

УДК 621.01

И.А.ДМИТРУК, канд. техн. наук, Р.Й.КОГУТ

ГП Институт машин и систем, г. Харьков

Н.Э.ТЕРНЮК, д-р техн. наук, А.Н.ПЕЧЕНИК

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

СИНТЕЗ ПОЛНОГО МНОЖЕСТВА ОБЩИХ СТРУКТУР СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Рассматриваются вопросы синтеза полного множества общих структур способов повышения энергоэффективности производства. Показано, что полное множество включает простые, не выводимые друг из друга, общие структуры, а также кластеры объединенных и комбинированных структур, предусматривающих применение однотипных приемов к разным объектам и разных приемов к одним и тем же объектам соответственно.

Розглядаються питання синтезу повної множини загальних структур способів підвищення енергоефективності виробництва. Показано, що повна множина включає прості, що не виводяться одна з одної, загальні структури, а також кластери об'єднаних та комбінованих структур, які передбачають застосування однотипних прийомів до різних об'єктів та різних прийомів до одних і тих же об'єктів відповідно.

The article deals with the question of synthesis of complete sets of common structures ways to improve energy efficiency. It is shown that the complete set includes simple suppression that not derived with each other, common structures and clusters merged and combined structures, providing for the application of similar techniques to different objects and different techniques to the same objects respectively.

Ключевые слова: синтез, структура, множество, способ, повышение, энергоэффективность, производство.

Энергоэффективность является одной из главных характеристик производства продукции и услуг, определяющей не только стоимостную оценку их конкурентоспособности, но и принципиальную осуществимость технологии. Поэтому вопросам энергоэффективности уделяется большое внимание на всех уровнях организации и управления, а также производятся всесторонние их научные исследования.

Государственная политика в области энергоэффективности отражена в ряде законодательных актов и постановлений Правительства [1-5]. Этим определены необходимые правовые и базовые нормативные условия осуществления деятельности по энергосбережению и энергоэффективности. Множество опубликованных работ посвящено экономическим [6,7], техническим и технологическим [8,9], а также управленческим [10,11] аспектам общей проблемы. Вместе с тем, до настоящего времени не рассмотрены вопросы синтеза полного множества структур способов повышения энергоэффективности. Это затрудняет формализацию процессов проектоуправления, создание возмож-

ных сценариев развития многих энергопотребляемых объектов [12], поскольку не позволяет определять степень полноты разрабатываемых мероприятий и делает невозможным выполнение комплексной оптимизации профильных целевых программ и проектов.

Цель статьи – изложение метода синтеза полного (в пределах принятой классификации и уровней рассматриваемых систем) множества структур и способов повышения энергоэффективности.

Для решения задач, связанных с разработкой метода синтеза полного множества общих структур способов повышения энергоэффективности устанавливаются связи энергоэффективности с влияющими на нее факторами.

Энергоэффективность ($\mathcal{E}\phi$) производства оценивается количеством энергии, затрачиваемой на выполнение планового объема ($A\phi$) целевых преобразований.

Если обозначить затраченную на выполнение $A\phi$ энергию – $Q_{\mathcal{E}}$, то показатель энергоэффективности $\mathcal{E}\phi$ можно определить как

$$\mathcal{E}\phi = Q_{\mathcal{E}} / A\phi. \quad (1)$$

Конкретизированную зависимость для расчета удельных энергозатрат, характеризующих энергоэффективность системы, на основе (1) можно представить в виде:

$$\mathcal{E}\phi = \int_0^{T_{\phi}} N \cdot dt / A\phi = \sum_{i=1}^n (N_i \cdot T_i \cdot h_i) / \sum_{i=1}^m A_i, \quad (2)$$

где N , N_i , T_i , h_i , A_i – подаваемая и затрачиваемая усредненная в пределах фазового цикла мощность, время использования мощности (длительность фазового цикла), суммарный коэффициент потерь энергии (величина, обратная коэффициенту h^* полезного действия энергопотребляющего элемента системы) на i -м преобразовании и объем выполненных i -х преобразований соответственно; n , m – количества элементов системы – потребителей (поставщиков) энергии и преобразований.

