

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 621.38

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, професор, В.І. Василенко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ЕНЕРГЕТИЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

У статті розглянута проблема ефективного використання енергетичних ресурсів в Україні. Визначені питання підвищення енергетичної ефективності, представлені основні показники енергоефективності в промисловості для простого технологічного процесу, виробничої одиниці та підприємства в цілому. Наведені основні методи підвищення енергоефективності.

Проаналізовано необхідність застосування трьох систем показників: енергетичних, економічних, екологічних, що вважається достатнім для всебічної оцінки ефективності нововведень.

Ключові слова: енергетична ефективність, паливно-енергетичні ресурси, енергозбереження, енергетичні показники енергоефективності, системний підхід, енергоефективне проектування.

Розробки Світової ради з енергетики показали, що до 2020 р. очікується подвоєння попиту на електроенергію у порівнянні з 1990 р. [1]. Прогнозується, що ТЕС збільшать споживання вугілля на 2,4% (з 26,1 до 28,5%), частка топкового мазуту зменшиться на 5,1% (з 31,8 до 26,7%), а природного газу збільшиться на 1,6% (з 19,3 до 20,9%). Практично не зміняться обсяги виробництва електроенергії ГЕС (на рівні 5,7 – 5,8% від усього обсягу виробництва електроенергії), а АЕС збільшать обсяги виробництва енергії на 1,3% (з 4,5 до 5,8%).

В найближчому майбутньому слід очікувати переходу енергетики в новий якісний стан, пов'язаний з неухильним підвищенням енергоефективності. Його відмінні риси полягають у наступному [2]:

- заміщення вичерпних вуглеводневих ресурсів, до яких відносяться вугілля, нафта, газ, відновлюваними джерелами енергії – енергією вітру, сонця, геотермальних джерел тощо;
- інтеграція енергетики з іншими високотехнологічними галузями і перехід до загального виробництва енергії, у тому числі в побуті (наприклад, технологія Smart Grid);
- інтелектуалізація та автоматизація управління енергетичними потоками;
- формування конкурентоспроможних замінників нафтопродуктів, що використовуються в якості моторного палива;
- бурхливий розвиток нанотехнологій і впровадження їх у енергетику для підвищення енергоефективності.

Проблема ефективного використання енергетичних ресурсів є вкрай актуальною на сьогодні для України. За часів незалежності в державі слабко модернізувалась економіка, і використовуються застарілі енерго- і ресурсномісткі технології з високою часткою екологічно небезпечних виробництв та низькою їх ефективністю. 25 листопада 2015 року на засіданні Кабінету Міністрів України схвалено проект розпорядження «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року» [3].

Національний план розроблявся в тісній співпраці із європейськими та вітчизняними експертами і науковцями. З його прийняттям Україна отримала можливість запровадити європейську практику планування та прогнозування розвитку енергетики, реалізації політики підвищення енергоефективності.

Згідно з Планом, передбачено досягнення у 2020 році національної індикативної мети щодо енергозбереження у розмірі 9% від середнього показника кінцевого внутрішнього енергоспоживання за період протягом 2005–2009 рр., що становить 6,5 млн. тонн нафтового еквіваленту. Крім того, Національний план дій визначає проміжну мету – у 2017 році скоротити енергоспоживання в розмірі 5%.

Для встановлення мети використані укрупнені та окремі дані щодо споживання енергії. Ці дані надані Державною службою статистики України. Реалізація заходів, необхідних для досягнення орієнтовної мети, потребує мобілізації значних фінансових ресурсів, розширення заходів з підвищення енергоефективності, запланованих державою, та подальшої лібералізації енергетичного ринку, особливо на стороні пропозиції енергетичних послуг, а також розвитку державно-приватних партнерств у галузі енергоефективності.

Також план дій передбачає вдосконалення нормативно-правової бази у сфері енергоефективності, послідовне впровадження європейських підходів до реалізації державної політики у цій сфері.

Прийняття Україною Національного плану дій з енергоефективності до 2020 року є одним із основних зобов'язань у рамках імплементації Директиви 2006/32/ЄС щодо енергетичної ефективності кінцевого використання енергії та енергетичних послуг. Імплементація цього документа передбачена Угодою про Асоціацію в рамках реалізації Договору про заснування Енергетичного Співтовариства.

Подальший розвиток української економіки та здатність продукції вітчизняних промислових підприємств конкурувати на світовому ринку неможливі без подальшого впровадження енергозберігаючих заходів, які спрямовані на скорочення енергетичної складової в загальній структурі собівартості продукції. На сьогодні, за оцінками експертів, українські підприємства витрачають у десятки разів більше енергоресурсів на виробництво одиниці продукції, ніж їх конкуренти в економічно розвинених країнах. Вдале вирішення проблем енергозбереження тісно пов'язане з можливістю запровадження енергоефективних інноваційних проектів. Впровадження в життя таких проектів є однією з основних умов виживання (виходу з кризи) більшої частини українських підприємств, регіонів та країни в цілому.

Потенціал енергозбереження – це економія паливно-енергетичних ресурсів, яка може бути одержана внаслідок ліквідації всіх видів втрат енергії (оборотних втрат енергії) у національному господарстві. За оцінками фахівців загальний потенціал енергозбереження в Україні, за прогнозними даними, у 2030 р. становитиме 570,3 млн т у. п. [4].

Під енергоефективністю розуміють оптимальне використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) за існуючих рівнів технологічного розвитку та вимогах охорони навколишнього середовища. Основним показником енергоефективності є питома витрата енергії в розрахунку на одиницю корисного продукту в усіх сферах діяльності людини (економіці, техніці, побуті). Стосовно до національної та регіональної економіки таким показником служить енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП) і валового регіонального продукту (ВРП).

Одним із способів підвищення енергоефективності є енергозбереження. Об'єктами енергозбереження та підвищення енергоефективності можуть бути технічні та економічні системи, підприємства та організації, галузева, регіональна та національна економіки.

Підвищення енергоефективності – загальносвітова тенденція розвитку енергетичного сектору економіки [2].

