

**ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ
ВИРОБНИЦТВА ЯК НАПРЯМОК ПІДВИЩЕННЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Розглянуто основні напрямки енергозбереження машинобудівних підприємств та місце вторинних енергетичних ресурсів у них. Запропоновано математичну модель економічно обґрунтованого розподілу та використання вторинних ресурсів у промисловості.

Ключові слова: машинобудівне підприємство, вторинні енергетичні ресурси, енергозбереження, енергетична ефективність.

V. V. DJEDJULA
Khmelnytsky national university

**USE OF SECONDARY ENERGY RESOURCES OF PRODUCTION AS DIRECTION
OF INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES**

Abstract – consideration of the main directions of energy saving of machine-building enterprises and a place of secondary energy resources in them is a research objective.

The concept "secondary energy resources" is investigated, the scheme of their education is provided in technological installation of the industrial enterprise. Types of secondary resources, ways of their transfer and types of energy to which it is convenient to transform them are classified. The mathematical model of economically reasonable distribution and use of secondary resources in the industry is offered. The model is based on a way of minimization of the given expenses for transfer and use of one kilowatt of power of secondary energy resources.

As a result of research it is proved a role of secondary energy resources in structure of the directions of increase of energy efficiency of machine-building enterprises. The mathematical model of optimum distribution of potential of secondary energy resources is offered.

Keywords: machine-building enterprise, secondary energy resources, energy saving, power efficiency.

Постановка проблеми. Енергозбереження для сучасних підприємств є одним із пріоритетних напрямків розвитку, що дозволяє підвищити прибутковість підприємства, зменшити споживання палива та викидів у навколишнє середовище. Вторинні енергетичні ресурси, що утворюються на підприємстві під час роботи технологічних установок, котелень, ТЕЦ, градирень, вентиляційних систем та інших систем мають значний енергетичний потенціал, який необхідно врахувати при проведенні заходів з енергозбереження. Для ефективного використання енергії вторинних ресурсів (ВЕР) потрібно розглянути основні напрямки енергозбереження промислових підприємств, обґрунтування ролі ВЕР у них та розробці математичної моделі розподілу та використання ВЕР у промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широке коло питань із енергозбереження промислових підприємств висвітлено у роботах вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема: Степановим В. С. [1], Микитенко В. В. [2], Рудикою В. И. [3], Михайловим С. А. [4], Подольчаком Н. Ю. [5], Матвіїшином В. Є. [6], Лелюком С. В. [7], Шевцовим А. І. [8], Турченко Д. К. [9]. Однак, недостатньо досліджене питання ролі вторинних енергетичних ресурсів у структурі напрямків енергозбереження промислових підприємств, використання енергетичного потенціалу ВЕР промислового підприємства з позиції мінімізації капітальних витрат.

Метою статті є обґрунтування ролі вторинних енергетичних ресурсів у структурі напрямків енергозбереження промислових підприємств та розробка математичної моделі перерозподілу і використання енергетичного потенціалу ВЕР промислового підприємства з позиції мінімізації капітальних витрат.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- розглянути схему розподілу енергетичних ресурсів технологічної установки промислового підприємства;
- дослідити місце вторинних енергетичних ресурсів у структурі напрямків енергозбереження промислових підприємств;
- розробити математичну модель перерозподілу і використання енергетичного потенціалу ВЕР промислового підприємства з позиції мінімізації капітальних витрат.