Зависимость для расчета прироста (увеличения) энергоэффективности можно найти путем вычисления дифференциала варьируемых составляющих из формулы (2):

$$d\mathcal{E}\phi = 2 \sum_{i=1}^n (N_i \cdot T_i \cdot h_j) dAA / [\sum_{i=1}^m (A_i)]^2 + \sum_{i=1}^n (dN_i \cdot T_i \cdot h_i + dT_i \cdot N_i \cdot h_i + dh_i \cdot N_i \cdot T_i) / \sum_{i=1}^m A_i. \quad (3)$$

Для получения структурных моделей, по аналогии с [13], необходимо выявить множества объектов и приемов, влияющих на показатель $dЭф$. Это можно выполнить на основе анализа зависимости (3) и циклограммы преобразования энергии в системе с учетом направленности влияния на нее элементов системы.

Исходя из зависимости (3) можно установить, что объектами, участвующими в формировании показателя $dЭф$, являются Ni, Ti, hi, Ai и их приращения.

Множество приемов устанавливается по циклограмме как графическом изображении периодов функционирования и простоев элементов системы с учетом того, что каждый элемент является потребителем или поставщиком энергии.

Пример циклограммы общего вида с тремя элементами системы показан на рис. 1. На циклограмме горизонтальными контурными линиями показаны промежутки времени функционирования элементов системы и места этих промежутков на временной оси. Тонкие линии означают простои элементов.

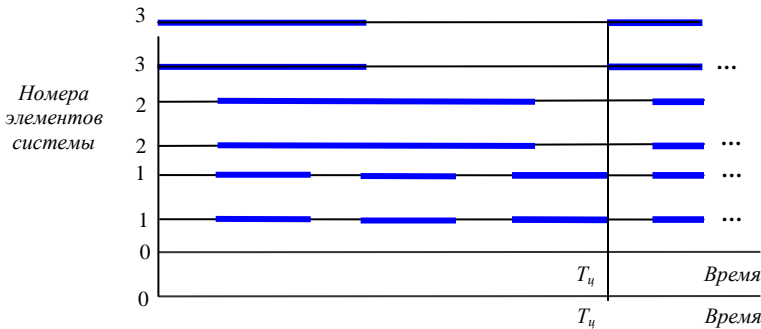


Рис. 1 – Пример циклограммы с тремя элементами системы

Согласно приведенной циклограмме уменьшение продолжительности функционирования первого, второго и третьего элементов системы и простоев первого элемента может привести к сокращению $T_{ц}$. Анализ этой циклограммы позволяет сделать вывод о нелинейности влияния элементов системы на величину $T_{ц}$, обуславливающей потребность выделения критического пути.

Показатели Ni, Ti, hi и Ai являются атрибутами определенных функций, по которым последние могут идентифицироваться. Для дальнейшего определения структур способов повышения энергоэффективности посредством функций их необходимо систематизировать.

Согласно [14] систематизацию можно выполнить, выделив триаду видов функций, содержащую функции:

- основные O_{oi} , $i \in \overline{1, k}$, которые могут быть различными по характеру и продолжительности t_{O_i} ; k – количество основных функций, реализующихся на протяжении цикла;
- вспомогательные (подготовительные и заключительные) функции B_{oi} , $i \in \overline{1, k}$; их продолжительность обозначается t_{B_i} .

Между отдельными функциями могут быть простые Π_{pj} , $j \in \overline{1, m}$. Их продолжительность обозначается t_{Π_j} , где m – количество простоев.

По направленности влияния на энергообеспечение системы можно выделить три класса функций: требующих энергии (эндопроцессы), отдающих энергию (экзопроцессы) и нейтральных (сбалансированных по энергии, как правило, самоорганизующихся) функций. Два из указанных классов и приведенные выше виды функций совместно с характеристиками мощности и простоями образуют общее множество M_{cob} , состоящее из множеств M_{ob} и M_{ob}^* объектов, которые определяют энергопотребляющие и энергоотдающие свойства системы в пределах цикла:

$$M_{cob} = M_{ob} + M_{ob}^* \tag{4}$$

где:

$$\begin{aligned} M_{ob} &= \{N_1, N_2, \dots, N_k, h_1, h_2, \dots, h_k, O_{o1}, O_{o2}, \dots, O_{ok}, B_{o1}, B_{o2}, \dots, \\ & B_{ok}, \Pi_{p1}, \Pi_{p2}, \dots, \Pi_{pm1}\}; \\ M_{ob}^* &= \{N_1^*, N_2^*, \dots, N_n^*, h_1^*, h_2^*, \dots, h_n^*, O_{o1}^*, O_{o2}^*, \dots, \\ & O_{on}^*, B_{o1}^*, B_{o2}^*, \dots, B_{on}^*, \Pi_{p1}^*, \Pi_{p2}^*, \dots, \Pi_{pm2}^*\}. \end{aligned} \tag{5}$$

