

# Энергосберегающие технологии

УДК 620.9

**Маляренко Е.Е.**, канд. техн. наук, **Майстренко Н.Ю.**  
**Институт общей энергетики НАН Украины, Киев**  
ул. Антоновича (Горького), 172, 03680 Киев, Украина, e-mail: dep2@ienenergy.kiev.ua

## Показатели энергетической эффективности и определение потенциала энергосбережения в промышленных технологиях

Рассмотрены существующие показатели энергетической эффективности, включенные в Государственные стандарты Украины, и их применение для расчета потенциалов энергосбережения в промышленных технологиях. Предложены методические подходы к определению теоретического и технически возможного потенциалов энергосбережения для паротурбинной и парогазовой технологий генерации электрической энергии, производства тепловой энергии в котельных, производства стального проката по всей технологической цепочке и нескольких пищевых технологий с использованием коэффициентов полезного действия технологического процесса, удельных расходов топлива, тепловой и электрической энергии на осуществление технологии, энергоемкости продукции и ее видов (топливоемкости, теплоемкости, электроемкости), полной энергоемкости продукции, сквозной энергоемкости продукции для разных уровней агрегации показателей (страна, регион, группа предприятий, предприятие). Выполнены расчеты теоретического и технически возможного потенциалов энергосбережения для технологий генерирования электрической и тепловой энергии, которые позволили сравнить и определить реально достижимую экономию энергоресурсов, а также технически возможного потенциала энергосбережения для промышленных технологий черной металлургии и пищевой промышленности с использованием различных показателей энергоэффективности. Рассчитан суммарный технически возможный потенциал энергосбережения для рассмотренных технологий и оценен экономический эффект при возможном достижении более высоких показателей энергоэффективности относительно достигнутого в 2013 г. уровня энергоэффективности. *Библ. 23, табл. 3.*

**Ключевые слова:** потенциал энергосбережения, энергоемкость, удельные расходы энергоресурсов, коэффициенты полезного действия, полезного использования энергии, полезного использования теплоты топлива.

Интеграция Украины в ЕС и рост цен на энергоресурсы являются факторами, способствующими снижению энергопотребления, повышению энергетической эффективности произ-

водства и обеспечивающими выход продукции на европейский рынок. Проблема определения потенциала энергосбережения продолжает оставаться важной частью экономических и техни-

ческих мероприятий на разных уровнях экономики при решении задач модернизации, реконструкции, технического перевооружения, совершенствования технологий выпуска продукции. Для оценки возможной экономии энергоресурсов при внедрении энергосберегающих мероприятий на конкретном производстве необходимы правильный выбор показателей энергетической эффективности и проведение оценки, позволяющей определить энергетический и экономический эффекты, приоритетность выбора тех или иных мероприятий.

Для анализа энергетической эффективности промышленных технологий и определения потенциала энергосбережения обычно составляют энергетический баланс технологического процесса, который формируется согласно [1] и дает возможность выявить и проанализировать потери энергии в технологии или процессе, разработать мероприятия по устранению этих потерь и повышению эффективности энергопотребления исследуемым объектом. Учет и устранение потерь энергии в технологическом процессе, включение в энергетический баланс всех вторичных энергоресурсов (ВЭР): горючих, тепловых, избыточного давления — позволяют повысить энергетическую эффективность действующей технологии. Важным направлением повышения энергетической эффективности является модернизация производства и замена оборудования на более прогрессивное, которые в нынешних экономических условиях будут осуществляться частично или поэтапно, что требует обоснования приоритетности выбора мероприятий по энергосбережению.

Цель статьи — анализ существующих показателей энергетической эффективности, их отбор на разных уровнях сравнения при сопоставлении стран, регионов, предприятий, а также выбор показателей для расчета потенциала энергосбережения в зависимости от его вида, разработка алгоритма оценки разных потенциалов энергосбережения.

Оценка эффективности любой технологии обычно проводится по уровню использования всей затраченной энергии на единицу продукции, сырья и материалов, а также, при необходимости, по расходам потребляемой энергии, если в технологическом процессе происходит превращение одних видов энергии в другие [2].

При оценке эффективности энергопотребления в технологиях применяют ряд показателей, включенных в Государственные стандарты и методики расчета, большинство которых определяют экономичность энергопотребления [3]: коэффициенты полезного действия (КПД), по-

лезного использования энергии и топлива (КПИЭ, КПИТ), использования установленной мощности, энергоемкость продукции, ее виды и др. В Украине в качестве основных показателей эффективности энергопотребления используют коэффициенты полезного действия и удельные расходы энергоресурсов.

Основными потребителями топлива на промышленных предприятиях являются технологические печи, котельные, промышленные ТЭЦ, заводской транспорт. Производственный процесс может характеризоваться энергетическим КПД ( $\eta_{ЭН}$ ), отношением суммарной полезной энергии всех видов ( $\Sigma E_{пол}$ ), в том числе и химической энергии конечного продукта, ко всей затраченной энергии ( $\Sigma E_{затр}$ ) [4]:

$$\eta_{ЭН} = \Sigma E_{пол} / \Sigma E_{затр}. \quad (1)$$

Для систем, получающих энергию от внешних источников в различных формах (электрической  $W$ , тепловой  $Q$ , механической  $L$ ) и отдающих ее в потребительскую сеть, общеэнергетический КПД составит [5]:

$$\eta_c = (W_{отв} + Q_{отв} + L_{отв}) / (W_{под} + Q_{под} + L_{под})$$

или

$$\eta_c = 1 - (\Sigma Q_{пот} / (W_{под} + Q_{под} + L_{под})), \quad (2)$$

где  $W_{отв}$ ,  $Q_{отв}$ ,  $L_{отв}$  — отведенные электрическая, тепловая, механическая энергия соответственно;  $W_{под}$ ,  $Q_{под}$ ,  $L_{под}$  — подведенные электрическая, тепловая и механическая энергия соответственно;  $\Sigma Q_{пот}$  — суммарные тепловые потери в окружающую среду.