В якості енергоресурсу енергоефективність характеризується унікальним потенціалом одночасного сприяння довгострокової енергетичної безпеки, економічного зростання, поліпшення здоров'я і добробуту людей. Вона є основним інструментом скорочення викидів парникових газів. Заходи з енергоефективності, за допомогою скорочення або обмеження споживання енергії, можуть підвищити стійкість до різноманітних ризиків, таких як зростання і мінливість цін на енергію, навантаження на енергетичну інфраструктуру і збої в системах енергопостачання [5].

Енергозбереження – це необхідність, яка продиктована неможливістю забезпечення прибутковості виробництва при постійній позитивній динаміці цін на енергоносії та дефіциту газу та електроенергії. Ці фактори стримують розвиток більшості галузей вітчизняної економіки.

Енергоефективність слід розглядати як реальний спосіб підвищення рентабельності і конкурентоспроможності підприємства. Ефективне використання енергоресурсів є одним з найбільш надійних і економічно доцільних способів підвищення прибутковості підприємства. У той же час, цей спосіб найменш зрозумілий багатьом власникам і керівникам підприємств [6].

Енергоефективність – широко вживаний термін якісного характеру, що означає засіб досягнення різних цілей, в тому числі: цілей національної та міжнародної політики, а також цілей бізнесу, найважливішими з яких є [7]:

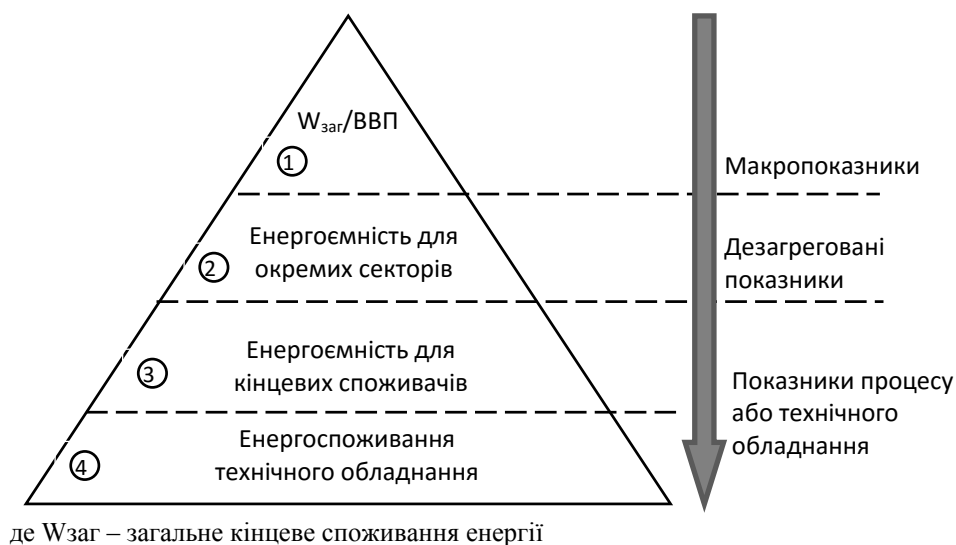
- зниження викидів вуглекислого газу (запобігання зміні клімату);
- підвищення безпеки енергопостачання (в результаті більш стійкого виробництва);
- зниження витрат (підвищення конкурентоспроможності бізнесу).

Систематичне підвищення енергоефективності – це закон розвитку цивілізації. Науково-технічний прогрес робить ресурс підвищення енергоефективності поновлюваним: постійно з'являються нові технології, що дозволяють підвищити ефективність використання енергії. Тобто мінімальні питомі витрати енергії систематично знижуються [8].

Дуже часто як індикатор енергоефективності приймають показник енергоємності економіки (витрати всіх первинних енергоресурсів або кінцевого споживчого продукту – електроенергії по відношенню до ВВП або ВРП). Сам показник ВВП не може вважатися цілком обґрунтованим індикатором кінцевого результату, бо розраховується за штучно сформованою величиною паритету купівельної спроможності. ВВП враховує вартість доданого виробленого продукту, нічого не кажучи про соціальний ефект економічної діяльності та про внесок енергетичного фактора. Тому необхідний пошук інших індикаторів, що характеризують результат [9].

Міжнародне енергетичне агентство (International Energy Agency, IEA) запропонувало представити енергетичні показники енергоефективності у відповідності до «пірамідального підходу» – від найбільш агрегованого рівня до дезагрегованого [5, 10]. На рис. 1 показники представлені для кожного сектора, а потім для кожного підсектору або виду кінцевого споживання.

Верхній ряд піраміди (самий укрупнений показник) визначається як відношення енергоспоживання до ВВП. Інакше, він може бути визначений як відношення енергоспоживання до іншої макроекономічної змінної, такої як чисельність населення. Для спостереження за двома основними факторами споживання корисно розглядати показники, пов'язані як з ВВП, так і з населенням одночасно.



де $W_{\text{заг}}$ – загальне кінцеве споживання енергії
Рисунок 1 – Піраміда енергетичних показників ІЕА

Другий ряд елементів можна визначити як енергоемність кожного з основних секторів, що вимірюється як енергоспоживання на одиницю діяльності в кожному секторі. Корисно розглядати енергоспоживання у відношенні як до фізичних, так і до вартісних одиниць, у відповідності до основних факторів сектору.

Нижній ряд піраміди – це підсектори або види кінцевого споживання в кожному секторі, які послідовно надають все більш докладну інформацію, наприклад, яка характеризує конкретні енергетичні послуги, фізичні процеси або ключові технічні пристрої кінцевого споживання енергії.

Укрупнені показники дають загальне уявлення про причини тенденцій енергоспоживання в секторі. Однак необхідна більш детальна інформація для розуміння ключових факторів енергоспоживання та аналізу політики впливу на ці тенденції.

Найбільшу питому вагу (55–58%) у структурі потенціалу енергозбереження України має промисловість. Висока енергоемність випуску продукції є наслідком відставання у темпах оновлення обладнання промислових підприємств, впровадження новітніх технологій, а також тінзації та незадовільної галузевої структури національної економіки та її експортоорієнтованості. Зростання цін на енергоносії посилює загрозу негативних змін в економіці, падіння рентабельності виробництва, зменшення частки промисловості у ВВП та переваги цінової конкурентоспроможності імпортованої продукції щодо продукції українських виробників. Отже, пріоритетним напрямом сучасних стратегій розвитку вітчизняних промислових підприємств є ефективне використання енергетичних ресурсів, в основі якого лежить мінімізація споживання енергетичного ресурсу при отриманні корисного ефекту. Забезпечення оптимального використання енергоресурсів вимагає проведення оцінки економічної ефективності їх використання [11].

