами (електроенергією, паром та ін.).

Ці показники будуть характеризувати енергетичну ефективність конкретного обладнання, ступінь ефективності використання вторинних енергетичних ресурсів у процесі або заводу в цілому, але не дозволяють дати оцінку енергетичної ефективності технологічного ланцюга виробництва окремих видів продукції. Потрібно відзначити також, що витрати кожного виду енергоресурсу, що використовувались у процесі, планувались окремо, без зв'язку одного з другим, а за основу нормування брались показники, що склались у даному виробництві; при нормуванні не враховувалась залежність між паливно-енергетичними ресурсами, матеріаломісткістю та якістю готової продукції; кожний технологічний процес виробничого циклу (ланцюга) був наділений внутрішнім суверенітетом при плануванні та аналізі витрат ПЕР; неможливо було переносити витрати з попередніх процесів на наступні. Аналіз схем теплових балансів окремих технологічних процесів не дозволяє вийти на показник використання ПЕР при виробництві кінцевої продукції. Потрібна була методика наскрізних розрахунків енергоемності виробництва продукції [4].

Найбільш наочним показником, що використовується при розрахунках енергоефективності є енергоемність технологічного процесу або виробництва продукції. Використання цього показника стало нормою у економічно розвинутих країнах. Так, стандартами ЄС визначаються нормативні величини енергоемності продукції у металургії [5], у США діє нормативний акт, що встановлює енергетичні стандарти для низки галузей [6]. Особливістю цих нормативних актів [5, 6] є використання показників наскрізного енергетичного аналізу. Цей метод враховує складові від усіх компонентів технологічних процесів та включає крім безпосередніх витрат

палива, ще й непрямі витрати енергії на виробництво енергоносіїв (електроенергії, стиснутого повітря, кисню та ін.) та приховану енергію, що уречевлена у сировині, матеріалах, процесі транспортування, інструменті та ін. Однією з перших радянських методик наскрізного аналізу енергоємності продукції стала методика визначення технологічних паливних чисел (ТПЧ) [4, 7].

Як визначено у роботах [4, 7] технологічне паливне число — це витрати всіх видів енергії у даному та всіх попередніх переділах технологічного процесу, які перераховано на необхідне для їхнього одержання паливо (в умовному паливі) за відрахуванням теплових, паливних, матеріальних та інших вторинних енергоресурсів. ТПЧ відображає об'єктивні енергетичні витрати технологічного процесу, є показником повної енергоємності готової продукції. Основні положення метода повного енергетичного аналізу викладені в ГОСТ Р 51750—2001 [8].

Згідно методики ТПЧ розраховується таким чином [9]:

$$ТПЧ = E_1 + E_2 + E_3 - E_4, \quad (4)$$

де  $E_1$  — хімічна енергія копалин первинного палива з урахуванням витрат на видобуток, підготовку (збагачення), транспортування та ін.;  $E_2$  — енергія похідних (вироблених) енергоносіїв: пари, електроенергії, стиснутого повітря, кисню, води та інші з урахуванням витрат на перетворення;  $E_3$  — прихована енергія, що уречевлена у сировині вихідних матеріалів, обладнанні, капітальних спорудах, внутрішніх транспортних операціях та ін.;  $E_4$  — енергія вторинних енергоресурсів, що міститься у трьох попередніх складових і використана при виробництві продукції для економії частини первинного палива.

Первинна енергія, що міститься в паливно-енергетичних ресурсах — хімічна енергія копалин первинного палива з урахуванням витрат на видобуток, підготовку (збагачення), транспортування та ін. розраховується за формулою

$$E_1 = \sum ТПЧ_{нал} \varphi_{нал} \quad (5)$$

де  $ТПЧ_{нал}$  — технологічне паливне число палива в цілому;  $\varphi_{нал}$  — питомі витрати палива, одиниця палива/оддиницю готової продукції.