Для систем или энергокомплексов, в которых первичным источником энергии является топливо, этот показатель называют коэффициентом использования теплоты топлива [5]:

$$K_{ит} = (W_{отв} + Q_{отв} + L_{отв}) / B Q_{н^P}, \quad (3)$$

где  $B$  — расход топлива;  $Q_{н^P}$  — низшая теплота сгорания топлива.

Для установок, производящих только электрическую энергию,  $K_{ит}$  будет равен электрическому КПД установок, а для котельной установки, вырабатывающей только тепловую энергию,  $K_{ит}$  будет равен КПД котельной. Для конденсационной тепловой электростанции (КЭС) этот коэффициент не превышает 40 %, для теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) может превышать 85 % [6].

Если промышленная технология включает несколько технологических процессов, то КПД

такой технологии, называемый коэффициентом использования энергии, определяется по выражению [4]:

$$\eta_{из} = \eta_{д.тр.п} \eta_{пр.эн} \eta_{пр.м} \eta_{тех.аг} \eta_{тр.эн} \quad (4)$$

где  $\eta_{д.тр.п}$  — КПД добычи, транспорта и переработки топлива;  $\eta_{пр.эн}$  — КПД производства электрической и тепловой энергии;  $\eta_{пр.м}$  — КПД приводов механизмов;  $\eta_{тех.аг}$  — КПД технологического агрегата, установки;  $\eta_{тр.эн}$  — КПД транспорта энергии.

При использовании в технологическом процессе нескольких видов энергоносителей суммарный энергетический КПД составляет:

$$\eta_{тех.проц} = \sum_i (k_i \eta_{тех.проц.i}), \quad (5)$$

где  $k_i$  — доля отдельного энергоносителя в общем энергобалансе технологического процесса;  $\eta_{тех.проц.i}$  — энергетический КПД  $i$ -го вида энергоносителя.

Изменение суммарного КПД технологического процесса обуславливается влиянием двух групп противоположных факторов: энергосбережением во всех элементах технологической цепочки (повышает КПД) или введением новых технологических усовершенствований с увеличением удельной доли электроэнергии (снижает КПД).

Энергетический КПД технологического агрегата, использующего теплоту топлива и энергию вторичных энергоресурсов, составляет [4]:

$$\eta_{тех.проц.i} = (Q_{пол} + Q_{вэр}) / (Q_{т} + Q_{экз} + Q_{др}), \quad (6)$$

где  $Q_{пол}$  — полезная энергия, использованная в технологии;  $Q_{вэр}$  — энергия вторичных энергетических ресурсов;  $Q_{т}$  — энергия, вносимая с топливом;  $Q_{экз}$  — энергия, выделяющаяся при экзотермических реакциях;  $Q_{др}$  — энергия, подводимая с другими видами энергоресурсов.

Полезно использованная энергия в формулах (1) и (6) определяется из энергетического баланса технологических процессов:

— для нагревательных пламенных металлургических печей (прокатное и кузнечное производство)

$$Q_{пол} = Q_{прод} - Q_{с}, \quad (7)$$

где  $Q_{прод}$  — тепло, затраченное на производство технологической продукции;  $Q_{с}$  — тепло материалов садки (массы чугуна и скрапа, загружаемых в печь);

— для плавильных печей

$$Q_{пол} = Q_{прод} - Q_{с} + Q_{энд},$$

где  $Q_{энд}$  — тепло эндотермических реакций;  
— для силовых процессов

$$Q_{пол} = L_{отв},$$

где  $L_{отв}$  — отведенная механическая энергия, получаемая на валу электродвигателя;

— для процессов отопления, вентиляции и горячего водоснабжения

$$Q_{пол} = Q_{под},$$

где  $Q_{под}$  — теплота, отведенная к потребителю на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение.

КПД котлоагрегата или печи определяется методом обратного баланса через потери теплоты:

$$\eta_{к}^{обр} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6),$$

где  $q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$  — соответственно потери теплоты с уходящими газами, от химической неполноты сгорания топлива, от механического недожога топлива, в окружающую среду, с теплом шлака.

Абсолютное значение КПД характеризует достигнутый уровень энергопотребления. Сопоставление его фактического значения с величиной КПД, которую максимально можно достичь в этом процессе, например, при замещении установки более эффективной, при частичной модернизации оборудования, реконструкции, использовании ВЭР, позволяет оценить совершенство исследованного процесса. Разница между показателями энергоэффективности для существующей и более совершенной установки определяет потенциал энергосбережения на единицу затраченной энергии.