Найбільш широко використовується в промисловості показник енергоефективності, що являє собою витрати енергії на одиницю виробленої продукції або виходу технологічного процесу – «питоме енергоспоживання» (ПЕС):

$$w_{\text{сп}} = \frac{\sum_i E}{P}, \quad (1)$$

де E – спожита енергія, P – вироблена продукція.

ПЕС можна представити як відношення спожитої енергії до будь-якої грошової величини, наприклад, обороту компанії, доданої вартості, ВВП і т.п.:

$$w_{\text{сп}} = \frac{\sum_i E}{M} = \frac{\text{ГДж}}{\text{євро обороту}}, \quad (2)$$

де E – спожита енергія, M – оборот установки.

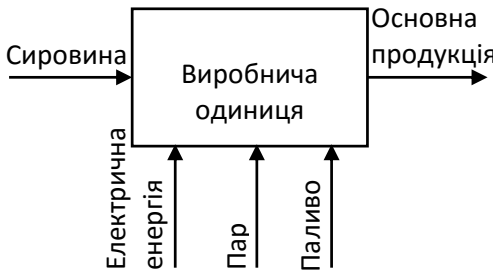
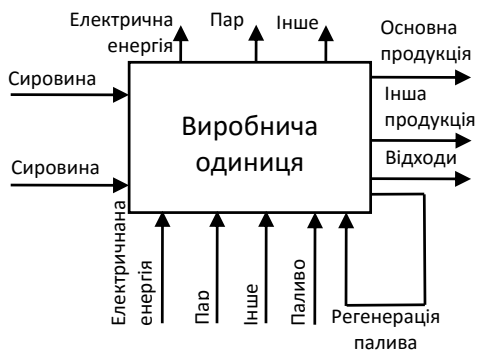
Як правило, ПЕС має розмірність ГДж/т і може застосовуватися для установок, в яких вихід продукції вимірюється в одиницях маси. Для енерговиробних установок (електростанцій, сміттєспалювальних

заводів) більш доречним може бути використання в якості показника енергоефективності ККД установки – відношення виробленої енергії (ГДж) до підведеної енергії (ГДж). Як показник ПЕС можуть використовуватися й інші відношення, такі, як витрати енергії на м² (наприклад, при покритті рулонної сталі, в деяких операціях при виробництві автомобілів), витрати енергії на одного працівника тощо.

Оскільки грошовий обсяг випуску, як правило, зростає з плином часу, ПЕС може знижуватися з відсутністю будь-якого зростання фізичної енергоефективності (якщо не використовувати перерахунку в незмінні ціни). Тому слід уникати використання цього показника при обговоренні фізичної енергоефективності установки[7].

Показники енергоефективності в промисловості представлені в таблиці 1 [7,12,13].

Таблиця 1 – Показники енергоефективності в промисловості.

Опис процесу	Показник енергоефективності
	<p style="text-align: center;">Рисунок 2 – Потоки енергії у разі простого технологічного процесу</p> $w_{СП} = \frac{E_{s,in} + E_{e,in} + E_{f,in}}{P}$ <p>де $w_{СП}$ – показник енергетичної ефективності (ПЕС); $E_{s,in}$ – енергія пари, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції P; $E_{e,in}$ – електроенергія, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції P; $E_{f,in}$ – енергія палива, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції P.</p> <p>Споживання різних потоків енергії в рівнянні має бути приведені до первинної енергії на основі ККД виробництва відповідних форм енергії.</p>
<p>Простий технологічний процес. Для простоти передбачається, що в рамках процесу не виробляється енергія, що постачається зовнішнім споживачем, процес використовує один вид сировини і виробляє один вид продукції. Процес використовує пар, електроенергію і паливо.</p>	 <p style="text-align: center;">Рисунок 3 – Потоки енергії виробничої одиниці</p>
<p>Виробнича одиниця представляє більш складну ситуація, в якій мають місце як енергія, що постачається за межі системи, так і регенерація палива в межах підрозділу або процесу. Цей приклад демонструє принципи, застосовні, з</p>	$w_{СП} = \frac{E_{s,in} + E_{e,in} + (E_{f,in} + E_{f,rec}) + E_{o,in} - (E_{s,out} + E_{e,out} + E_{f,out})}{P_1}$ <p>Потоки від F_1 до F_n являють собою різні види сировини, яка використовується при виробництві основної продукції P_1, а також супутньої продукції. Потоки супутньої продукції розділені на дві групи: продукція, яка</p>

Продовження таблиці 1 – Показники енергоефективності в промисловості.

Опис процесу	Показник енергоефективності
<p>відповідними уточненнями, по багатьом підприємствам. Матеріальні потоки сировини і продукції йдуть в горизонтальному напрямку.</p>	<p>повертається в процес в якості палива (P_f), інші види супутньої продукції (P_2).</p> <p>Потоки енергії представляють різні види енергії, що підводиться до процесу або поставляється за його межі. Вхідні і вихідні потоки енергії представлені у вертикальному напрямку: E_s – пар або гаряча вода; E_e – підводиться електроенергія; E_f – паливо (газоподібне, рідке, тверде); E_o – інше, в цей потік включаються будь допоміжні ресурси, для виробництва яких потрібна енергія.</p>
<p>Рисунок 4 – Вхідні і вихідні потоки підприємства</p>	
<p>Складне виробниче підприємство може включати більше однієї виробничої одиниці або технологічного процесу. Для визначення енергоефективності підприємства в цілому його слід розділити на компоненти, в числі яких будуть як компоненти, що забезпечують основний технологічний процес, так і допоміжні компоненти.</p> <p>Виробниче підприємство може випускати різні види продукції, кожен з яких характеризується власною енергоємністю. Тому визначення осмислених показників енергоефективності для підприємства в цілому не завжди являє собою просту задачу.</p>	$I_{EE} = \frac{\sum_{i=\text{підр}} P_{i,j} \times w_{\text{спбаз},j}}{E_{\text{підпр}}}$ <p>де I_{EE} – індекс енергоефективності для підприємства; $P_{i,j}$ – випуск продукції виду j підрозділом i за даний період; $w_{\text{спбаз},j}$ – базове ПЕС для виду продукції j; $E_{\text{підпр}}$ – енергоспоживання підприємства за певний період</p>

Здійснення оцінки економічної ефективності використання енергоресурсів потребує розрахунку коефіцієнту енергоефективності, який обчислюється за формулою:

$$K_{ен} = R/C, \tag{3}$$

де R – результат або ефект від здійснення енергозберігаючих заходів, грн.; C – витрати капіталу або обсяг інвестицій для реалізації енергоефективного проекту, грн.