Технологічне паливне число палива в свою чергу є сумою

$$ТПЧ_{нал} = Q_n^p + ТПЧ_{вид} + ТПЧ_{nid} + ТПЧ_{mp}, \quad (6)$$

де  $Q_n^p$  — нижча робоча теплотворна здатність палива (за лабораторними дослідженнями);  $ТПЧ_{вид}$  — технологічне паливне число видобутку палива (залежить від способу видобутку та обладнання);  $ТПЧ_{nid}$  — технологічне паливне число підготовки палива (залежить від способу його підготовки, кількості відходів, їхньої утилізації та ін.);  $ТПЧ_{mp}$  — технологічне паливне число транспортування палива (залежить від взаємного розташування промислу та споживача, способу транспортування та ін.).

Енергія похідних (вироблених) енергоносіїв  $E_2$  розраховується за формулою

$$E_2 = ТПЧ_{мен} \varphi_{мен} + ТПЧ_{ел} \varphi_{ел} + ТПЧ_{с.л} \varphi_{с.л} + ТПЧ_{кис} \varphi_{кис} + ТПЧ_{вод} \varphi_{вод}, \quad (7)$$

де  $ТПЧ_{мен}$ ,  $ТПЧ_{ел}$ ,  $ТПЧ_{с.л}$ ,  $ТПЧ_{кис}$ ,  $ТПЧ_{вод}$  — технологічне паливне число теплової енергії, електроенергії, стиснутого повітря, кисню, води відповідно, кг у.п. / оддиницю енергоносія;  $\varphi_{мен}$ ,  $\varphi_{ел}$ ,  $\varphi_{с.л}$ ,  $\varphi_{кис}$ ,  $\varphi_{вод}$  — питомі витрати теплової енергії, електроенергії, стиснутого повітря, кисню, води відповідно, оддиниця енергоносія / оддиницю продукції.

Прихована енергія, що витрачається у попередніх технологіях та уречевлена у сировинних вихідних матеріалах, технологічному, енергетичному та іншому обладнанні, капітальних спорудах, інструменті, а також енерговитрати на підтримку обладнання у робочому стані, внутрішньозаводський транспорт та допоміжні операції розраховується за наступною формулою:

$$E_3 = \sum ТПЧ_c \varphi_c + (ТПЧ_{обл.} + ТПЧ_{кап.}) K_a + ТПЧ_{ин} K_{ин} + ТПЧ_{рем} K_p + ТПЧ_{вн.тр.} K_{вн. тр.}, \quad (8)$$

де  $ТПЧ_c$ ,  $ТПЧ_{обл.}$ ,  $ТПЧ_{кап.}$ ,  $ТПЧ_{ин}$ ,  $ТПЧ_{рем}$ ,  $ТПЧ_{вн.тр.}$  — технологічне паливне число сировини, обладнання, капітальних споруд, інструмента, ремонтів, внутрішньозаводського транспортування відповідно, кг у.п. / відповідну оддиницю;  $\varphi_c$  — питомі витрати сировини на оддиницю готової продукції;  $K_a$ ,  $K_{ин}$ ,  $K_p$ ,  $K_{вн. тр.}$  — відповідні коефіцієнти витрат, відповідна оддиниця / оддиницю готової продукції.

Значення коефіцієнтів визначають за такими формулами:

$$K_a = 0,15/B_{рік}, \quad K_{ин} = 1/B_{сл}, \quad K_p = 1/B_{капт.}, \quad (9)$$

де  $B_{рік}$ ,  $B_{сл}$ ,  $B_{капт.}$  — відповідно обсяги виробництва готової продукції даного переділу за рік,

термін служби інструмента (змінного обладнання) або кампанію між ремонтами.

Енергія вторинних енергоресурсів  $E_4$  складається з фактично зекономлених витрат при використанні у даному чи інших виробництвах теплових, паливних, матеріальних та інших ресурсів:

$$E_4 = E_{мен} + E_{хім} + E_{мат}, \quad (10)$$

де  $E_{мен}$ ,  $E_{хім}$ ,  $E_{мат}$  — відповідно енергія вторинних теплових, горючих (хімічна енергія) і матеріальних енергоресурсів.