Украинские стандарты к показателям энергоэффективности относят удельные расходы энергоресурсов [3], нормы расхода топлива и энергии [7], энергоемкость продукции, работ и предоставленных услуг [3, 7], электроемкость и теплоемкость продукции [1], удельную производственную энергоемкость продукции [8], полную энергоемкость продукции, работ, услуг [9]. Последний показатель рассчитывается сквозным методом по технологической цепочке, включающей все стадии производства продукции. Если полная энергоемкость продукции, рассчитанная сквозным методом, не включает энергетические затраты на добычу и доставку сырья на завод, но включает все затраты по цехам предприятия на единицу готовой продукции, ее называют заводской энергоемкостью

**Таблица 1. Показатели энергетической эффективности для промышленной технологии**

Показатель	Обозначение	Область применения
Коэффициент полезного действия установки, комплекса установок, технологического процесса, предприятия, производящего один продукт	$\eta$	Формулы (1), (6); для оценки энергетической эффективности установки, комплекса установок, технологического процесса, предприятия, производящего один продукт (КПД <sub>ТЭС</sub> , КПД <sub>кот</sub> , КПД <sub>ГТУ</sub> и т.д.)
Коэффициент использования теплоты топлива	$K_{ит}$	Формула (3); для оценки энергетической эффективности много-продуктового производства без распределения энергетических затрат на ряд продуктов ( $K_{ит}$ ТЭЦ, $K_{ит}$ НПЗ и др.)
Удельный расход j-го энергоресурса на единицу произведенной продукции	$e_j$	По ДСТУ 2420–94; для мониторинга удельного энергопотребления технологического процесса, расчета энергоемкости продукции
Энергоемкость технологического процесса или продукции	$e$	По ДСТУ 2420–94; используется для мониторинга энергопотребления производства продукции, оценки ее энергоэффективности
Полная энергоемкость продукции	$e_{п}$	По ДСТУ 3682–98; для оценки энергетической эффективности технологической цепочки производства продукции в стране или вертикально-интегрированной компании от добычи сырья до конечного производства
Заводская энергоемкость производства продукции	$e_{зав}$	По ДСТУ 3740–98; для оценки энергетической эффективности технологической цепочки производства продукции на предприятии по стадиям производства

[10]. Рассмотренные показатели энергетической эффективности сведены в табл.1.

К показателям энергетической эффективности относится также потенциал энергосбережения, который, согласно [7], подразделяется на теоретический, технологически доступный и экономически целесообразный. Согласно формулировкам, приведенным в [7], теоретический потенциал энергосбережения на уровне производства продукции рассчитывается по формуле [2, 11]:

$$П_{\text{прод}}^{\text{теор}} = \sum_j (\eta_{\text{прод}}^{\text{ид}} - \eta_{\text{прод}}^{\text{ex}}) u_j E_{\text{под}j}^t, \quad (7)$$

где  $j$  – вид использованных энергоресурсов ( $j = 1$  – топливо,  $j = 2$  – электроэнергия,  $j = 3$  – тепловая энергия);  $\eta_{\text{прод}}^{\text{ид}}$  – КПД идеального процесса ( $\eta_{\text{прод}}^{\text{ид}} = 1$ );  $\eta_{\text{прод}}^{\text{ex}}$  – эксергетический КПД производства продукции реальной технологической установки или процесса;  $u_j$  – переводной коэффициент для j-го вида энергии в джоули или т у.т.;  $E_{\text{под}j}^t$  – затраты подведенного к установке или в технологическом процессе j-го вида энергоресурса в t-м году.

Этот показатель целесообразно использовать в качестве индикатора для усовершенствования существующей технологии или при оценке вариантов модернизации оборудования.

Следовательно, оценка теоретического потенциала энергосбережения по показателям КПД осуществляется для конкретного оборудования или его типа. Методы расчета эксергетического КПД для разных типов установок (холодильной, теплонасосной, с химическими превращениями, технологических печей НПЗ) приведен в [11, 12].

Теоретический потенциал энергосбережения также, по нашему мнению, может быть оценен через показатели энергоемкости продукции, если известны теоретические необходимые удельные расходы энергоресурсов в технологическом процессе:

$$П_{\text{прод}}^{\text{теор}} = \sum_j (e_{\text{прод}j}^t - e_{\text{прод}j}^{\text{теор}}) u_j V_{\text{прод}}^t, \quad (8)$$

где  $e_{\text{прод}j}^t$  – фактический удельный расход j-го энергоресурса на производство продукции в реальном технологическом процессе;  $e_{\text{прод}j}^{\text{теор}}$  – теоретический удельный расход j-го энергоресурса для осуществления технологического процесса без учета необратимых потерь и режимов работы оборудования;  $V_{\text{прод}}^t$  – объем производства продукции в технологическом процессе в рассматриваемом году t.

Термин «технологически доступный потенциал энергосбережения» [7], по нашему мнению, целесообразно заменить на термин «технически возможный потенциал энергосбережения», поскольку техническая возможность определяется наличием технической разработки, а технологическая доступность предполагает практическую возможность внедрения данной технологии, которая зависит от ряда факторов, в том числе экономических и политических.