Виклад основного матеріалу. Промислові підприємства у своїй структурі енергоспоживання мають розгалужену мережу кінцевих споживачів (технологія, виробництво гарячої води, системи опалення, кондиціонування, вентиляції) і генераторів та перетворювачів енергії (технологічні лінії, котельні, ТЕЦ, холодильні станції та інше). Максимізація використання потенціалу генераторів та перетворювачів енергії (джерел вторинних енергоресурсів) і мінімізація транзитних втрат тепла, палива, води, холоду, електричної енергії є актуальною задачею сьогодення. При виробництві тепла використовується потенціал палива та електричної енергії, при виробництві холоду – електрична енергія, газ тощо. Робота підприємства супроводжується комплексом заходів для створення необхідних виробничих умов: постачання тепла, електричної енергії, холоду, води, стисненого повітря та інших ресурсів до споживачів і відведення при цьому відпрацьованих носіїв: води, повітря, конденсату. При цьому неминучими є втрати енергії та

утворення вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), що містяться у масоносіях, – воді, парі, повітрі, шлаку та інші. У загальній структурі напрямків організаційно-економічного і інженерно-технічного спрямування, направлених на підвищення енергоефективності машинобудівних підприємств, використання вторинних енергетичних ресурсів має значну вагу. Під вторинними енергетичними ресурсами розуміється [10, с. 1]: енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в технологічних агрегатах (установках, процесах) і не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших агрегатів (процесів).

У структурі енергоспоживання машинобудівних підприємств частка теплової енергії і палива складає більше 70% [11, с. 121; 12, с. 206; 13, с. 176]. Відповідно, основну увагу при виборі напрямків енергозбереження шляхом використання вторинних енергетичних ресурсів необхідно звернути на основних споживачів палива та теплової енергії та інженерні мережі, що транспортують тепло: котельні та промислові печі і системи розподілу теплової енергії, системи вентиляції, опалення, гарячого водопостачання, постачання пари. В першу чергу, зацікавлені викликають вторинні енергетичні ресурси, що утворюються при роботі даних систем. Враховуючи, що потужність даних систем може сягати мегаватів, зменшення споживання енергії за рахунок використання ВЕР в межах навіть декількох відсотків дозволить отримати значний економічний ефект. Не менш важливим є використання тепла стічної води, викидного повітря, теплової енергії промислових печей та градирень.

Основним кінцевим споживачем енергії на підприємстві є технологічна установка (рис. 1). До технологічних установок промислового підприємства можна віднести не тільки установки, що безпосередньо використовуються у виробничому процесі, але і допоміжні пристрої, верстати, конвеєри, печі, підйомники, компресори, котли, вентилятори та інше. Після проходження технологічного процесу утворюється кінцевий продукт і енергетичні та фізичні відходи. Енергія, що безпосередньо використана на виготовлення кінцевого продукту – це корисно застосована енергія. Під час проходження процесу неминучими є теплові втрати від нагрітого обладнання: печей, двигунів, механізмів, систем тепlopостачання та інших. Дана енергія є втраченою для установки, але в загальному тепловому балансі підприємства вона враховується, наприклад, на опалення цехів у холодний період. Якщо теплових втрат багато і для їх виведення з цеху необхідно встановлення додаткового холодильного обладнання, то дані відходи вже розглядаються як втрати теплової енергії. Для використання вторинних енергетичних ресурсів у енергетичному балансі підприємства потрібно розглянути структурну схему розподілу енергоресурсів технологічної установки промислового підприємства (рис. 1).



Рис. 1. Узагальнююча схема розподілу енергетичних ресурсів технологічної установки промислового підприємства (розроблено автором)

Підведена до установки енергія використовується на корисну роботу, а також неминучим є теплові

втрати та утворення вторинних енергетичних ресурсів, які можуть використовуватися безпосередньо або за допомогою утилізуючих пристроїв. При утилізації теплової енергії також втрачається певна частка енергії, що зменшує ефективність процесу використання ВЕР. Сукупність вторинних енергетичних ресурсів і альтернативних джерел енергії, які можуть використовуватися даною технологічною установкою, утворюють відновлювальну енергію. Відновлювальна енергія може використовуватися самою установкою або сторонніми споживачами.

Комплекс енергозберігаючих заходів на підприємстві не повинен обмежуватися лише «пасивними» напрямками у вигляді теплової ізоляції конструкцій, обладнання і мереж, але і використовувати потенціал промислових вторинних ресурсів. Основні носії теплових викидів на підприємстві це: димові гази котельень, вентиляційні викиди, стічні води каналізаційних мереж, теплота шлаку. Енергетичний потенціал цих вторинних джерел енергії може переважати у своїй економічній ефективності інші заходи з енергозбереження. Також зацікавлення викликає потенціал надлишкового тиску та джерел холодильної енергії.

