

2. Про державне замовлення на підготовку фахівців, науково-педагогічних та робітничих кадрів, на підвищення кваліфікації та перепідготовку кадрів (післядипломна освіта) для державних потреб у 2010 році: Постанова Кабінету Міністрів України від 14.07.2010 р. № 580 / Кабінет Міністрів України [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/580-2010-%D0%BF/page>.

3. Кочарян Інна Сергіївна. Стратегія управління вищим навчальним закладом в сучасних умовах / І.С. Кочарян, М.М. Клименюк. – К. : Освіта України, 2011. – 192 с.

4. Про формування та розміщення державного замовлення на підготовку кадрів. Проект закону України / Міністерство соціальної політики України, Державна установа Науково-дослідний інститут соціально-трудова відносин [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.lir.lg.ua/docs/publikacii/ProjektZU_derjamowlennj.doc.

5. Вища освіта і наука – найважливіші сфери відповідальності громадянського суспільства та основа інноваційного розвитку:

довідь на підсумковій колегії Міністерства освіти і науки С. М. Ніколаєнка, 24 березня 2010, м. Київ [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mon.gov.ua>.

6. Згуровський М. Україна ще має шанс // Дзеркало тижня. – № 20 (548). – 2005.

7. Про затвердження переліку напрямів, за якими здійснюється підготовка фахівців у вищих навчальних закладах за освітньо-кваліфікаційними рівнями спеціаліста і магістра: Постанова Кабінету Міністрів України від 27.08.2010 р. № 787 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/787-2010-%D0%BF>

8. Про введення в дію переліку спеціальностей, за якими здійснюється підготовка фахівців у вищих навчальних закладах за освітньо-кваліфікаційними рівнями спеціаліста і магістра: наказ Міністерства освіти і науки України від 09.11.2010 р. № 1067 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://osvita.ua/legislation/Vishya_osvita/10432/

УДК 621.1 (075.8)

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ І ЕВОЛЮЦІЯ ЇХНЬОГО РОЗВИТКУ



Б.Х. Драганов, докт. техн. наук

Еволюція розвитку життя на Землі, історія становлення і розвитку людства – це історія боротьби за оволодіння енергетією. Індивідуальне споживання людиною енергії наведено в табл. 1 [1].

Беручи до уваги останні досягнення в галузі науки і виробництва, наше століття можна назвати інтелектуальним.

Щорічно для виробництва енергії використовується більше 10000 млн т палива у вугільному еквіваленті. Близько 40 % цієї кількості припадає на нафту. Враховуючи, що крім нафти використовуються такі види палива, як вугілля і природний газ, можна зробити висновок, що більше 90 % усієї енергії, що споживається, виробляється з використанням сировини у вигляді вуглецю. Отже, можна передбачити, що таке масштабне використання викопних джерел призведе до нестачі ресурсів у майбутньому і спричинить значний негативний вплив на довкілля.

З давнини протягом декількох тисяч років потреба людства в енергії задовольнялася за рахунок поновлювальних джерел енергії – Сонця, біомаси, гідроенергії й енергії вітру. Так, до початку індустріальної революції робилися спроби перетворити теплову

енергію в механічну. Індустріальна революція була революцією енергетичної технології, що ґрунтувалася на використанні викопного палива. Процес був поступовим: від використання місцевих вугільних родовищ до експлуатації нафтових і газових родовищ у глобальному масштабі. Використання ядерної енергії почалося близько 50 років тому. Сьогодні людство від викопних палив знову повертається до використання поновлюваних джерел енергії.

Використання енергії збільшується з прискореною швидкістю. Ученими підраховано, що людство з початку свого існування до 70-х років ХХ ст. витратило близько $3Q^*$ (квадрильйонів британських теплових одиниць) первинної енергії, на цей час використано ще приблизно $9Q$. таким, чином, загальне споживання палива за всю історію цивілізації на Землі становить близько $12 Q$.

Населення світу в 1990 р. становило приблизно 5 млрд. осіб. За оцінками ООН, чисельність населення до 2025 р. зросте приблизно до 8 млрд. і стабілізується до кінця століття на рівні 10–12 млрд. За розрахунками вчених, світова енергетична потужність на одну людину в 2020; 2050; 2100 рр. становитиме відповідно 5,8; 8,3; 9,6 кВт/люд. Тому споживання енергії у світі в ці роки становитиме відповідно $43,95 \cdot 10^{13}$; $76,18 \cdot 10^{13}$; $102,55 \cdot 10^{13}$ кВт•год.