Технически возможный потенциал энергосбережения определяется через энергетический (эксергетический) КПД технологического процесса при существующей технологии (оборудовании) и новой (технически возможной и существующей в развитых странах) [2]:

$$П_{\text{прод}}^{\text{тех}} = \sum_j (\eta_{\text{прод}}^{\text{н}} - \eta_{\text{прод}}^{\text{с}}) u_j E_{\text{под}j}^t, \quad (9)$$

Таблица 2. Потенциалы энергосбережения для энергетических технологий

Технология	Теоретический потенциал		Технически возможный потенциал	
	Показатели	Расчет	Показатели	Расчет
Производство электроэнергии на ТЭС в паротурбинных установках	$\eta_{эл.эн}^{ид} = 1$ $\eta_{эл.ПГУ}^{max} = 0,41$	$P_{ПГУ}^{теор} = 120$ млн Гкал = = 19,6 млн т у.т.	$\eta_{эл.ПГУ}^{max} = 0,4$ $\eta_{эл.ПГУ}^{2013} = 0,312$	$P_{ПГУ}^{тех} = 18$ млн Гкал = = 2,9 млн т у.т.
Производство электроэнергии на ТЭС в парогазовых установках	$\eta_{эл.эн}^{ид} = 1$ $\eta_{эл.ПГУ}^{max} = 0,63$	$P_{ПГУ}^{теор} = 80$ млн Гкал = = 13,1 млн т у.т.	$\eta_{эл.ПГУ}^{max} = 0,6$ $\eta_{эл.ПГУ}^{2013} = 0,4$	$P_{ПГУ-ПГУ}^{тех} = 40$ млн Гкал = = 6,5 млн т у.т.
Производство тепловой энергии в котельных	$e_{теп.эн1}^{теор} = 0,143$ $e_{теп.эн1}^{2013} = 0,164$ $t_{у.т.}/Гкал^4$	$P_{кот}^{теор} = 1,9$ млн т у.т.	$e_{теп.эн1}^{тех} = 0,155$ $e_{теп.эн1}^{2013} = 0,164$ $t_{у.т.}/Гкал^5$	$P_{кот}^{тех} = 0,8$ млн т у.т.

<sup>1)</sup> электрический КПД паротурбинной установки брутто без учета затрат на собственные нужды станции, которые составляют 3–8 % от выработанной электроэнергии, и режимов работы ТЭС; эксергетический КПД конденсационной ТЭС, отпускающей только электроэнергию, практически равен электрическому КПД (разница состоит в расчете подведенной теплоты топлива, которая для эксергии топлива рассчитывается через высшую теплоту сгорания  $Q_{в.р}$ );

<sup>2)</sup> электрический КПД паротурбинных установок  $\eta_{эл.ПГУ}^{2013}$  рассчитан по формуле:  $\eta_c = 0,123/b_{у.т.}$ , где  $b_{у.т.} = 393,6$  кг у.т./тыс. кВт·ч – усредненный удельный расход топлива на выработку электроэнергии для ТЭС (кроме ТЭЦ), работающих на органическом топливе, по данным [14];

<sup>3)</sup> максимальное значение электрического КПД для парогазовой установки;

<sup>4)</sup> данные по  $e_{теп.эн1}^{2013}$  рассчитаны как усредненный удельный расход топлива на выработку тепловой энергии в котельных по суммарным затратам топлива и суммарному отпуску тепловой энергии котельными и отдельными котлами, не объединенными в котельные, из формы статистической отчетности [14, 15].

<sup>5)</sup> по данным [16].

где  $\eta_{прод}^H$  – КПД нового технически более совершенного процесса (в развитых странах или на передовых предприятиях);  $\eta_{прод}^c$  – реальный КПД технологического процесса на рассматриваемом предприятии.

При расчете этого вида потенциала энергосбережения может рассматриваться вариант полной замены технологии более совершенной или усовершенствование существующей технологии посредством снижения потерь в технологическом процессе за счет, например, более полной утилизации теплоты уходящих газов в системах регенерации [13].

Другой подход к оценке технически возможного потенциала энергосбережения базируется на показателях энергоёмкости производства продукции или удельных расходов энергоресурсов на производство продукции на передовых предприятиях и существующем [2]:

$$P_{прод}^{тех} = \sum_j (e_{продj}^t - e_{продj}^H) u_j V_{прод}^t, \quad (10)$$

где  $e_{продj}^H$  – удельный расход j-го энергоресурса для осуществления технологического процесса на передовом инновационном оборудовании.

При этом могут использоваться разные показатели энергоёмкости (см. табл.1).

Примеры расчета потенциала теоретического и технически возможного потенциалов энергосбережения для технологий генерирования электрической и тепловой энергии через показатели КПД установок и удельных расходов топлива на отпуск тепловой энергии представлены в табл.2.

В расчете потенциалов энергосбережения для производства электрической энергии на конденсационных ТЭС подведенная энергия рассчитывалась по формуле:

$$E_{подl}^t = Q_y V_{ТЭС}^t,$$

где  $t = 2013$  год,  $Q_y = 7$  Гкал/т у.т.,  $V_{ТЭС}^{2013} = 28,5$  млн т у.т. [14].

Затраты потребленного топлива на производство электрической энергии в 2013 г. взяты суммарными для ТЭС общего пользования (28,4 млн т у.т.), другими ТЭС, работающими на органическом топливе, не подсоединенными к энергосистеме (0,02 млн т у.т.), блок-станциями (кроме ТЭЦ), работающими на органическом топливе (0,05 млн т у.т.).

Как видно из табл.2, теоретический потенциал энергосбережения для паротурбинной технологии по сравнению с идеальным циклом при выработке 72,3 млрд кВт·ч электроэнергии (2013 г.) составляет 19,6 млн т у.т., или 25 % от теплоты подведенного топлива, и может быть снижен в результате усовершенствования этой технологии или ее замены на более эффективную. Технически возможный потенциал энергосбережения для паротурбинной технологии оценивается разностью показателей максимального и реального КПД ТЭС. Эффективность этой технологии может быть повышена на 9 % от теплоты подведенного топлива.