Здесь, кроме ранее введенных обозначений, принято: параметры без верхнего индекса – относятся к энергопотребляющему классу функций, а с верхним индексом * – к энергоотдающему классу функций; n – количество основных и сопряженных с ними вспомогательных, относящихся к классу энергоотдающих, функций; m_1, m_2 – количество простоев между действиями основных, вспомогательных или основных и вспомогательных функций в классах энергопотребляющих и энергоотдающих функций соответственно.

В соответствии с циклограммой полным множеством приемов M_{np} , которые позволяют уменьшить энергопотребление, уменьшая длину замыкающего отрезка T_u и значения потребляемых на разных этапах цикла мощностей, является множество, содержащее приемы исключения I_c , уменьшения Y_m и совмещения C_m , то есть:

$$M_{np} = \{I_c, Y_m, C_m\}. \tag{6}$$

Симметричное множество M_{np}^* , приемов, направленных на самообеспечение энергией системы, можно сформировать для энергоприбавляющих функций

$$M_{np}^* = \{D_o, Y_e, P_d\}. \quad (7)$$

Элементами множества (7) являются приемы: D_o, Y_e, P_d – добавление, увеличение и разделение соответственно.

Применяя эти множества приемов к соответствующим элементам множеств объектов (5) с учетом направленности действия, для случая монофункциональных систем ($k = l = m = n = 1$), можно получить общее множество M_{cn} потенциальных структур способов повышения энергоэффективности таких систем как топологические произведения элементов этих множеств:

$$M_{cn} = M_{np} \times M_{ob} + M_{np}^* \times M_{ob}^* = \{I_c \times N, Y_m \times N, C_m \times N, I_c \times h, Y_m \times h, C_m \times h, I_c \times O_d, Y_m \times O_d, C_m \times O_d, I_c \times B_d, Y_m \times B_d, C_m \times B_d, I_c \times P_p, Y_m \times P_p, C_m \times P_p, D_o \times N^*, Y_e \times N^*, P_d \times N^*, D_o \times h^*, Y_e \times h^*, P_d \times h^*, D_c \times O_d^*, Y_e \times O_d^*, P_d \times O_d^*, D_c \times B_d^*, Y_e \times B_d^*, P_d \times B_d^*, D_c \times P_p^*, Y_e \times P_p^*, P_d \times P_p^*\}. \quad (8)$$

Элементы $I_c \times O_d$, а также $D_c \times P_p^*$ и $Y_e \times P_p^*$ противоречат цели создания системы, поскольку без выполнения основных (целевых) функций система не может иметь целевого использования, а с добавлением и увеличением простоев подающих энергию подсистем система уменьшает эффективность. Из-за этого, общее число K_{cn} способов повышения энергоэффективности монофункциональных систем определяется произведением мощностей $|M_{ob}|$ и $|M_{np}|$ указанных множеств за исключением трех элементов, то есть

$$K_{cn} = |M_{ob}| \times |M_{np}| + |M_{ob}^*| \times |M_{np}^*| - 3 = 5 \times 3 + 5 \times 3 - 3 = 27. \quad (9)$$

При разработке мероприятий учтем, что, согласно зависимости (3), энергоэффективность зависит от двух составляющих: общего потребления энергии, определяемого потребляемой мощностью и временем ее потребления, а также исходным объемом требуемых преобразований.

Наиболее часто применяемые для реализации каждой из структур приведенных в зависимости (8) типовых способов, отражены в табл. 1.

В табл. 2 приведены примеры мероприятий, применяемых для реализации способов повышения энергоэффективности производственных систем.

Приведенные в табл. 2 мероприятия разработаны на основе общих подходов теории машин и механизмов [15], а также опыта решения задач энергообеспечения и автоматизации [16].

Способы из табл. 1 относятся к виду, так называемых, простых, которые не выводятся один из другого.