У наш час і в подальшій перспективі основним джерелом енергії залишатиметься органічне паливо. Це є гарантією розвитку не тільки енергетики, але й вирішення економічних проблем. Цим визначається і проблема охорони навколишнього середовища. Отже,

Індивідуальне споживання людиною енергії за добу

Споживач	Харчування	Побут й обслуговування	Промисловість і сільське господарство	Транспорт	Разом		
					тис. ккал	кВт•год.	кг у.п.
Первісна людина	2	-	-	-	2	2,4	0,3
Мисливець	3	2	-	-	5	5,8	0,7
Первісний землекористувач	4	4	4	-	12	14,0	1,7
Культурний землекористувач	6	12	7	1	26	30,0	3,7
Людина «індустріальна»	7	32	24	14	77	90,0	11,0
Людина «технологічна»	10	66	91	63	230	267,0	33,0

питання закономірності розвитку основних джерел енергії, що споживаються людством, і оцінка їхнього енергетичного потенціалу є вкрай актуальними.

Проаналізуємо тенденції розвитку антропогенної енергетики. Перш за все, вона проявляється в циклічному характері розвитку світової енергетики. Були виділені дві S-подібні криві зростання виробництва первинної (добутої з природи) енергії, а з 1860 р. відновлена більш повна і точна інформація, яка надала можливість доповнити їх третьою кривою.

Перша хвиля тривала 70 років (1929–1933 рр.). У цей період світова енергетика збільшилась у чотири з половиною рази (0,36 – 1,6 млн.т) нафтового еквівалента* (тне) при збільшенні на душу населення виробництва енергії у світі втричі (0,29 – 0,7–0,8) тне на рік.

Під час другої хвилі (50 років) збільшилося виробництво енергоресурсів ще в чотири з половиною рази (1,6 – 7,3 млн. тне) при наступному подвоєнні середньої енергії на душу населення до 1,65 тне. Завершилась вона близько 1980 р. нафтовою кризою. Для цього періоду характерним було домінування нафти у виробництві енергоресурсів. Так, її частка збільшилась з 11 до 47% у 1975 р., але після кризи стала знижуватися на користь вугілля і атомної енергії (рис. 1) [2].

Третя хвиля асоціюється зі становленням постіндустріального суспільства і якісно відрізняється від попередніх. По-перше, упродовж більшої її частини (до 2002 р.) вперше в індустріальну епоху на душу населення виробництво енергії у світі практично не змінилося (1,56 – 1,68 тне на людину в рік), і в результаті близько 2010 р. через економічну кризу збільшення світової енергетики було втричі меншим,

ніж під час кожної з попередніх хвиль. По-друге, з початком цієї кризи швидка циклічна перебудова виробничої структури світової енергетики змінилась її повільною еволюцією зі зменшенням частки нафти на користь екологічно найбільш прийнятних енергоресурсів – природного газу і нових відновлюваних джерел енергії (див. рис. 1).

Отже, можна констатувати очевидну відповідність циклів розвитку антропогенної енергетики епохальним подіям у житті людства. Окрім того, простежується тенденція до зменшення їхньої тривалості і, можливо, інтенсивності (кратності зростання виробництва енергії впродовж циклу).

Для кількісного оцінювання взаємозв'язків у розвитку енергетики і суспільства являє інтерес ретроспектива аналізу структури розподілу первинних енергоресурсів. У розрахунках для США і світу в цілому були простежені зміни частки кожного енергоресурсу в загальних витратах первинної енергії.

Як показано на рис. 1, вугілля стало домінуючим енергоресурсом у США з 1885 р., у Росії і Україні – з 1932 р.; у 1910 і 1955 рр. його частка в первинній енергії цих країн досягла відповідно максимуму (74 і 62%), після чого швидко знизилась.