Показники енергоефективності можуть бути прямі, тобто такі, які безпосередньо визначають ефективність використання ПЕР, і непрямі, в яких ефективність використання ПЕР прямо не відображається, але значною мірою залежить від рівня та структури використання ПЕР (таблиця 2). Система таких показників дає можливість підрахувати результати реалізації енергоефективного проекту на промисловому підприємстві [11].

Таблиця 2 – Основні показники енергоефективності підприємства

Найменування показника	Формула для обчислення показника	Позначення
Прямі показники		
Енергоемність випуску продукції, кг.у.п./грн.	$e_{в.пр.} = \frac{P}{V_b}$	де P – обсяг споживання ПЕР на енергетичні цілі, кг.у.п.; V_b – обсяг випуску продукції на підприємстві, грн.
Енергоемність валової доданої вартості (ВДВ), кг.у.п./грн.	$e_{вдв} = \frac{P}{V_{вдв}}$	де $V_{вдв}$ – обсяг ВДВ на підприємстві.
Паливоємність $V_{e(вдв,ввп)}$, електроємність $W_{e(вдв,ввп)}$, теплоємність $Q_{e(вдв,ввп)}$	$B_{e(вдв,ввп)} = \frac{\sum B_i}{V_{e(вдв,ввп)}};$ $W_{e(вдв,ввп)} = \frac{W_i}{V_{e(вдв,ввп)}};$ $Q_{e(вдв,ввп)} = \frac{Q_i}{V_{e(вдв,ввп)}}$	де B – обсяг споживання органічного палива, кг.у.п./грн.; W – обсяг споживання електроенергії кВт/год; Q – обсяг споживання теплової енергії, Гкал.
Коефіцієнт корисного використання енергії	$k_{кв} = \frac{E_k}{E_3}$	де E_k – кількість використаної електроенергії, кВт; E_3 – загальна кількість електроенергії, кВт.
Непрямі показники		
Середня ціна одиниці спожитих ПЕР, грн./т у.п.	$C_{сеп} = \frac{\sum C_i \cdot B_i + T_e \cdot W + T_t \cdot Q}{\sum B_i + W + Q}$	де C_i – ціна на i -й вид органічного палива, грн./т.у.п.; B_i – споживання i -го виду органічного палива, т у.п.; T_e – тариф на електроенергію, грн/кВт/год; W – споживання електроенергії кВт/год/т.у.п.; T_t – тариф на теплову енергію, грн/Гкал; Q – споживання теплової енергії Гкал/т.у.п.
Енергоемність основних виробничих фондів, т у.п./грн.	$E_{овф} = \frac{\sum B_i + W + Q}{D_{овф}}$	W – обсяг спожитої електроенергії кВт/год; Q – обсяг спожитої теплової енергії т.у.п.; $D_{овф}$ – середньорічна вартість основних виробничих фондів, грн.
Вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, грн	$C_e = \frac{C_{пр}}{V_e}$	$C_{пр}$ – вартість спожитих ПЕР на виробництво певного обсягу випуску продукції, грн; V_e – обсяг випуску продукції, грн.
Частка витрат на ПЕР в обсязі проміжного споживання (випуску), %	$l_{пс(в)} = \frac{C_{пр}}{V_{пс(в)}} \times 100\%$	$V_{пс(в)}$ – обсяг проміжноспоживання, грн.
Частка витрат ПЕР у собівартості проукції, робіт, послуг, %	$l_{сб} = \frac{C_{пр}}{C_{сб}} \times 100\%$	$C_{сб}$ – собівартість продукції, робіт, послуг, грн.
Коефіцієнт енергоозброєності праці	$K_{енп} = \frac{N}{C_{нз}}$	N – енергетична поужність підприємства, кВт/люд.; $C_{нз}$ – чисельність зайнятих працівників, люд.

З метою підвищення енергоефективності можна використовувати наступні методи [7]:

1. Зміни у виробничих методах і характеристиках продукції.

– Зміни схеми виробництва.

Можуть включати, наприклад, виведення з експлуатації збиткових виробничих ліній, зміна конфігурації допоміжного виробництва або об'єднання підрозділів з аналогічними функціями. Прагнення до підвищення енергоефективності також може бути одним з мотивів подібних змін.

– Припинення виробництва енергоємної продукції.

Компанія може прийняти рішення припинити виробництво певного виду продукції, що відрізняється високою енергоемністю. Це призведе до зниження як загальних, так і питомих енерговитрат підприємства.

Компанія має право розглядати таке рішення як захід з підвищення енергоефективності навіть при відсутності яких-небудь додаткових заходів.

– Делегування функцій зовнішньому підряднику (outsourcing).

Виробництво одного з видів допоміжних ресурсів, наприклад, стисненого повітря, може бути делеговане зовнішньому підряднику. Купівля стисненого повітря із зовнішнього джерела призводить до скорочення енергоспоживання підприємства з одночасним зростанням енерговитрат постачальника.

– Передача окремих етапів технологічного процесу зовнішньому підряднику.

Компанія-оператор може розглянути можливість передачі зовнішньому підряднику енергоємних етапів технологічного процесу, наприклад, термічної обробки металевих деталей. Оскільки це не скасовує необхідності у виконанні даної операції, таке рішення не може розглядатися як захід з підвищення енергоефективності, і відповідні енергозатрати повинні враховуватися при розрахунках. Даний захід може бути більш енергоефективним в силу кращого знання особливостей процесу (що сприяє оптимізації останнього), а також більшого обсягу виробництва (ефект масштабу).

2. Інтеграція енергосистем.

– Внутрішнє виробництво енергії.