Таблица 1 – Множество способов повышения энергоэффективности монофункциональных систем

Прием	Объект	Способ	Структурная формула	Класс способа
1	2	3	4	5
<i>Исключение</i>	Энергия для эндо-процессов	Переход на технологии, исключаяющие потребности в подаваемой энергии	$I_c \times N$	1
	Теряемая в преобразователях энергия, подаваемая для эндопроцессов	Исключение потерь при преобразовании энергии	$I_c \times \Delta t$	2
	Простои	Исключение простоев	$I_c \times P_p$	3
	Вспомогательные функции – эндопроцессы	Исключение вспомогательных функций	$I_c \times B_o$	4
<i>Уменьшение</i>	Подаваемая энергия	Уменьшение потребляемой энергии	$U_m \times N$	5
	Теряемая в преобразователях подаваемая энергия	Уменьшение потерь при преобразовании энергии	$U_m \times \Delta t$	6
	Простои	Сокращение простоев	$U_m \times P_p$	7
	Вспомогательные функции-эндопроцессы	Сокращение продолжительности вспомогательных функций (интенсификация вспомогательных функций и уменьшение объема преобразований)	$U_m \times B_o$	8 (8.1 + 8.2)
	Основные функции-эндопроцессы	Сокращение продолжительности основных функций (интенсификация основных функций и уменьшение объема преобразований)	$U_m \times O_o$	9 (9.1 + 9.2)
<i>Совмещение</i>	Подаваемая энергия в эндопроцессы	Совмещение потребляемой энергии	$C_m \times N$	10
	Теряемая в преобразователях подаваемая энергия для эндопроцессов	Совмещение потерь при преобразовании энергии	$C_m \times \Delta t$	11
	Простои	Совмещение простоев	$C_m \times P_p$	12
	Вспомогательные функции-эндопроцессы	Совмещение вспомогательных функций	$C_m \times B_o$	13
	Основные функции-эндопроцессы	Совмещение основных функций	$C_m \times O_o$	14

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
<i>Добавле- ние</i>	Энергия экзопро- цессов	Добавление источников энергии эндопроцессов	$D_o \times N^*$	15
	Коэффициент дей- ствия экзопроцессов	Добавление канала подачи энергии от источника экзо- процессов	$D_o \times \mathcal{H}^*$	16
	Основные функ- ции-экзопроцессы	Добавление основных функций –экзопроцессов	$D_c \times O_o^*$	17
	Вспомогательные функции- экзопро- цессы	Добавление вспомога- тельных функций – экзопроцессов	$D_c \times B_o^*$	18
<i>Увеличе- ние</i>	Подаваемая энер- гия из экзопроцес- сов	Увеличение подаваемой энергии из эндопроцессов	$V_o \times N^*$	19
	Коэффициент дей- ствия преобразова- телей энергии экзопроцессов	Увеличение коэффициента полезного действия преоб- разователя энергии из источника экзопроцессов	$V_o \times \mathcal{H}^*$	20
	Основные функ- ции-экзопроцессы	Увеличение продолжитель- ности основных функций- экзопроцессов (замедление основных функций и уве- личение их объема)	$V_o \times O_o^*$	21 (21.1 + 21.2)
	Вспомогательные функции- экзопро- цессы	Увеличение продолжитель- ности вспомогательных функций-эндопроцессов (замедление вспомога- тельных функций и увеличение их объема)	$V_o \times B_o^*$	22 (22.1 + 22.2)
<i>Разделе- ние</i>	Подаваемая энер- гия из экзопроцес- сов	Разделение подаваемой энергии из эндопроцессов	$P_o \times N^*$	23
	Коэффициент полезного дей- ствия экзопроцес- сов	Разделение коэффициента полезного действия источ- ника экзопроцессов	$P_o \times \mathcal{H}^*$	24
	Основные функ- ции-экзопроцессы	Разделение основных функций	$P_o \times O_o^*$	25
	Вспомогательные функции- экзопроцессы	Разделение вспомога- тельных функций	$P_o \times B_o^*$	26
	Простои	Разделение простоев	$P_o \times I_p^*$	27

Аналогично определению M_{cn} для монофункциональных систем находится множество способов повышения энергоэффективности мно-
гофункциональных (многономенклатурных) систем, при $k > 1, l > 1,$

$m > 1, n > 1$. Это достигается путем распространения действия приемов (6) и (7) на все объекты множества (5) и формирования возможных объединений с учетом выделения каждого из простых способов для всех $i \in \{ \overline{1, k} \}, j \in \{ \overline{1, m} \}, q \in \{ \overline{1, l} \}, p \in \{ \overline{1, n} \}$. При этом учитывается, что прием Ис при применении к одному и тому же объекту исключает применение к нему других приемов.