До нашого часу з надр Землі видобуто 33% прогнозних запасів традиційної нафти і 14% запасів газу, що не дозволяє говорити про глобальне вичерпання цих ресурсів. Однак максимальна частка нафти у виробництві первинної енергії вже використана, а щодо газу – очікується в найближчі десятиліття. У перспективі не виключене витіснення нафти й газу новими енергоресурсами, швидше це буде спочатку ядерна енергія – ділення урану в теплових реакторах, потім – замкнутий паливний цикл з реакторами на

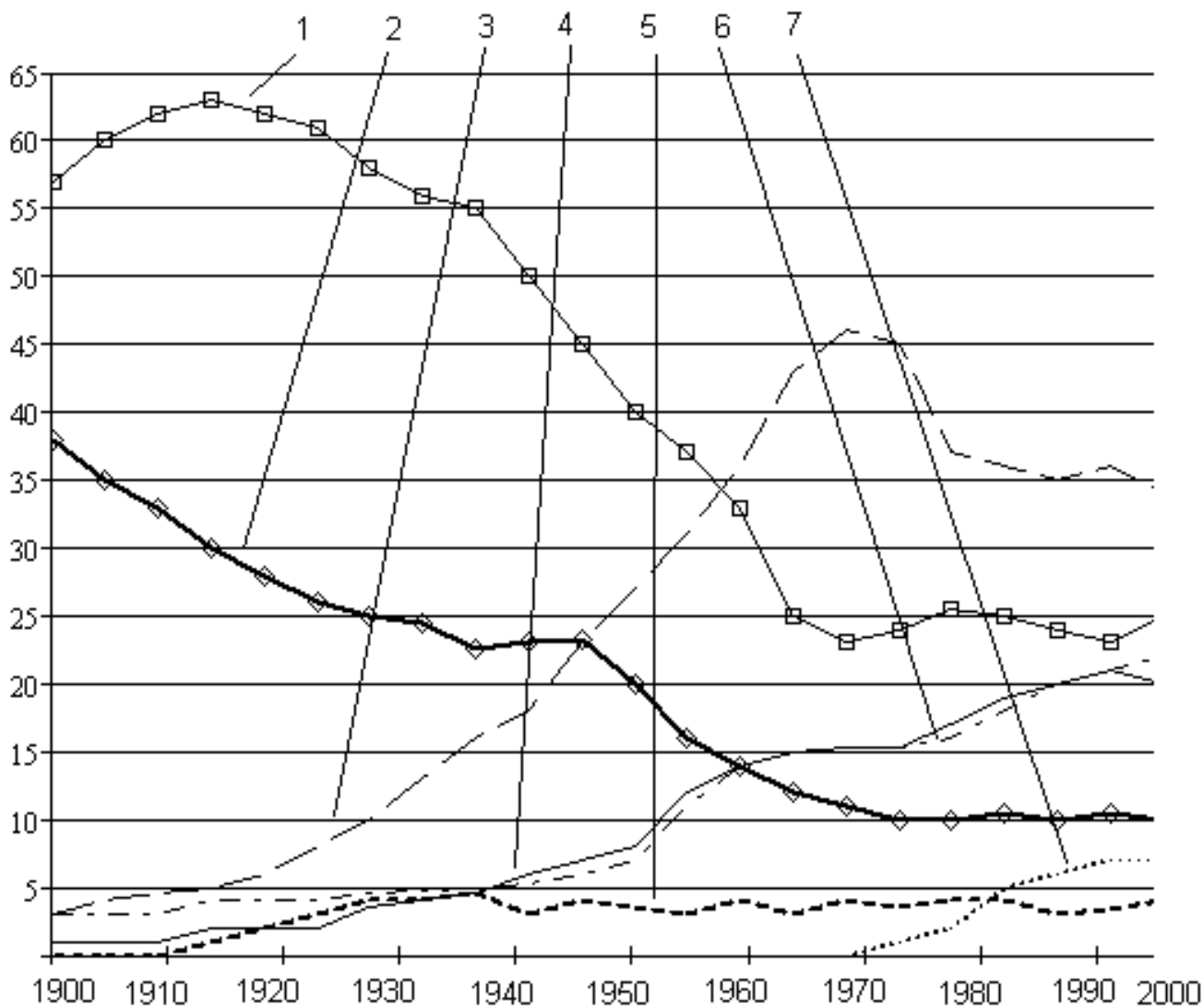


Рис. 1. Структура світового виробництва енергоресурсів, %:
1 – біомаса; 2 – вугілля; 3 – нафта; 4 – газ; 5 – гідроенергія;
6 – ядерна енергія; 7 – нові відновлювані

швидких нейтронах і далі – термоядерний синтез. Аналіз динаміки виробничої структури антропогенної енергетики дозволив надав можливість сформулювати певні тенденції.