Внутрішнє виробництво енергії (у формі електрики або пари) без збільшення споживання первинної енергії є одним із визнаних способів підвищення енергоефективності. Засоби оптимізації останньої можуть включати обмін енергією з сусідніми процесами і установками (або непромисловими користувачами).

– Використання кисню при спалюванні палива.

Кисень може використовуватися при спалюванні палива на теплових електростанціях та інших підприємствах з метою підвищення ККД згоряння, а також зниження витрати палива. Крім того, використання кисню сприяє підвищенню енергоефективності в силу зниження масового потоку повітря в димових газах, а також скороченню викидів NO_x. Проте виробництво кисню на підприємстві або за його межами, вимагає енергії, і ці енерговитрати також необхідно враховувати.

– Інтеграція процесів і розукрупнення компаній.

Будівництво виробничих комплексів з високим ступенем інтеграції забезпечує значні економічні переваги. В інших випадках ринкова стратегія полягає в розукрупненні компаній на окремі виробничі одиниці. Результатом обох процесів є виникнення складних виробничих комплексів, де присутня безліч компаній-операторів, взаємодіючих між собою. При цьому енергоресурси для такого комплексу можуть вироблятися однією з присутніх там компаній, або їх купують із зовнішніх джерел. Може також формуватися складна структура потоків енергії між виробництвами різних компаній, які перебувають на загальному майданчику.

В цілому подібні складні виробничі комплекси мають значний потенціал ефективного використання енергії за рахунок інтеграції енергосистем.

3. Системний підхід до менеджменту енергоефективності.

Хоча певне енергозбереження може бути досягнуто за допомогою оптимізації окремих компонентів (наприклад, двигунів, насосів або теплообмінників), найбільший потенціал енергозбереження пов'язаний з використанням системного підходу. Такий підхід починається на рівні установки в цілому з розгляду складових її виробничих одиниць або систем та оптимізації: (а) способу взаємодії цих систем; (б) кожної системи окремо. Лише після цього має сенс звернутися до оптимізації окремих компонентів обладнання.

Системний підхід важливий, зокрема, у зв'язку з використанням енергоресурсів. Традиційно зусилля операторів зосереджені на оптимізації енергоспоживаючих процесів і обладнання – «заходи на стороні споживання».

4. Енергоефективне проектування.

На етапі планування будівництва нового підприємства або установки (або великої реконструкції існуючих об'єктів) слід оцінити витрати, пов'язані з енергоспоживанням виробничих процесів, обладнання та допоміжних систем протягом усього терміну служби об'єкта. У багатьох випадках може з'ясуватися, що витрати, пов'язані з енергоспоживанням складають значну частину сукупної вартості, що розраховується для всього терміну служби підприємства та установки.

При розгляді питань енергоефективності на етапах планування чи проектування нового об'єкта потенціал енергозбереження виявляється вище, а відповідні інвестиції значно нижче, ніж при оптимізації енергоефективності підприємства в процесі комерційної експлуатації.

У процесі енергоефективного проектування використовуються ті самі технічні знання, підходи і методи, що і в процесі енергоаудиту на існуючих підприємствах. Найважливіша відмінність полягає в тому, що на етапі проектування існує можливість вибору в таких областях, як основні проектні параметри установки, виробничий процес, який використовується, основне виробниче обладнання тощо. Це робить можливим вибір найбільш енергоефективних технологій. Здійснення подібних змін на діючому підприємстві, як правило, є неможливим або вкрай витратним.

Енергоефективне проектування забезпечує найбільшу віддачу в разі нового будівництва або великої реконструкції. Однак це не повинно бути перешкодою для застосування даного методу при плануванні модернізації, реконструкції або капітального ремонту існуючих об'єктів. Оцінка реальних потреб в енергії є найважливішим елементом енергоефективного проектування, що дозволяє визначити ті області, на які будуть спрямовані основні зусилля під час наступних етапів планування і проектування.

З впровадженням енергоефективного проектування пов'язаний максимальний потенціал енергоефективності в промисловості, що також створює можливості для застосування енергоефективних рішень, впровадження яких на існуючих підприємствах може виявитися неможливим. У багатьох проектах досягаються обсяги енергозбереження, що становлять 20 – 30% від загального енергоспоживання. Ці величини значно перевершують те, що може бути досягнуто в результаті енергоаудитів на діючих підприємствах.

Будь-яке підприємство знаходиться в єднанні з зовнішнім середовищем, яке в значній мірі впливає на всю його діяльність, оскільки воно є наслідком отримання всіх ресурсів, потрібних для успішної діяльності. Підприємство не може обійтися без поставок енергетичних ресурсів, співробітників, видобутку потрібної інформації, які воно отримує саме із зовнішнього середовища, потім підприємство перетворює ці ресурси в послуги та товари, які потрапляють у зовнішнє середовище. Постійна взаємодія з зовнішнім середовищем допомагає існувати й розвиватися підприємству. Дія зовнішнього середовища на підприємство величезна, вона може виражатися в різних факторах, надавати благополучні умови для успішної роботи всього підприємства, або навпаки, представляти загрозу його існуванню. Умови дій зовнішнього середовища різноманітні, вони складаються з безлічі компонентів, які надають різний вплив на процвітання підприємства. Неможливо підприємству бути у відриві від зовнішнього середовища, слід постійно з ним контактувати. Різноманітність складових зовнішнього середовища в значній мірі впливають на підприємство кожне у своєму ступені і періодичності. І для успішного розвитку необхідно проводити дослідження факторів, що впливають на процвітання підприємства. Для цього використовують PEST аналіз. Він являє собою деяку макроекономічну модель, в якій відображена оцінка впливу зовнішнього середовища на діяльність підприємства.

PEST аналіз – це стратегічний аналіз соціальних (S – social), технологічних (T – technological), економічних (E – economic), політичних (P – political) факторів зовнішнього середовища організації. Він застосовується в процесі стратегічного планування та управління великими підприємствами, а також для цілей оцінки інвестиційних ризиків.

Аналіз виконується за схемою «фактор – підприємство». Результати PESTаналізу дозволяють оцінити зовнішню економічну ситуацію, що складається у сфері виробництва та комерційної діяльності в найближчій перспективі декількох років [14, 15].