Енергія теплових ВЕР визначається за формулою:

$$E_{мен} = \sum ТПЧ_{мен} \varphi_{в.мен} K_{вик}^{мен}, \quad (11)$$

хімічна енергія горючих ВЕР — за формулою:

$$E_{хім} = \sum ТПЧ_{хім} \varphi_{в.хім} K_{вик}^{хім}, \quad (14)$$

матеріальних ВЕР — за формулою:

$$E_{мат} = \sum ТПЧ_{мат} \varphi_{в.мат} K_{вик}^{мат}, \quad (15)$$

де  $ТПЧ_{мен}$ ,  $ТПЧ_{хім}$ ,  $ТПЧ_{мат}$  — технологічні паливні числа відповідно теплової енергії (пари, гарячої води), хімічної (паливної) енергії, матеріальних ресурсів на технологічних виробництвах, кг у.п. / одиницю вторинних ресурсів;  $\varphi_{в.мен}$ ,  $\varphi_{в.хім}$ ,  $\varphi_{в.мат}$  — відповідно питомі виходи вторинних ресурсів (теплових, горючих, матеріальних) на одиницю готової продукції даного переділу, одиниця вторинних ресурсів / одиницю готової продукції;  $K_{вик}^{мен}$ ,  $K_{вик}^{хім}$ ,  $K_{вик}^{мат}$  — відповідно коефіцієнти використання вторинних ресурсів.

Аналіз технологічних процесів з використанням показника ТПЧ наведено в багатьох роботах російських учених, зокрема Лисиєнка В.Г. [4, 7, 9].

У 1998 р. було введено в дію ДСТУ 3682–98 [10] та міждержавний ГОСТ 30583–98, в яких затверджено показник повної енергоемності продукції. У російських стандартах [8,11] введено два показники енергоемності: повна енергоемність продукції та енергоемність виробництва продукції. Згідно цим стандартам, енергоемність виробництва продукції — це величина споживання енергії та палива на основні та допоміжні технологічні процеси виготовлення продукції на базі заданої технологічної схеми. За виробництва будь-якого виду продукції для кожного технологічного процесу, що входить до технологічної схеми виробництва, розрахо-

вується енергоемність цього процесу. Інтеграція енергетичних витрат за технологічною схемою виробництва з урахуванням виходу напівпродуктів з кожного технологічного процесу і є енергоемність виробництва продукції на даному підприємстві. При розрахунку показників енергоемності виробництва продукції враховують тільки паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) на основні та допоміжні процеси виробництва. Витрати ПЕР на опалення, освітлення, різні господарчі та інші потреби не підлягають включенню до обсягів витрат енергоресурсів, які входять до енергоемності виробництва.

Також російський стандарт [8] класифікує показники енергоефективності за групами однорідної продукції (електродвигунів, турбін, холодильників та ін.), виду використаних енергоресурсів або енергоносіїв (показники енергоефективності використання палива: котельного, моторного, електроенергії, теплової енергії: пара, гаряча вода, хладагенти, стиснутого повітря, кисню та ін.), методам визначення показників.

Зниження показника повної енергоемності залежить від поліпшення всіх складових технологічного ланцюга виробництва продукції, досконалості та створення нових технологій, змінення структури виробничих процесів, зниження матеріаломісткості та втрат енергії, збільшення використання вторинних матеріальних ресурсів та ін.