Парогазовая технология производства электроэнергии на ТЭС имеет более высокий КПД,



ванном товаром). Технически возможный потенциал энергосбережения в производстве проката относительно уровня энергоэффективности США и ЕС при выпуске продукции в 2013 г. ( $V_{\text{прокат}}^{2013} = 26,1$  млн т) составляет 4,9 млн т у.т., что может быть сэкономлено при модернизации производства проката по технологиям США и ЕС. Более подробное рассмотрение направлений и мероприятий по снижению энергопотребления в производстве проката возможно при анализе энергетической эффективности технологической цепочки производства проката от агломерационного производства до производства готового проката. Наиболее энергоемким переделом в данной технологической цепочке является производство чугуна, энергоемкость которого составляет 56,9 % от энергоемкости готового проката.

Примеры расчета технически возможного потенциала энергосбережения для производств пищевой промышленности по показателям энергоемкости продукта, или тепло- и электроемкости продукта, приведены в табл.3. Исходные данные для расчета, в частности, для производства хлеба и хлебобулочных изделий недлительного хранения — электроемкость производства в зарубежных странах взята из источников [19, 20] и отличается от отечественного показателя в среднем в 3–5 раз [14]. Для оценки технически возможного потенциала энергосбережения в производстве солодового пива приняты исходные данные по источникам [19, 20] и данным статистичности по Украине за 2013 г. [14]. Аналогично для производства молочных продуктов приняты исходные данные из источников [21, 14].

Экономически целесообразный потенциал энергосбережения, согласно [3], должен представлять собой «максимальную экономию топливно-энергетических ресурсов, целесообразность получения которой на всех участках национального хозяйства подтверждается экономическими расчетами». Теоретический и технически возможный потенциал энергосбережения — это тоже максимальная экономия, но, в первом случае, существующие показатели сравниваются с теоретически необходимыми для данной технологии, во втором — с наилучшей существующей технической разработкой, которая была апробирована или запатентована. Экономически целесообразный потенциал должен рассчитываться относительно усредненных показателей по ряду передовых предприятий или стран с более эффективными энергетическими показателями.

Следовательно, для оценки экономической целесообразности необходимо проводить оценку

не только энергетических, но и экономических показателей. Для этого была разработана комплексная методика [22], позволяющая оценить экономический эффект от внедрения мероприятия на предприятии в зависимости от возможной экономии топливно-энергетических ресурсов и объемов утилизации ВЭР для выработки тепловой и электрической энергии, а также экологического эффекта от внедрения мероприятия. Оценка экономически целесообразного потенциала по комплексной методике возможна для любых технологий и на уровне предприятия по фактическим данным, а также региона или страны по усредненным данным. Например, внедрение установок сухого тушения кокса (УСТК) для замещения установок мокрого тушения позволяет за счет утилизации теплоты коксового газа при его охлаждении в УСТК выработать в котлах-утилизаторах технологический пар (до 70–100 % потребности завода), а при использовании ВЭР избыточного давления (в паровых турбинах с противодавлением) выработать до 60 % электроэнергии, потребляемой на предприятии [23].

### Выводы

Рассмотрены существующие показатели энергетической эффективности, принятые в Государственных стандартах Украины, и показаны методические подходы к их применению для оценки теоретического и технически возможного потенциалов энергосбережения на примере нескольких промышленных технологий. Приведены алгоритмы и примеры расчета теоретического и технически возможного потенциалов энергосбережения с использованием разных показателей энергоэффективности: коэффициента полезного действия технологического агрегата (паротурбинных и парогазовых установок для генерации электрической энергии); удельных расходов топлива на генерацию тепловой энергии; сквозной заводской энергоемкости проката черных металлов; электроемкости производства хлеба и пива; электро- и теплоемкости производства сливочного масла, молока пастеризованного и сухого. Данные примеры показывают возможность экономии энергоресурсов при усовершенствовании технологий в результате их замены или повышения КПД топливоиспользующих установок (табл.2) или модернизации оборудования в соответствии с европейскими нормами энергоэффективности (табл.3). По приведенным отдельным примерам можно сделать заключение, что технически возможно сэкономить 8,7–12,3 млн т у.т./год при технической модернизации указанных производств, что составляет 22,2–31,4 млрд грн/год в текущих

ценах (цена умовного палива в 2013 г., розрахована як середньважесна, становить 2551,9 грн/т). Нижня межа оцінки економії відповідає удосконаленню існуючих паротурбінних технологій та економії від модернізації котельних, виробництва прокату та харчових технологій. Верхня межа — повне заміщення паротурбінних технологій парогазовими та сумарна економія по розрахованим прикладам. Тільки розглянуті технології показують, що реально можливо на 5–7 % менше споживати паливно-енергетичних ресурсів по країні.