Таблица 2 – Примеры мероприятий, применяемые для реализации способов повышения энергоэффективности систем

Класс способа	Мероприятия
1	2
1.	Переход на процессы, не требующие потребления энергии
2.	Исключение потребности в преобразователях энергии
3.	Переход к непрерывным процессам
4.	Применение новых технологий, которые не требуют вспомогательных действий или самоорганизуют эти действия
5.	Переход на энергосберегающие технологии
6.	Применение преобразователей с высшим коэффициентом полезного действия
7.	Повышение надежности систем. Уменьшение простоев, связанных с организационно-техническими и прочими факторами
8.1.	Повышение быстродействия исполнительных механизмов, агрегатов и узлов, реализующих вспомогательные действия. Оптимизация геометрических, кинематических, динамических и прочностных свойств элементов систем. Адаптация режимов выполнения вспомогательных функций
8.2.	Минимизация исходных объемов вспомогательных действий, уменьшение продолжительности нерабочих ходов. Уменьшение кривизны траекторий исполнительных механизмов, агрегатов и узлов, реализующих вспомогательные действия
9.1.	Повышение быстродействия исполнительных механизмов, агрегатов и узлов, реализующих основные действия. Оптимизация геометрических, кинематических, динамических и прочностных свойств элементов систем. Адаптация режимов выполнения основных функций
9.2.	Выбор рабочих траекторий с минимальной кривизной для рабочих органов элементов систем. Применение рабочих траекторий минимальной длины для объектов, которые выполняют основные функции
10.	Совмещение источников энергии для каждого потребителя
11.	Применение интегральных преобразователей
12.	Оптимизация циклов работы машин
13.	Максимальная параллельная реализация вспомогательных функций
14.	Максимальная параллельная реализация основных функций. Концентрация рабочих мест, зон обработки, операций, позиций
15.	Расширение применения экзопроцессов в системе
16.	Добавление канала подачи энергии от источника экзопроцессов, использование концентраторов энергии и тепловых насосов

Продолжение табл. 2

1	2
17.	Добавление основных функций –экзопроцессов. Диверсификация технологий основного производства
18.	Добавление вспомогательных функций –экзопроцессов. Диверсификация технологий вспомогательного производства
19.	Увеличение степени использования вторичной энергии и подаваемой мощности из экзопроцессов
20.	Применение преобразователей энергии от источника экзопроцессов с повышенным коэффициентом полезного действия
21.1	Увеличение продолжительности основных функций-экзопроцессов (замедление основных функций-экзопроцессов)
21.2	Увеличение объема основных функций-экзопроцессов
22.1	Увеличение продолжительности вспомогательных функций-экзопроцессов (замедление вспомогательных функций)
22.2	Увеличение объема вспомогательных функций - экзопроцессов
23.	Диверсификация подаваемой энергии из экзопроцессов
24.	Оптимизация преобразователей источника энергии из экзопроцессов
25.	Оптимизация структуры основных функций-экзопроцессов
26.	Оптимизация структуры вспомогательных функций-экзопроцессов
27.	Оптимизация структуры простоев

Множество способов повышения энергоэффективности многофункциональных (полифункциональных) систем является структурно неоднородным. Имеются способы с простейшей структурой, характерные для монофункциональных систем, содержащих в своем составе один элемент. Есть способы, содержащие два и более элементов. Наиболее сложный способ, содержит все элементы.

В связи с тем, что элементы отличаются между собой видом применяемых приемов объединения, для их различия необходима систематизация. В основу систематизации можно положить два признака. Первый – характеризующий сложность структуры способа – количество элементов (объектов), примененных в структуре способа. Второй – характеризующий качественные различия.

Исходя из первого признака способы классифицируются на 1, 2, ..., g- элементные. С использованием второго признака наиболее простой может быть классификация, основанная на выделении комбинированных и объединенных способов. Объединенный способ предполагает использование одного и того же приема для множества (2-х и более) объектов. Комбинированный способ основан на применении различных приемов к одинаковым или различным объектам, число которых должно быть не менее двух.

Одноэлементные способы приведены в таблице 1. Примерами двухэлементных объединенных способов будут: $I_c \times (B_o + P_p)$; $Y_m \times (N + P_p)$; $S_m (O_o + B_o)$. Примерами двухэлементных комбинированных способов будут: $\{I_c \times B_o + Y_m \times O_o\}$; $\{I_c \times P_p + Y_m \times O_o\}$. Примерами трехэлементных комбинированных способов будут: $\{I_c \times B_o + Y_m \times O_o + I_c \times P_p\}$; $\{I_c (B_o + P_p) + Y_m \times O_o\}$.