Згідно з ДСТУ 3682–98 повна енергоемність продукції розраховується за формулою

$$e = e_c + e_m + e_\phi + e_p + e_0, \quad (16)$$

де  $e_c$  — повна енергоемність енергоресурсів, необхідних для виробництва продукції (робіт, послуг), кг у.п./т;  $e_m$  — повна енергоемність допоміжної продукції, сировини та матеріалів, необхідних для виробництва продукції (робіт, послуг), кг у.п./т;  $e_\phi$  — повна енергоемність основних виробничих фондів, амортизованих за виробництва продукції (робіт, послуг), кг у.п./т;  $e_p$  — повна енергоемність відтвореної робочої сили за виробництва продукції (роботи, послуг), кг у.п./т;  $e_0$  — повна енергоемність витрат, використаних на охорону навколишнього середовища за виробництва продукції (робіт, послуг), кг у.п./т.

Із формули (16) енергоемність енергоресурсів, що витрачаються безпосередньо за виробництва продукції (робіт, послуг), визначається так

$$e_c = e_n + e_T + e_T + e_q, \quad (17)$$

де  $e_{\Pi}$  — повна енергоемність енергоресурсів, витрачених безпосередньо для виробництва продукції (робіт, послуг), кг у.п./т;  $e_T$  — повна енергоемність енергоресурсів, що витрачаються на транспортування допоміжної продукції, сировини та матеріалів, кг у.п./т;  $e_T$  — зниження повної енергоемності продукції (робіт, послуг) шляхом використання утворених за виробництва горючих відходів (вторинних енергоресурсів), кг у.п./т;  $e_q$  — приріст повної енергоемності, зумовлений імпортом енергоресурсів, кг у.п./т.

Енергоемність допоміжної продукції, сировини та матеріалів визначається за формулою

$$e_m = e_{mb} + e_{mi} + e_n, \quad (18)$$

де  $e_{mb}$  — повна енергоемність матеріалів, сировини та допоміжної продукції вітчизняного виробництва, необхідних для виробництва одиниці даної продукції, кг у.п./т;  $e_{mi}$  — повна енергоемність імпортних матеріалів, сировини та допоміжної продукції, необхідних для виробництва одиниці даної продукції, кг у.п./т;  $e_n$  — зниження повної енергоемності продукції за рахунок використання утворених під час виробництва вторинних матеріальних ресурсів, кг у.п./т.

Формули для розрахунку трьох останніх складових (16) наведено у ДСТУ 3682—98, але як правильно зазначено в роботі [12] у зв'язку з недосконалістю розрахункових формул та обмеженістю інформації для розрахунку складових трудовитрат та охорони навколишнього середовища, їх як правило не враховують, а розрахунок повної енергоемності продукції визначають за повними енерговитратами на видобуток сировини, її транспортування та технологічні процеси переробки й виготовлення кінцевої продукції. Особливо це стосується екологічної складової та енергоемності основних виробничих фондів у повній енергоемності нафтопродуктів було запропоновано автором у роботі [13].

Крім того, у ДСТУ 3682—98 до складової енергоресурсів, що визначається за формулою (17), входить тільки зниження повної енергоемності продукції (робіт, послуг) за рахунок використання утворених за виробництва горючих вторинних енергоресурсів (ВЕР), а теплові та ВЕР надлишкового тиску не враховуються.

Подальшого розвитку розрахункова формула, що наведена у стандарті [10], набула у роботі [12], в якій надано алгоритм розрахунку

повної енергоемності продукції чорної металургії з урахуванням усіх видів ВЕР. Ця методика є досконалою для технологічних процесів, в яких сировина послідовно перетворюється у кінцеву продукцію за переділами, але не придатна у повному обсязі при розрахунку повної енергоемності комплексного виробництва, в якому із одного виду сировини виробляється кілька видів продукції паралельно за окремими технологічними ланцюгами (нафтопереробка, нафтохімія, коксохімія, виробництво молочних продуктів та ін.). Для розрахунку повної енергоемності нафтопродуктів автором була запропонована інша формула [13,14].