### Список літератури

1. ДСТУ 2804–94. Енергобаланс промислового підприємства. Загальні положення. Терміни та визначення. — Київ : Держстандарт України, 1994. — 37 с.
2. Малярєнко О.Є. Методи оцінювання енергетичної ефективності для визначення потенціалу енергозбереження та прогнозування енергоспоживання в процесах нафтопереробки : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Київ, 2005. — 20 с.
3. ДСТУ 3755–98. Номенклатура показателів енергоефективності та порядок їх внесення в нормативну документацію. — Київ : Держстандарт України, 1998. — 13 с.
4. Вагін Г.Я., Дуднікова Л.В., Зенютич Е.А. та др. Економія енергоресурсів в промислових технологіях : Справ.-метод. посібник / Под ред. С.К.Сергєєва. — Нижній Новгород : НГТУ, НИЦЭ, 2001. — 296 с.
5. Андрущенко А.І. Показатели эффективности сложных систем энергоснабжения и взаимосвязь между ними // Материалы IV Рос. науч.-техн. конф. «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности», Ульяновск, 24–25 апр. 2003 г. — Режим доступа: <http://www.energosovet.ru/stat225.html>
6. Жарков С.В. О приоритетах развития энергетической газотурбинной техники // Газотурбинные технологии. — 2007. — Дек. — С. 34–40. — Режим доступа: <http://www.gtt.ru>
7. ДСТУ 2420–94. Енергоощадність. Терміни та визначення. — Київ : Держстандарт України, 1994. — 15 с.
8. ДСТУ 3052–95. Порядок встановлення показників ресурсозбереження у документації на продукцію. — Київ : Держстандарт України, 1994. — 37 с.
9. ДСТУ 3682–98. Методика визначення повної енергоемності продукції, робіт та послуг. — Київ : Держстандарт України, 1998. — 11 с.
10. ДСТУ 3740–98. Методы анализа и расчета снижения расхода топлива и энергии на металлургических предприятиях. — Київ : Держстандарт України, 1999. — 31 с.
11. Гнідий М.В., Малярєнко О.Є. Методологія визначення теоретичного потенціалу енергозбереження на різних рівнях управління економікою // Проблеми загальної енергетики. — 2007. — № 15. — С. 17–21.
12. Данилов Л.Л., Малярєнко Е.Е. Определение потенциала энергосбережения в нефтепереработке с использованием эксергетического метода анализа (на примере процесса первичной переработки нефти) // Энергетика и электрификация. — 2004. — № 5. — С. 35–40.
13. Майстрєнко Н.Ю. Резерви використання вторинних теплових енергетичних ресурсів у харчовій промисловості України // Проблеми загальної енергетики. — 2013. — № 2. — С. 43–48.
14. Звіт про результати використання палива, теплоенергії та електроенергії за 2013 рік. Форма стат. звітності 11-МТП. — Київ : Держстат України, 2013.
15. Про основні показники роботи опалювальних котелень і теплових мереж в Україні : Стат. бюлетень за 2013 р. — Київ : Держстат України, 2014. — 22 с.
16. Дубовик В. Производство тепла : Сегодня и завтра // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». — 2005. — № 12. — Режим доступа: <http://epu.kiev.ua>
17. Звіт про залишки і використання енергетичних матеріалів та продуктів перероблення нафти за 2013 рік. Форма стат. звітності 4-МТП. — Київ : Держстат України, 2013.
18. Сталинский Д.В. Энергоемкость производства продукции на металлургических предприятиях Украины // Металлург. и горноруд. пром-сть. — 2010. — № 4. — С. 126–130.
19. Молодежникова Л.И. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : Учеб. пособие. — Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. — 138 с.
20. Справочник по электричеству. Потребление энергии. 2.3. Электрические нагрузки и потребление электроэнергии в промышленности, на транспорте и в сельскохозяйственном производстве. — Режим доступа: <http://elenerg.ru/papka2/9.php>.
21. Чулков А.В., Стоумова Н.В. Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на предприятиях молочной промышленности. — Режим доступа: <http://elenerg.ru/papka2/9.php>.
22. Білодід В.Д., Малярєнко О.Є., Станиціна В.В. Показники енергетичної ефективності для оцінки інновацій у промислових технологіях // Проблеми загальної енергетики. — 2009. — № 20. — С. 45–50.
23. Малярєнко Е.Е., Тєслєнко А.І. Применение метода полной энергоемкости продукции для анализа энергетической эффективности производства // Проблеми загальної енергетики. — 2010. — № 3. — С. 19–24.

Поступила в редакцію 08.07.15



**Маляренко О.Є., канд. техн. наук, Майстренко Н.Ю.**  
**Інститут загальної енергетики НАН України, Київ**  
вул. Антоновича, 172, 03680 Київ, Україна, e-mail: dep2@ienergy.kiev.ua

## **Показники енергетичної ефективності та визначення потенціалу енергозбереження у промислових технологіях**

Розглянуто існуючі показники енергетичної ефективності, включені до Державних стандартів України, та їх застосування для розрахунку потенціалів енергозбереження у промислових технологіях. Запропоновано методичні підходи до визначення теоретичного та технічно можливого потенціалів енергозбереження для паротурбінної та парогазової технологій генерації електричної енергії, виробництва теплової енергії у котельних, виробництва сталевих прокатів по всьому технологічному ланцюжку та декількох харчових технологій з використанням коефіцієнтів корисної дії технологічного процесу, питомих витрат палива, теплової та електричної енергії на здійснення технології, енергоемності продукції та її видів (паливоємності, теплоємності, електроємності), повної енергоемності продукції, наскрізної енергоемності продукції для різних рівнів агрегації показників (країна, регіон, група підприємств, підприємство). Виконано розрахунки теоретичного та технічно можливого потенціалів енергозбереження для технологій генерування електричної та теплової енергії, які дали змогу порівняти та визначити реально досяжну економію енергоресурсів, а також технічно можливого потенціалу енергозбереження для промислових технологій чорної металургії та харчової промисловості з використанням різних показників енергоефективності. Розраховано сумарний технічно можливий потенціал енергозбереження для розглянутих технологій та оцінено економічний ефект при можливому досягненні більш високих показників енергоефективності щодо рівня енергоефективності 2013 р. *Бібл. 23, табл. 3.*

**Ключові слова:** потенціал енергозбереження, енергоемність, питомі витрати енергоресурсів, коефіцієнти корисної дії, корисного використання енергії, корисного використання теплоти палива.