Заміна домінуючих енергоресурсів відбувалася регулярно і визначалася логікою розвитку енергетики. При цьому вичерпання запасів не було причиною заміни домінуючих енергоресурсів. Економічним сигналом необхідності заміни стало подорожчання цих енергоресурсів.

Кожний наступний домінуючий енергоресурс мав приблизно вдвічі більш високу якість, ніж попередній: теплота згорання одиниці маси деревини, вугілля, нафти (газу) і урану в природному середовищі відносяться як 0,35:0,7(1,6):2,4(2,6), якщо за одиницю прийняти теплоту згорання 1 т у.п. (29,308 МДж/кг).

З початку 1980-х років удвічі уповільнилися темпи

зростання енергетики і радикально змінилася його якість. Швидка і регулярна перебудова структури виробництва первинної енергії, яка спостерігалася більш як 100 років, змінилася повільною еволюцією з вирівнюванням часток основних енергоресурсів в їхньому загальному виробництві.

Ситуація ускладнюється через нерівномірність просторового розповсюдження джерел, запасів і ресурсів мінеральної сировини, відсутність корекції між ними, особливості народонаселення. Так, за даними геологів, у 16 країнах світу зосереджено 85% усіх запасів нафти. Населення цих країн становить близько 33%. На долю всіх інших країн з населенням 67% від світового припадає 15% нафти.

За прогнозами, до 2050 р. населення Землі становитиме в середньому 8,9 млрд., а потреба в енергії збільшиться на 50 – 80 %. Споживання нафти становитиме