Порівняння двох описаних методик повних енергетичних витрат за розрахунком ТПЧ та повної енергоемності продукції показує, що до першого показника входить теплотворна здатність палива — формула (6) на відміну від складових повної енергоемності, до якої входять тільки питомі енергетичні витрати на всі технологічні операції (від видобування сировини до виходу кінцевої продукції). Перевага другого показника полягає в тому, що залежно від поставленої задачі вибір складових може корегуватися: включати або повний ланцюг виробництва, або тільки технологічний від входу енергетичних і сировинних потоків на підприємство (без врахування витрат на видобуток і транспортування), якщо розв'язується задача варіантних розрахунків за зміни технології без зміни способу видобутку та доставки сировини і енергоресурсів. Якщо важливо прорахувати різні варіанти видобування сировини (різні геологічні умови і відповідно енерговитрати) або порівняти різні види транспортування, чи змінюється структура споживання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві, важливо врахувати всі складові повних енергетичних витрат.

При розрахунку ТПЧ використовується ексергетичний метод розподілу спільних енергетичних витрат у багатопродуктовому виробництві. Всього способів розподілу відомо п'ять [15]: пропорційно масі (об'єму) одержаних продуктів; відповідно собівартості окремого виробництва аналогічних продуктів; пропорційно цінам на аналогічні продукти, що вироблені в інших виробничих циклах; за методом розділення продуктів на основні та побічні (вартість останніх вираховується із вартості основних за цінами їх реалізації); пропорційно

ексергіям продуктів, що виходять у конкретно-му розрізі установки. До енергетичних методів розподілу з цих п'яти відносяться перший і останній, решта мають суто економічний підхід, який в умовах ринкової економіки і постійного коливання цін не є життєздатним.

Проаналізувавши всі ці варіанти розподілу спільних енергетичних витрат для розрахунку повної енергоемності нафтопродуктів (при первинній переробці нафти), пропонуються такі чотири способи: пропорційно масовому виходу фракції; теплотворній здатності вихідних фракцій; пропорційно масовому виходу та теплотворній здатності вихідних фракцій; пропорційно ексергії вихідних фракцій процесу первинної переробки нафти. Оскільки теплотворні здатності нафтових фракцій є достатньо близькими за значенням величинами і такими є одержані коефіцієнти пропорційності, то було вибрано три варіанти: перший, третій і четвертий. За прорахунком повної енергоемності вихідних фракцій первинної переробки нафти різні способи дали відхилення у межах 2–4,5 % [13, 14]. Найближчі результати дали метод розподілу з ексергії фракцій та комбінований метод з масового виходу та теплотворній здатності вихідних фракцій. Останній є простішим для практичного застосування.

Цей же методичний підхід до розрахунку повної енергоемності продукції було використано за умов розробки алгоритму розрахунку продукції коксохімічного виробництва: коксу, коксового газу, що одержується в процесі коксування, хімічних продуктів, що вилучаються при очищенні коксового газу (смола, сульфат амонію, бензол, сірчана кислота). Повна енергоемність коксу та коксового газу є наскрізними розрахунками енергетичних витрат на видобування та транспортування сировини, підготовку шихти у цеху вуглепідготовки, сам процес коксування з технологією мокрого гасіння. Коксовий газ з одного боку є горючим вторинним енергоресурсом, з другого — стає основним енергетичним ресурсом на коксохімічних підприємствах на заміщення природного газу. Неочищений коксовий газ далі надходить у хімічні цехи, де шляхом складних стадій очищення, конденсації, ректифікації одержуються ще чотири хімічні продукти. Результати одержаних розрахунків наведено нижче, подано повну енергоемність виробництва коксохімічної продукції (типова технологічна схема з мокрим гасінням коксу).

Повна енергоемність продукції	е, кг у.п./т продукції
Шихти. ....	38,5
Процесу коксування. ....	172,7
Зокрема:	
коксу. ....	141,6
коксового газу неочищеного. ....	31,1
Кам'яновугільної смоли. ....	158,5
Сульфату амонію. ....	200,6
Бензолу. ....	636,9
Сірчаної кислоти. ....	903,2

Розрахунок повної енергоемності хімічних продуктів також є наскрізним. Усі ці хімічні продукти можуть бути одержані й іншим шляхом — з природної сировини. Наприклад, бензол — у хімічному виробництві або при переробці нафти, сірчана кислота — з сірки в хімічному виробництві та при переробці нафти, сульфат амонію — в хімічному виробництві. Розрахунок повної енергоемності цих продуктів дає можливість порівняти їхні повні енергетичні витрати та визначити доцільність нарощування чи зменшення обсягу певних промислових технологій.