Аналіз узагальнюючої схеми розподілу енергетичних ресурсів технологічної установки як ключової структурної одиниці промислового підприємства дозволяє окреслити основні напрямки підвищення енергоефективності виробництва: ліквідація прямих втрат, максимальне використання вторинних відновлювальних ресурсів та альтернативних джерел енергії (рис. 2). Використання альтернативних джерел енергії дозволяє використовувати нетрадиційні палива: біогаз та біомасу. Отримати теплову енергію можна від сонця, холодильну енергію – від навколишнього середовища та підземних вод. Отриману альтернативну енергію можна використовувати безпосередньо на виробництві або для генерації інших видів енергії – електричної – від сонячних батарей або вітрових генераторів, механічної роботи різних машин. Споживачами можуть виступати виробничі, невиробничі, господарсько-побутові ланки підприємства або сторонні споживачі, що не належать до даного підприємства. Вторинні енергетичні ресурси у вигляді теплової та холодильної енергії і надлишкового тиску також можуть використовуватися безпосередньо або за допомогою утилізаторів на виробництво теплової, холодильної, електричної енергії і механічної роботи для вищезначених груп споживачів.



Рис. 2. Напрямки організаційно-економічного і інженерно-технічного спрямування підвищення енергоефективності промислового підприємства (розроблено автором)

Під ліквідацією прямих втрат розуміється мінімізація втрат всіх видів енергії і палива під час

генерації, транспортування, розподілу і споживання. Основною проблемою у використанні вторинних енергоресурсів є визначення її теплового потенціалу у джерелі, формуванні оптимальних шляхів її перерозподілу з врахуванням вартості обладнання, мереж, робіт при умові мінімізації фінансових витрат. Не обов'язково ВЕР повинні використовуватися на потреби установки, яка його виробляє. Частими є випадки, коли утилізованим теплом димових газів здійснюється нагрів гарячої води на санітарні потреби або теплом шлаку з котельні підігрівається ґрунт у теплицях або матеріали для виробництва. Для утилізації теплової енергії використовуються економайзери, виносні і стаціонарні рекуператори, теплообмінники, теплові насоси тощо. Впровадження енергозберігаючих заходів за рахунок використання енергетичного потенціалу промислового підприємства повинно супроводжуватися моделюванням процесу прийняття рішень щодо перерозподілу і використання енергетичного потенціалу ВЕР промислового підприємства з позиції мінімізації капітальних витрат. Вихідними умовами моделювання є:

- технічно досяжний енергетичний потенціал джерела скидного тепла;
- необхідна потреба у тепловій енергії споживачів підприємства;
- віддаленість джерел і споживачів енергії;
- вартість транспортування енергії від джерел до споживачів;
- вартість обладнання для утилізації енергії.

Першочерговим заходом, що передує моделюванню, є побудова графа енергетичних потоків підприємства на основі його генерального плану. На генеральному плані фіксуються місця теплових викидів (джерел енергії) з їх максимально досяжним технічно та економічно обґрунтованим потенціалом ВЕР та місця розташування можливих енергетичних споживачів ВЕР з їх максимальною потребою у ресурсі. На кожному ребрі графа наводять приведену вартість утилізації і передачі одиниці потужності споживачу (рис. 3).