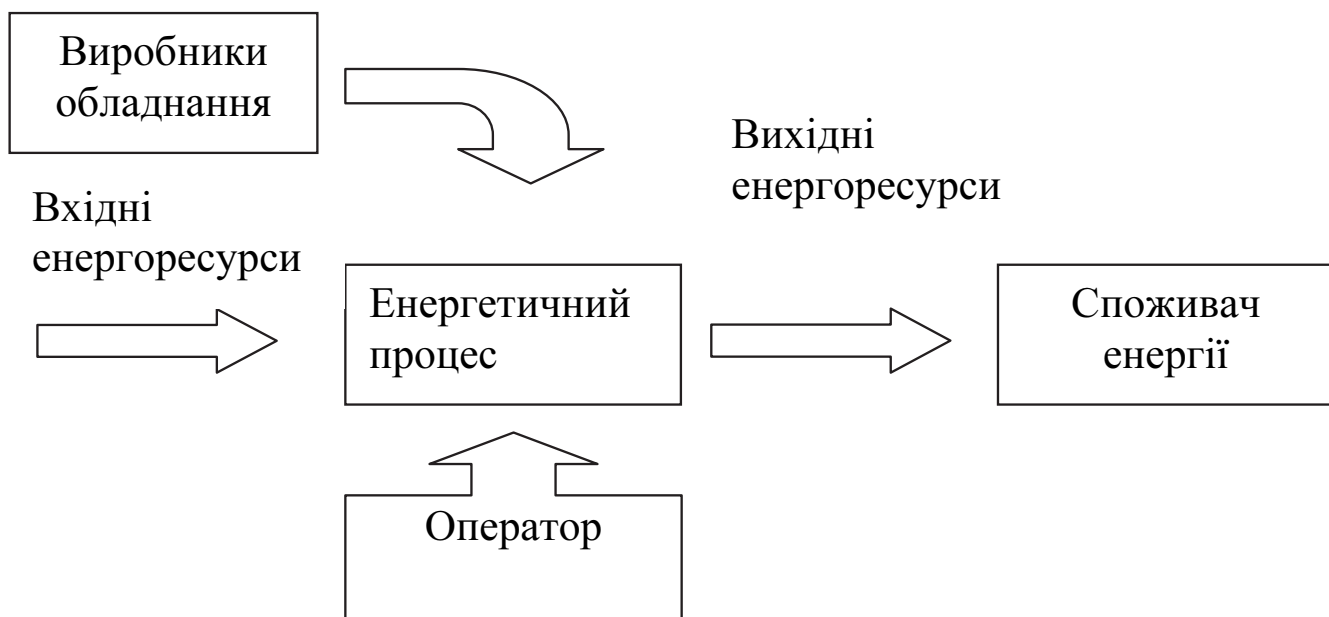


Рис. 2

4 – 5,5 млрд. т щорічно (у 2010 р. – 2,7 – 3,0 млрд. т). Обсяг споживання мінеральної сировини збільшиться в Азії в 1,5 – 2 рази; в Австралії в 2 – 2,5; в Африці в 2 – 3; на американському континенті в 1,2 – 1,5 рази. Тільки в Європі може зберегтися попередній рівень. Наведені дані вказують на гостроту проблеми забезпечення людства енергетичними ресурсами, а отже – і проблеми енергозбереження [3...5].

При цьому гостро постає питання щодо виміру цінності енергії, яка використовується людством і потребує формування індикаторів не тільки відносно розмірів споживання енергії, але й її якості.

Для цього в роботі введено уточнені поняття цінності енергетичних (будь-яких антропогенних) систем або процесів, які створюються для забезпечення певних потреб і тому повинні мати вимірювачі якості виконання своїх функцій. Запропоновано спосіб кількісного визначення міри якості створеного людиною об'єкта (у тому числі, енергетичного процесу або системи як сукупності процесів) для суб'єктів, що його використовують. Це зокрема споживачі наданої енергії, творці даного об'єкта (виробники обладнання) і в складних системах – оператори його функціонування (рис. 2) [6].

Для визначення цінності об'єкта виділяється по можливості універсальний склад його ключових параметрів, які повинні бути виміряні, незалежні (мати різну фізичну розмірність) і якомога повніше описувати якість об'єкта для його суб'єктів. Для цього в загальному випадку порівнюються: ідеальне i (потенційно досягнуте в період часу t або теоретично можливе) значення вимірювача $f_i(t)$; фактично досягнуте в даній системі значення $f(t)$; гіпотетичне

значення за відсутності системи $f_0(t)$.

Мірою якості параметра n процесу j у період часу t прийнято відношення точності досягнення ідеального значення його вимірювача за відсутності й наявності процесу

$$\lambda_{jnt} = \frac{\|f_0(t) - f_i(t)\|}{\|f(t) - f_i(t)\|}, \quad (1)$$

де $\|f(t)\|$ визначається, наприклад, як усереднена за ймовірностями всіх реалізацій середньоквадратична норма функції

$$\|f(t)\| = \left\langle \left[\int_{t_1}^{t_2} f^2(t) dt \right]^{1/2} \right\rangle. \quad (2)$$

Тоді парціальна цінність параметра визначається як десятковий логарифм міри його якості

$$Q_{jnt} = \lg \lambda_{jnt}. \quad (3)$$

У загальному випадку виділено до десяти універсальних ключових параметрів антропогенних систем. Енергетичні процеси (системи) у першому наближенні характеризують чотири параметри (табл.2).

Історично першим кількісне порівняння якості різних видів енергії запропонував наприкінці XIX ст. Н.Я. Умов [7] введенням на основі другого закону термодинаміки «вектора Умова-Пойнтінга», які визначали сумарну щільність потоків різних видів енергії (теплової, механічної, хімічної, електричної, пізніше були враховані також потоки хвильової енергії і радіації) як:

Розрахунок цінності енергетичного процесу (системи)