## ВИСНОВКИ

Розглянуто низку показників енергетичної ефективності, які доцільно використовувати для аналізу ефективності енергоспоживання у багатопродуктовому виробництві. Визначено методичний підхід до розподілу спільних енерговитрат у багатопродуктовому виробництві — пропорційно теплотворній здатності та масі (хімічній енергії) для паливної вихідної продукції, та пропорційно масі для непаливної продукції, який, на думку автора, є можливим (простота розрахунку) у багатопродуктовому виробництві. Розраховано повну енергоемність окремих видів продукції коксохімічного виробництва.

1. ДСТУ 3755—98. Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення у нормативну документацію. — К.: Держстандарт України, 1998. — 13 с.
2. Багиров И.Т., Кардаш И.М. Снижение энергозатрат на нефтеперерабатывающих заводах — М.: Химия, 1972. — 142 с.
3. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях: справ.-метод. пособие / Вагин Г.Я., Дудникова Л.В., Зенютич Е.А. и др. // Под. ред. С.К. Сергеева. — Н. Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2001. — 296 с.

4. *Рациональное* использование топливно-энергетических ресурсов. (Экономия топлива и энергии) / А.П. Егоричев, В.Г. Лисиенко, С.Е. Розин, Я.М. Щёлоков. — М.: Металлургия, 1990. — 149 с.
5. *Исаев В.А.* Энергоёмкость продукции предприятий чёрной металлургии. Тр. Четвёртого конгресса сталеплавильщиков — М.: Черметинформация, 1997. — С. 31–34.
6. *Technology Partnerships. Enhancing the Competitiveness, Efficiency and Environmental Quality of American Industry.* Produced for the U.S. Department of Energy by NREL, DOE/60–10095–170, DE 95004086, USA, 1995. P. 142.
7. *Лисиенко В.Г., Щёлоков Я.М.* Энергетический анализ — методология энергосбережения в металлургии // Энергетика региона. — 2000. — № 19. — С. 21–23.
8. *ГОСТ Р 51750–2001.* Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. — 27 с.
9. *Энергетический анализ.* Методика и базовое информационное обеспечение: учеб. пособ. / Лисиенко В.Г., Щёлоков Я.М., Розин С.Е. и др. Екатеринбург: УГТУ—УПИ, 2001. — 100 с.
10. *ДСТУ 3682–98 (ГОСТ 30583–98).* Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг. — К.: Держстандарт України, 1998. — 11 с.
11. *ГОСТ Р 51541–99.* Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Общие положения. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. — 13 с.
12. *Гнідий М.В., Куц Г.О., Терещук Д.А.* Метод розрахунку повних енергетичних витрат на виробництво продукції // Екотехнології и ресурсосбереження. — 1997. — № 5. — С. 67–72.
13. *Гнедой Н.В., Малярченко Е.Е.* Энергоэффективность и определение потенциала энергосбережения в нефтепереработке. — К.: Наук. думка, 2008. — 182 с.
14. *Малярченко О.Є.* Методи оцінювання енергетичної ефективності для визначення потенціалу енергосбереження та прогнозування енергоспоживання в процесах нафтопереробки: Автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: 23.02.2005 — К.: Нац. акад. наук України, Ін-т заг. енерг., 2005. — С. 20.
15. *Эксергетические* расчеты технических систем: справ. пособ. / Бродянский В.М., Верхивкер Г.П., Дубовской С.В. и др. // Под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского. — К.: Наук. думка, 1991. — 360 с.