Простые и сложные (объединенные, комбинированные) способы образуют общее множество структур способов, которые влияют на $\mathcal{E}\phi$. В рамках принятой классификации и рассматриваемого уровня систем, множества M_{np} и $M_{об}$ являются полными и охватывают все этапы подготовки и функционирования системы. Этим обеспечивается возможность применения дедуктивного формализованного подхода к формированию мероприятий, инновационных проектов и программ, а также выполнения комплексной оптимизации системы по показателю повышения ее энергоэффективности.

Поскольку N у традиционных производственных процессов всегда положительно, из (2) следует отсутствие системных ограничений на показатель энергоэффективности.

Выводы. Решение ряда основных задач повышения энергоэффективности производства требует определения полного множества общих структур способов повышения этого показателя.

Выполненный синтез полного (в пределах принятой классификации) множества общих структур способов повышения этого показателя.

Множество включает простые, не выводимые друг из друга, общие структуры, а также кластеры объединенных и комбинированных структур, предусматривающих применение однотипных приемов к разным объектам и разных приемов к одним и тем же объектам соответственно.

Установлено, что системного предела энергоэффективности не существует.

Полученное множество общих структур способов повышения энергоэффективности позволяет формализовать процедуру формирования портфелей проектов и программ по энергосбережению, а также служить основой для решения задач комплексной их оптимизации, поскольку позволяет конкретизировать комплексы мероприятий, обеспечивающих достижение высших уровней энергоэффективности.

1. Концепція державної промислової політики України: указ Президента України від 12 лютого 2003 р. № 102-203.

2. Державна програма розвитку промисловості на 2003-2011 роки: постанова Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2003 р. № 1174.

3. Про комплексну державну програму енергозбереження України: постанова Кабінету Міністрів України від 5.02.1997 р. № 148.
4. Про Програму державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики: постанова Кабінету Міністрів України від 31 грудня 1997 р. № 1505.
5. Про деякі заходи щодо раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів: постанова Кабінету Міністрів України від 7 липня 2000 р. № 1071.
6. Економічна оцінка державних пріоритетів технологічного розвитку / за ред. Ю.М.Бажала. – К.: Ін-т екон. прогноз. НАН України, 2002. – 320 с.
7. Бахнова Є.Л. Загальний алгоритм методу аналітичного прогнозування економічних характеристик інновацій / Є.Л. Бахнова // Вісник НТУ «ХПИ», 2005. – № 33. – С. 29-34.
8. Макоровский Е.Л. Энергетический потенциал нетрадиционных и возобновляемых источников энергии Украины / Е.Л. Макоровский // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2004. – № 3. – С. 75.
9. Маляренко В.А. Энергозбереження у житлово-комунальному господарстві / В.А. Маляренко, Л.М. Шутенко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит: часть I. – 2005. – № 6. – С. 25-33; Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит: Часть II. – 2005. – № 7. – С. 2-9.
10. Шидловський А.К. Аналіз закономірностей та тенденцій підвищення енергетичної ефективності в Україні, країнах Центральної та Східної Європи / А.К. Шидловський, Г.М. Федоренко, Е.І. Удод // Новини енергетики. – 2001. – № 3. – С. 87-93.
11. Маляренко В.А. Энергетика довкілля, енергозбереження / В.А. Маляренко, Л.В. Лисак; під ред. В.А.Маляренка. – Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.
12. Коваленко И.И. Сценарный подход в анализе инновационных проектов / И.И. Коваленко, К.В. Кошкин. – Николаев: УДНТУ, 2003. – 60 с.
13. Беловол А.В. Синтез способов управления производительностью полифункциональных машин и их систем / А.В. Беловол, Н.Э. Тернюк // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. – Луганськ, 2003. – № 12. – С. 7-9.
14. Біловол Г.В. Оптимізація множини способів підвищення продуктивності багатофункціональних машинобудівних технологічних систем / Г.В. Біловол // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Х., 2005. – № 33. – С. 205-209.
15. Артоболевский И.И. Теория машин и механизмов / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
16. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов / Г.А. Шаумян. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.

Получено 05.02.2013