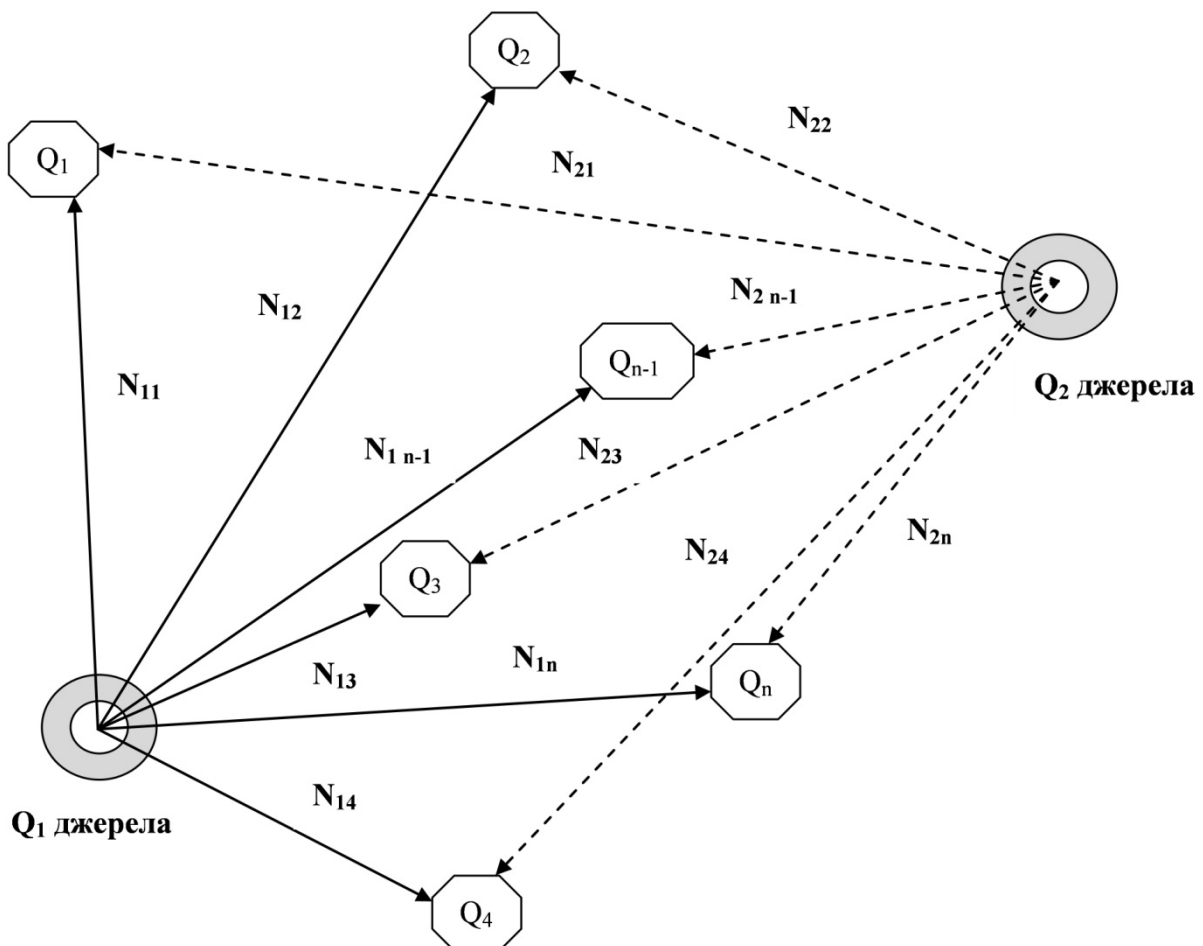


Рис. 3. Структурна схема розподілу потоків вторинних енергетичних ресурсів промислового підприємства

Цільову функцію оптимізації енергетичного потенціалу підприємства формуємо з позиції мінімізації приведених витрат на встановлення утилізаційного обладнання і річної вартості транспортування скидної енергії до споживачів:

$$Opf(p) = \sum_{j=1}^{Sp} \sum_{i=1}^{Dg} p_{i,j} \cdot c_{i,j} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $Opf(p)$ – цільова функція, приведена (до 1 кВт теплової потужності, або 1 атмосфери надлишкового тиску) вартість обладнання і річна вартість транспортування скидного тепла (тиску) до

споживача, грн.;

Sp – кількість споживачів тепла (тиску), шт.;

Dg – кількість джерел скидного тепла (надлишкового тиску), шт.;

$p_{i,j}$ – можлива кількість переданої теплової потужності (енергії тиску) j -му споживачу від i -го джерела, кВт;

$c_{i,j}$ – вартість передачі одного кВт утилізованого тепла (1 атмосфери надлишкового тиску) j -тому споживачу від i -го джерела, тис. грн.