При аналізі ефективності реалізації енергозберігаючих заходів доцільно враховувати як системні властивості (наприклад, критерії вибору енергозберігаючих заходів), у першу чергу міжсистемні зв'язки елементів, так і вимоги, що висуваються до їх моделей, з точки зору адекватності (достовірності) відображення енергетичних та інформаційних сигналів. Необхідно враховувати множину значимих характеристик відповідної системи, сформулювавши при цьому жорстко обґрунтовані припущення та вибравши форму представлення моделі, рівень її деталізації [16].

При оцінці та виборі системи енергозберігаючих, екологічно прийнятих заходів часто необхідно використовувати багатоваріантний аналіз – скалярну та векторну оптимізацію, залучаючи для цього різні моделі, наприклад, тренди, регресійні моделі, Парето-поверхні, розмиті множини тощо. При виборі енергоефективного обладнання і критеріїв вибору енергозберігаючих заходів можна виділити як перспективний метод аналізу ієрархій [17, 18], який полягає в декомпозиції задачі вибору на більш прості складові частини і подальшій обробці послідовності рішень експерта на основі парних порівнянь. Пропонована методика вибору енергоефективного обладнання і критеріїв вибору енергозберігаючих заходів дозволяє здійснювати порівняння альтернативних варіантів і може бути використана для обґрунтування вибору енергозберігаючих заходів.

Базовими елементами в процесі підвищення енергоефективності підприємства є розробка відповідної системи критеріїв оцінки та її елементів, методик оцінки ефективності схем функціонування в режимах оптимального споживання енергоносіїв, проведення їх енерготехнологічного обстеження та оцінки взаємного впливу окремих елементів. Щодо процедури досягнення ефективності енергоресурсів, то вони визначаються багатьма факторами, що обумовлюють існування та застосування відносно великої кількості показників. Визначення та урахування цих факторів, а також у першу чергу їх пріоритетності, обумовило необхідність застосування трьох систем показників: енергетичних, економічних, екологічних, що вважається достатнім для всебічної оцінки ефективності нововведень [19, 20].

У багатьох енергетичних процесах використовують якісно нерівноцінні енергоресурси, а саме таку енергію, як механічну, електричну та хімічну. Це визначає необхідність існування величини, яка дозволяє порівнювати неоднорідні енергоресурси за фізично однорідними категоріями. Такою величиною може стати критерій екологічно-економічної ефективності, який буде слугувати критерієм для порівняння

різних енерготехнологій за економічними, екологічними і технічними параметрами. Він розраховується за такою формулою:

$$E = E_1 \times E_2 \times E_3, \quad (4)$$

де E_1, E_2, E_3 – відповідно параметри екологічності, економічності, ефективності [16,19].

Проблема енергозбереження тісно пов'язана з екологічною, оскільки видобуток, переробка та споживання енергоресурсів практично завжди супроводжуються забрудненням навколишнього середовища. При виявленні резервів покращення екологічної ситуації шляхом зниження викидів у процесі спалювання палива можливе виконання умов забезпечення охорони життєдіяльності людини. Це може бути досягнуто при раціональному підборі видів палива за рахунок впровадження досконалих критеріїв вибору енергозберігаючих заходів, використання повномасштабної та часткової підготовки палива до спалювання, впровадження нових технологій, пошуку нетрадиційних відновлюваних альтернативних джерел енергії та використання вторинних ресурсів [21, 22].

Критерії екологічності можна представити у вигляді:

$$E_1 = E_B \times E_{AB}, \quad (5)$$

де E_B та E_{AB} – екологічна та абсолютно екологічна безпечність.

Екологічна шкода, яка буде заподіяна середовищу, визначається згідно співвідношення:

$$E_B = 1/E_B', \quad (6)$$

Можна зазначити ще одну умову впровадження енергозберігаючих заходів, яка буде впливати на екологічність – скорочення споживання енергоресурсів, яке має здійснюватися на фоні контрольованої якості. Завдяки цьому викиди шкідливих речовин будуть автоматично скорочуватись.

Систему економічних показників для визначення економічної ефективності енергозберігаючих заходів складають вартісні показники використання енергоресурсів і супутніх виробничих процесів з метою попередження можливих втрат та покращення результатів діяльності галузі економіки, регіону або підприємства (організації) [19].

Завдяки існуючій у світовій практиці методиці розрахунку ефективності, енергозберігаючі проекти або заходи слід проводити з використанням таких показників, як чистий дисконтований прибуток, термін окупності, індекс прибутковості [19, 20]. Наприклад, у процесі визначення ефективності енергозберігаючого проекту необхідно провести порівняння різночасових економічних показників шляхом їх приведення до якогось одного певного моменту. Результати дослідження дають змогу вважати енергозберігаючий захід або проект економічно ефективним при наявності прибутку, який утворився при впровадженні даного заходу:

$$E_2 = \frac{C_{3п} \times Q_{3п}}{B_{\Sigma}}, \quad (7)$$

де $C_{3п}$ та $Q_{3п}$ – ціна та вартість заміщеного умовно палива; B_{Σ} – сумарні приведені витрати за термін служби генеруючого енергооб'єкта. Величина B_{Σ} визначається як сума наступних доданків:

$$B_{\Sigma} = B_B + B_E + B_{П} + B_{Тр} + B_{Л.П.} + B_D + B_{E.ЗБ}, \quad (8)$$

де $B_B, B_E, B_{П}, B_{Тр}, B_{Л.П.}, B_D$ – приведені затрати на будівництво генеруючого енергооб'єкта, його експлуатацію протягом терміну служби, на паливо, транспорт, лінії електропередач і додаткові витрати; $B_{E.ЗБ}$ – приведені сумарні витрати на компенсацію екологічного збитку. Величина $C_{3п} \times Q_{3п} = E_{П}$ визначає економічну ефективність від заміщення палива. Це досить таки важливий показник, оскільки може порівнювати різні технології і визначення економічного ефекту від використання енергетичного потенціалу [16].

Отже, показники ефективності використання ПЕР дають змогу порівняти у просторі та часі рівень ефективності використання цих ресурсів в агрегатах, технологічних процесах, підприємствах, об'єднаннях, організаціях, за видами економічної діяльності, в галузях економіки й промисловості, регіонах і у державі, а також ефективність структури споживання енергоносіїв з погляду економічної доцільності їхнього застосування у різних технологічних процесах й агрегатах з урахуванням енергетичного ефекту та ціни на них тощо.