Основні параметри	Вимірювач	Ідеальне значення, $f_i(t)$	Фактичне значення, $f(t)$	Значення без процесу, $f_0(t)$	Міра якості, λ_f	Парціальна цінність, Q_n
1	2	3	4	5	6	7
Густина потоку енергії	Відношення нижньої густини потоку (мінімум на вході, виході) до максимальної S_{\min}/S_{\max}	В ідеалі густина потоку повинна бути велика $S_{\min}/S_{\max} \rightarrow 0$	Змінене значення, S_{\min}/S_{\max}	$S_{\min}/S_{\max} = 1$ (вхідний потік не змінюється)	S_{\min}/S_{\max}	$\lg(S_{\max}/S_{\min})$
Надійність	Імовірність роботи без збоїв на виході	Імовірність роботи без збою наближується до 1,0	Виміряна ймовірність, p	Імовірність роботи без збоїв наближено 0	$1/p$	$-\lg(p)$
Виконання необхідного режиму роботи за показником w	Вихідний показник (потужність, частота тощо)	Необхідний режим, $w_i(t)$	Виміряне значення, $w(t)$	Енергія не виділяється	$\lambda_n = \frac{\left[\int_{L_2}^{L_1} w_i^2(t) dt \right]^{1/2}}{\int_{L_1}^{L_2} [w(t) - w_i(t)]^2 dt}^{1/2}$	$\lg \lambda_f$
Енергетична ефективність	ККД	ККД ідеального перетворювача, η_s	Виміряне ККД, η	ККД=0 (енергія не виробляється)	$\frac{\eta_s}{\eta_s - \eta}$	$\lg \frac{\eta_s}{\eta_s - \eta}$

$$S_j = \sum_j \alpha_j e_j, \text{ Bm} / \text{m}^2, \quad (4)$$

де e_j – щільність потоку енергії виду j ;
 a_j – потенціал, який формує потік відповідного виду енергії.

Густина потоку енергії включена в табл.2, оскільки цей параметр визначає різноманіття доступних для використання фізичних явищ. Іншими ключовими параметрами будь-якого енергетичного процесу (системи) є: надійність, яка вимірюється ймовірністю відмов; виконання необхідного режиму роботи у вихідні показники процесу; енергетична ефективність (ККД) процесу. По кожному з них дано конкретні загальні вирази для розрахунку міри якості даного параметра і його парціальної цінності.

Інтегральне значення цінності Q_{jt} енергетичного процесу (системи) знаходять з таких міркувань: фізичні значення (див. табл. 2) всіх ключових параметрів енергетичних процесів (стовпець 4) є ймовірнісними характеристиками. Ефективне функціонування процесу передбачає одночасну реалізацію всіх його ключових параметрів. За аналогією з обчисленням імовірностей інтегральну якість процесу запропоновано розраховувати як добуток заходів якості всіх його параметрів (стовпець 6), а значення цінності Q_{jt} як суму логарифмів цих величин, тобто суму парціальних цінностей параметрів (стовпець 7)

$$Q_{jt} = \sum_n Q_{jnt}. \quad (5)$$

Більшу цінність має не термоядерна бомба, а еле-

менти мікроелектроніки. Це так звана слабкострумова енергетика має досить високу локальну густину потоків енергії при найвищій надійності і дотриманні необхідних режимів роботи. Отже, показник цінності кількісно підтверджує уявлення про те, що мікроелектроніка й інформаційні системи є зараз вищим матеріальним досягненням наукової думки.

Висновки

Слід очікувати, що в подальшому розвиток енергетики відбуватиметься переважно за рахунок нетрадиційних джерел, розширення атомної енергетики, а в більш віддаленому майбутньому – за рахунок освоєння для енергетики термоядерної реакції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соловей О.І. та ін. Нетрадиційні поновлювальні джерела енергії: Навч. посіб. / О.І. Соловей, О.Г. Леча, В.П. Розен, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака; за заг. ред. О.І. Солов'я. – Черкаси: ЧДГ, 2007. – 483 с.
2. Макаров А.А., Макаров А.А. Закономерности развития энергетико-ускользающая сущность // Известия Академии наук. Энергетика. – 2010. – №1. – С. 3–12.
3. Макаров А. Энергетика: взаимосвязи и закономерности // Энергия: экономика, техника, экология. – 1986. – № 5.
4. Макаров А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство. М.: Энергоатомиздат, 1998.
5. Makarov A.A. Quality of Energy: Way to the Global Problems // Proceed of Summer School, 1990. CEES. Princenton University, 1990.
6. Макаров А. Управляемость как универсальный измеритель организованных систем / В кн. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство. М.: Энергоатомиздат, 1998.
7. Умов Н.Я. Собрание сочинений. Т.3. М.: МОИП, 1916.

До уваги авторів!

З 1 квітня 2008 р. введено в дію національний стандарт України ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Бібліографічний запис, бібліографічний опис». Просимо в статтях, що надаються для публікації, перелік використаних джерел оформляти згідно з новими вимогами.