**Malyarenko E.E., Candidate of Technical Sciences, Maistrenko N.Yu.**  
**Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev**  
172, Antonovycha Str., 03680 Kiev, Ukraine, e-mail: info@ienergy.kiev.ua

## **Energy Performance Indicators and Determining Energy Saving Potential in Manufacturing Processes**

The article discusses the existing energy performance indicators included in the State Standards of Ukraine and their application for calculating energy saving potentials in manufacturing processes. Methodological approaches are suggested to determine the theoretical and technically feasible energy saving potentials for steam turbine and combined cycle power generation technologies; heat production by boiler houses; for the whole process flow of rolled steel production; and for some food-processing technologies based on the process efficiency, specific fuel consumption, thermal and electric power required for the process, energy intensity of products and types of energy intensity (fuel, heat and electric capacity), full energy output of the product, end-to-end energy intensity of products for different levels of aggregation of indicators (country, region, group of enter-

prises, enterprise). Theoretical and technically feasible energy saving potentials have been calculated for electric power and heat generation technologies, enabling comparison and determination of achievable energy conservation for manufacturing technologies in the iron-and-steel and food-processing industries based on different energy performance indicators. The total technically feasible energy saving potential for the discussed technologies has been calculated and economic benefits have been estimated taking into account the probable achievement of higher energy performance indicators in relation to those in 2013. *Bibl. 23, Table 3.*

**Key words:** energy saving potential, energy intensity, specific energy consumption, energy conversion efficiency, energy efficiency, fuel heat efficiency.

### References

1. DSTU 2804-94. Enerhobalans promyslovoho pidpriemstva. Zahal'ni polozhennia. Terminy ta vyznachennia [DSTU 2804-94. Energy mix of a manufacturing plant. General Provisions. Definitions], Kiev : Derzhstandart Ukrainy, 1994, 37 p. (Ukr.)
2. Malyarenko E.E. Metody otsinniuvannia enerhetychnoi efektyvnosti dlya vyznachennia potentsialu enerhozberezhennia ta prohnozuvannia enerhospozhyvannia v protsesakh naftopererobky [Methods for assessing energy efficiency to determine energy saving potential and forecast energy consumption in oil refining processes] : Avtoref. dys... kand. tekhn. nauk : In-t zahflnoj enerhetyky NAN Ukrainy, Kiev, 2005, 20 p. (Ukr.)
3. DSTU 3755-98. Nomenklatura pokazatelei enerhoeffektivnosti i poriadok ikh vneseniia v normativnuu dokumentatsiiu, [DSTU 3755-98 Set of energy performance parameters and the procedure for their adding to regulatory documents], Kiev : Derzhstandart Ukrainy, 1998, 13 p. (Ukr.)
4. Vahin H.Ya., Dudnikova L.V., Zen'iutich Ye.A., Loskutov A.B., Solntsev Ye.B. Ekonomiiia enerhoresursov v promyshlennykh tekhnolohiiakh [Energy saving in manufacturing processes] / Ed. S.K. Serheieva. — Nizhnij Novhorod : NHTU, NITsE, 2001, 296 p. (Rus.)
5. Andriushchenko A.I. Pokazateli effektivnosti slozhnykh sistem enerhosnabzheniia i vsaimozviaz' mezhdu nimi, *Materialy 4 Rossiiskoi nauch.-tekhn. konf. «Enerhosnabzhenie v horodskom hoziaistve, enerhetike, promyshlennosti»* [Performance indicators of complex energy supply systems and correlation between them, Ulianovsk, 24–25 apr. 2003 h. [Online Resource]. — Acces mode: <http://www.energsovet.ru/stat225.html> (Rus.)
6. Zharkov S.V. O prioritetakh razvitiia enerheticheskoi hazoturbinoi tekhniki [On priorities in the development of power-engineering gas-turbine equipment], *Hazoturbinyie tekhnolohii [Gas Turbine Technologies]*, December 2007, pp. 30–40. — Acces mode: <http://www.gtt.ru> (Rus.)
7. DSTU 2420-94. Enerhooshchadnist'. Terminy ta vyznachennia [DSTU 2420-94. Energy saving. Definitions], Kiev : Derzhstandart Ukrainy, 1994, 15 p. (Ukr.)
8. DSTU 3052-95. Poriadok vstanovlennia pokaznykiv resursozberezhennia u dokumentatsii na produktsiiu [DSTU 3052-95. Procedure for setting resource-saving parameters in product documents], Kiev : Derzhstandart Ukrainy, 1994, 37 p. (Ukr.)
9. DSTU 3682-98. Metodyka vyznachennia povnoi enerhoiemnosti produktsii, robit ta posluh [Methodology for determining full energy intensity of products, works and services], Kiev : Derzhstandart Ukrainy, 1998, 11 p. (Ukr.)
10. DSTU 3740-98. Metody analiza i rascheta snizheniia rashkoda topliva i enerhii na metalurhicheskikh predpriatiakh [DSTU 3740-98. Methods for analysis and calculation of fuel and energy consumption at iron and steel companies], Kiev : Derzhstandart Ukrainy, 1999, 31 p. (Ukr.)
11. Hnidyi M.V., Malyarenko E.E. Metodolohiia vyznachennia teoretychnoho potentsialu enerhozberezhennia na riznykh rivniakh upravlinnia ekonomikoiu [Methodology for determining theoretical energy saving potential at different levels of economic management], *Problemy zahalnoi enerhetyky [Problems of General Energy]*, 2007, (5), pp. 17–21. (Ukr.)
12. Danilov L.L., Malyarenko E.E. Opredelenie potentsiala enerhosberezhennia v neftepererabotke s ispol'zovaniem ekserheticheskoho metoda (na primere protsessa pererabotki nefti) [Determining energy saving potential in oil processing based on the exergy method of analysis (as exemplified by the process of primary crude oil processing)], *Enerhetika i elektrifikatsiia [Power Engineering and Electrification]*, 2004, (5), pp. 35–40. (Rus.)
13. Maistrenko N. Yu. Rezervy vykorystannia vtorynnykh teplovykh enerhetychnykh resursiv u kharchovii promyslovosti Ukrainy [Recoverable heat power resources utilization reserves in Ukraine's food processing industry], *Problemy zahalnoi enerhetyky [Problems of General Energy]*, 2013, (2), pp. 43–48. (Ukr.)
14. Zvit pro rezul'taty vykorystannia palyva, teploenerhii ta elektroenerhii za 2013 rik [Report on the use of fuel, heat and electric power in 2013] Forma stat. zvitnosti 11-MTP, Kiev : Derzhstat Ukrainy, 2013. (Ukr.)
15. Pro osnovni pokaznyky roboty opaliuval'nykh kotelen' i teplovykh merezh v Ukraini. Stat. biuletyn' za 2013 rik. [On key performance indicators of heating plants and heat supply networks in Ukraine. Statistical bulletin for 2013], Kiev : Derzhstat Ukrainy, 2014, 22 p. (Ukr.)