Підвищення енергоефективності на підприємстві підвищує доходи підприємства і, разом з тим, приносить такі результати як:

- заощадження коштів, що забезпечує зростання конкурентоспроможності підприємства, особливо при зростанні цін на енергоносії;
- збільшення продуктивності через удосконалення виробничих процесів, що пов'язані із способом використання енергії;
- встановлення квот на викиди, що дозволяє знизити залежність від цін на енергоносії, зменшити ризики компанії, що, в свою чергу, підвищує вартість підприємства;
- скорочення викидів у навколишнє середовище, через що покращується екологічний стан, а з ним – імідж підприємства.

Набір показників, який входить до складу системи оцінки енергоефективності, для кожного підприємства необхідно уточнювати, звертаючи увагу на енергоємність продукції, масштаби виробництва, а також особливості технологічних процесів, що допускають застосування альтернативних енергоносіїв. Також при формуванні набору показників необхідно звертати увагу на проблеми енергоефективності, які є загальними для інфраструктури, а саме значна втрата теплової енергії в допоміжних процесах, високий фізичний і моральний знос устаткування, неефективне використання вторинних ресурсів, низьке завантаження технологічних потужностей та інше. Наведені показники слід використовувати як базову систему показників, в яку необхідно, в залежності від обставин, вносити додаткові критерії енергоефективності.

Список літератури:

1. Енергетичний потенціал України. [Електронний ресурс]:// <http://www.necin.com.ua/energetika-ukrayini/23-energetichniy-potencial-ukrayini.html>
2. Иншаков О.В., Богачкова Л.Ю., Олейник О.С. Повышение энергоэффективности в контексте вступления России в ВТО: проблема, межрегиональные сравнения, пути решения. // Современная экономика: проблемы и решения. – 2013. – № 1. – С. 17 – 31.
3. Національний план дій з з енергоефективності на період до 2020 року. [Електронний ресурс]://<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15>
4. Гололобова О.М.; Ларка М.І. Аналіз рівня використання потенціалу енергозбереження в промисловості України. // Сборник научных трудов «Вестник НТУ "ХПИ"» Технічний прогрес та ефективність виробництва – 2015. – № 25. – С. 127 – 134.
5. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]: // http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_RU_final_FULLL.PDF
6. Никитина О.Л., Кокорин Д.В., Лебедев Н.А. Энергоэффективность и ресурсосбережение в России. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул). [Электронный ресурс]:// http://edu.secna.ru/media/f/innov_fin_menedgment_tez_2013.pdf
7. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. Проект Программы сотрудничества ЕС и России "Гармонизация экологических стандартов II" Представительство ВР в России РХТУ имени Д.И. Менделеева 2009 г. [Электронный ресурс]: // http://www.muctr.ru/univsubs/ecocentre/files/Power_efficiency.pdf
8. Башмаков И.А. Российский ресурс энергоэффективности: масштабы, затраты и выгоды // Вопросы экономики. – 2009. – №2. – С.71 – 89.
9. Бушуев В.В. Энергоэффективность. (социально-технологические и экономические аспекты) тезисы. [Электронный ресурс]: // http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/Bushuev_Strong_Rus-25.06.10.doc.
10. Показатели энергоэффективности: основы статистики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]: // <https://www.iea.org/media/training/eeukraine2015/EEIrussianversion.PDF>
11. Сердюк Б. М., Маслікевич М.Р. Сутність оцінки енергоефективності підприємства. [Електронний ресурс]:// http://probl-economy.kpi.ua/pdf/2011_29.pdf
12. Системи енергетичні технічні. Основні положення (ISO 13600:1997, IDT) / пер. і наук. – техн. ред. Б. Стогній [та ін.]. – Чинний від 2002.04.01. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 2001. – IV, 9 с. – (Державний стандарт України).
13. Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу. Сектори постачання та споживання енергопродукту (ISO 13601:1998, IDS) / пер. та наук.–техн. ред. Б. Стогній [та ін.]. – Чинний від 2002.05.01. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 2001. – IV, 31 с. – (Державний стандарт України).
14. PEST анализ и пример его проведения. [Электронный ресурс]://<http://profmeter.com.ua/communication/learning/course/course12/lesson253/>
15. PEST анализ. [Электронный ресурс]://<http://www.markint.ru/pest-analiz/>
16. Беляев Ю.М. Критерии эколого-экономической эффективности энергетических технологий // Промышленная энергетика. – 2003. – № 8. – С.39 – 44.
17. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
18. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
19. Микитенко В.В. Оцінка ефективності енерго- і ресурсозберігаючих технологій // Проблеми науки. – 2001. – № 12. – С.35 – 41.
20. Микитенко В.В. Інноваційна модель аналізу та прогнозу ефективності галузей і технологій // Проблеми науки. – 2002. – №4. – С.37 – 41.
21. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

22. Конторович Л.Н., Кирпичевский С.Г. Лингвистическая модель постановки задачи оптимизации трансформаторов с системе ОПТРАН // Методы анализа режимов электроэнергетических систем и установок. – К.: Наук. Думка, 1987.

S.P. Denysyuk, V.I. Vasilenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

ENERGY, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ENERGY EFFICIENCY INDICATORS

In the article is considered the problem of energy efficiency in Ukraine. Questions of increase of energy efficiency are identified. Represented the main indicators of energy efficiency in the industry for a simple process, production units and the enterprise as a whole. Resulted main methods of increasing energy efficiency.

The analysis of the need for the three indicators: energy, economic, environmental, considered sufficient to assess the effectiveness of comprehensive innovation.

Keywords: energy efficiency, fuel and energy resources, energy conservation, energy efficiency indicators, systems approach, energy efficient design.

References:

1. The energy potential of Ukraine. [Electronic resource]: // <http://www.necin.com.ua/energetika-ukrayini/23-energetichniy-potencial-ukrayini.html>
2. Inshakov O.V., Bogachkova L.Y., Oleinik O.S. Improving energy efficiency in the context of Russia's WTO accession: the problem, inter-regional comparisons and solutions. // *Modern Economy: Problems and Solutions*. – 2013. – № 1. – С. 17 – 31.
3. National Action Plan on energy efficiency for the period until 2020. [Electronic resource]: // <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15>
4. Goloshchapov A.M.; Lark M.I. Analysis of the use of energy efficiency potential in industry of Ukraine. // *Collection of scientific works "Vestnik NU" HPI* " Technological advances and efficiency – 2015. – № 25. – С. 127 – 134.
5. Energy efficiency indicators: the bases of formation of policy. International Energy Agency, OECD / IEA, 2014. [Electronic resource]: // http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_RU_final_FULL.PDF
6. Nikitina O.L., Kokorin D.V., Lebedev N.A. Energy efficiency and resource conservation in Russia. Altai State Technical University. II Polzunova I.I. (Barnaul). [Electronic resource]: // http://edu.secna.ru/media/f/innov_fin_menedgment_tez_2013.pdf
7. Reference Document on best available techniques for energy efficiency. Draft Programme of cooperation between the EU and Russia "Harmonisation of Environmental Standards II" Representation of BP's Russian name RCTU D.I. Mendeleev in 2009 [electronic resource]: // http://www.muctr.ru/univsubs/ecocentre/files/Power_efficiency.pdf
8. Bashmakov I.A. Russian energy efficiency resources: the scope, costs and benefits // *Questions of economy*. – 2009. – №2. – С.71 – 89.
9. V.V. Bushuyev. Energy efficiency. (socio-technological and economic aspects) theses. [Electronic resource]: // http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/Bushuev_Strong_Rus-25.06.10.doc.
10. Energy efficiency indicators: fundamentals of statistics. International Energy Agency, OECD / IEA, 2014. [Electronic resource]: // https://www.iea.org/media/training/eeukraine2015/EEI_russianversion.PDF
11. Serdyuk B.N., Mazurkiewicz M.R. The essence of the evaluation of energy efficiency. [Electronic resource]: // http://probl-economy.kpi.ua/pdf/2011_29.pdf
12. Energy systems engineering. Basic provisions (ISO 13600: 1997, IDT) / Lane. and Sciences. – Engineering. Ed. B. Stogniy [et al.]. – Effective as of 2002.04.01. – Official. kind. – K.: State Standard of Ukraine, 2001. – IV, 9 p. – (State Standard of Ukraine).
13. Energy systems engineering. Structure for analysis. The sectors of energy supply and consumption (ISO 13601: 1998, IDS) / Lane. and Sciences. – Engineering. Ed. B. Stogniy [et al.]. – Effective as of 2002.05.01. – Official. kind. – K.: State Standard of Ukraine, 2001. – IV, 31 p. – (State Standard of Ukraine).
14. PEST analysis and Example of its Conducting. [Electronic resource]: // <http://profmeter.com.ua/communication/learning/course/course12/lesson253/>
15. PEST analysis. [Electronic resource]: // <http://www.markint.ru/pest-analiz/>
16. Y. M. Belyaev. Criteria for environmental and economic efficiency of energy technologies // *Industrial Energy*. – 2003. – № 8. – С.39 – 44.
17. T.Saaty, K. Kearns. Analytical planning. Organisation systems. – M.: Radio and Communications, 1991. – 224 c.
18. T. Saaty. Making decisions. The method of analysis of hierarchies. – M.: Radio and Communications, 1993. – 278 c.
19. V. V. Mikitenko. Evaluating the effectiveness of energy and resource saving technologies // *Problems of Science*. – 2001. – № 12. – С.35 – 41.

20. V. V. Mikitenko. The innovative model of analysis and forecasting efficiency of industries and technologies // Problems of science. – 2002. – №4. – С.37 – 41.

21. M. P. Kovalko, S. P. Denysuk/ Energy efficiency – a priority direction of state policy of Ukraine. – Kyiv: UEZ, 1998. – 506 с.

22. L. N. Kontorovich, S. G. Kirpichevsky. The linguistic model posing the problem of optimizing the system transformers OPTRAN // Methods of analysis modes elektroenergeticheskikh systems and plants. – K.: Science Dumka, 1987.

УДК 621.38

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, профессор, **В.И. Василенко**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

В статье рассмотрена проблема эффективного использования энергетических ресурсов в Украине. Определены вопросы повышения энергетической эффективности, представлены основные показатели энергоэффективности в промышленности для простого технологического процесса, производственной единицы и предприятия в целом. Приведены основные методы повышения энергоэффективности.

Проанализирована необходимость применения трех систем показателей: энергетических, экономических, экологических, что является достаточным для всесторонней оценки эффективности нововведений.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, топливно-энергетические ресурсы, энергосбережения, энергетические показатели энергоэффективности, системный подход, энергоэффективное проектирование.

Надійшла 21.01.2016

Received 21.01.2016

УДК 504.064.4:658.567.3

Ю.С. Калмыкова, асс., ***В.И. Ларин**, д-р хим. наук, проф., **Э.Б. Хоботова**, д-р хим. наук., проф.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
***Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина**

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТВАЛЬНЫХ
ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ**

Приведены результаты разработки шлакощелочных вяжущих (ШЩВ) на основе доменных шлаков металлургических комбинатов Украины. Определен минералогический, элементный и оксидный составы шлаков и ШЩВ. Разработан способ изготовления радиационно-безопасных ШЩВ. Рассчитан экономический эффект при использовании отвальных доменных шлаков в строительной отрасли и доказана экономическая привлекательность инвестиционного проекта.

Ключевые слова: отвальные доменные шлаки, загрязнение, утилизация, производство строительных материалов, экономический эффект.

Вступление. Шлаки черной металлургии являются неизбежным побочным продуктом основного производства, выход которых составляет 10- 40 % от произведенного металла. Они наносят серьезный вред окружающей среде и здоровью человека, занимают огромные площади, загрязняют токсическими соединениями почву, водный и воздушный бассейны, повышают себестоимость готовой продукции предприятий из-за значительных затрат на их транспортировку, размещение и хранение. В то же время, такие отходы, представляющие собой техногенные месторождения ценного вторичного сырья, могут обеспечить потребности промышленного производства в дорогостоящей и дефицитной для Украины продукции. Они находят широкое использование в дорожном строительстве, общестроительных работах при подготовке территорий. Однако объемы шлаков, которые скапливаются у ведущих производителей металла в Украине, значительно превышают потребности традиционных потребителей, и металлургические предприятия вынуждены искать новые направления использования шлаков.