16. Dubovik V. Proizvodstvo tepla: sehodnia i zavtra [Heat generation: today and tomorrow], *Ekologicheskiiye sistemy [Electricity Journal of the energy service company of «Ekologicheskiiye sistemy»]*, 2005, (12). — Acces mode: <http://epu.kiev.ua> (Rus.)
17. Zvit pro zalyshky i vykorystannia enerhetychnykh materialiv ta produktiv pereroblennia nafty za 2013 rik. Forma stat. zvitnosti 4-MTP [Report on stock and use of energy materials and oil derivatives in 2013. Statistical reporting form 11-MTP], Kiev : Derzhstat Ukrainy, 2013. (Ukr.)
18. Stalinskii D.V. Enerhoiemkost' proizvodstva produktsii na metallurhicheskikh predpriatiiakh Ukrainy [Energy intensity of production at iron and steel companies in Ukraine], *Metallurhicheskaia i hornorudnaia promyshlennost' [Iron and steel and metal mining industry]*, 2010, (4), pp. 126–130. (Rus.)
19. Molodezhnikova L.I. Enerhosberezhenie v teploenerhetike i teplotekhnolohiiakh: uchebnoie posobie [Energy saving in heating energy sector and heat technologies: a study guied], Tomsk : Izd-vo Tomskoho politekhnicheskoho universiteta, 2011, 138 p. (Rus.)
20. Spravochnik po elektrichestvu. Potreblenie enerhii. 2.3. Elektricheskiiye nahruzki i potreblenie elektroenerhii v promyshlennosti, na transporte i v sel'skokhoziastvennom proizvodstve [Electricity manual. Energy consumption. 2.3. Electrical load and electric power consumption in the industrial, transport sector and agricultural production]. — Acces mode: <http://elenerg.ru/papka2/9.php>.
21. Chulkov A.V., Stoumova N.V. Povysheniie effektivnosti ispol'zovaniia toplivno-enerheticheskikh resursov na predpriatiiakh molochnoi promyshlennosti [Improving the efficiency of fuel and energy resources at dairy products companies — Acces mode: [http://esco-ecosys.narod.ru/2005\\_5/art41.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2005_5/art41.htm) (Rus.)
22. Bilodid V.D. Malyarenko E.E., Stanytsina V.V. Pokaznyky enerhetychnoi efektyvnosti dlya otsinky innovatsii u promyslovykh tekhnolohiiakh [Energy performance indicators for evaluating innovations in manufacturing processes], *Problemy zahalnoi enerhetyky [Problems of General Energy]*, 2009, pp. 45–50 (Ukr.)
23. Malyarenko E.E., Teslenko A.I. Primeneniie metoda polnoi enerhoiomkosti produktsii dlya analiza enerheticheskoi effektivnosti proizvodstva [Employing the method of total energy intensity of products to analyse energy efficiency of production], *Problemy zahalnoi enerhetyky [Problems of General Energy]*, 2010, (3), pp. 19–24. (Rus.)

Received July 8, 2015