Умовами моделювання є:

- кількість отриманого тепла (надлишкового тиску) від джерел енергії кожним споживачем повинно бути менше або дорівнювати його потребі у теплі (механічній енергії):

$$\sum_{i=1}^{Dg} p_{i,j} \leq Q(Sp_j) \quad (3)$$

- загальна кількість енергії, відданої джерелами тепла, не повинна перевищувати їх потенційних можливостей:

$$\sum_{j=1}^{Sp} \sum_{i=1}^{Dg} p_{i,j} \leq \sum_{i=1}^{Dg} Q(Dg_i) \quad (4)$$

де $Q(Dg_i)$ – потенційна кількість утилізованого тепла (вилученого надлишкового тиску) на i -му джерелі;

- енергія, що передається споживачу, не може бути від'ємною (4):

$$p_{i,j} \geq 0. \quad (5)$$

Розглянемо приклад моделювання інвестиційного процесу енергозбереження промислового підприємства.

Позначимо: C – матриця приведених затрат на транспортування одного кВт теплової потужності до споживача, тис. грн.; $Q(Dg)$ – матриця потенційних енергетичних ресурсів джерела скидного тепла, кВт;

$Q(Sp)$ – матриця потреб у тепловій енергії споживачів, кВт:

$$C = \begin{pmatrix} 29 & 18 & 16 & 15 & 12 & 16 \\ 34 & 10 & 12 & 17 & 21 & 39 \end{pmatrix}; \quad (6)$$

$$Q(Dg) = \begin{pmatrix} 110 \\ 100 \end{pmatrix}; \quad (7)$$

$$Q(Sp) = (30 \ 50 \ 100 \ 25 \ 55 \ 50).$$

Мінімізація функції (1) за наведених обмежень (2-4) і початкових умов у матричному виді приводить до оптимальних розподілів енергетичного потенціалу підприємства:

$$Opt = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 6 & 25 & 55 & 24 \\ 0 & 50 & 50 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

При цьому значення функції (мінімальна приведена вартість оптимізації енергопотенціалу підприємства) складе 2,615 млн. гривень. Аналіз результатів моделювання свідчить про те, що передача тепла першому споживачу не вигідна в обох випадках, найоптимальніший розподіл утилізованої теплової енергії з другого джерела – це передача її до споживачів 2 і 3. Перше джерело видає енергію споживачам 3,4,5 і 6.

Моделювання розподілу енергетичного потенціалу вторинних енергетичних ресурсів за запропонованою методикою є лише першим етапом ґрунтовного економічного дослідження ефективності інвестування у заходи енергозбереження. Для комплексної оцінки всіх ефектів інвестування необхідно розрахувати повний економічний ефект кожного заходу енергозбереження з перерозподілу ВЕР та врахувати технічні, економічні, організаційні, технологічні, екологічні наслідки інвестування.

Висновки

1. Розглянуто схему розподілу енергетичних ресурсів технологічної установки промислового підприємства.

2. Досліджено місце вторинних енергетичних ресурсів у структурі напрямків енергозбереження промислових підприємств.

3. Розроблено математичну модель перерозподілу і використання енергетичного потенціалу ВЕР промислового підприємства з позиції мінімізації капітальних витрат.

4. У подальших дослідженнях необхідно розрахувати повний економічний ефект кожного заходу енергозбереження з перерозподілу ВЕР та врахувати технічні, економічні, організаційні, технологічні, екологічні наслідки інвестування.

Література

1. Степанов В. С. Потенциал и резервы энергосбережения в промышленности: монография / В. С. Степанов, Т. Б. Степанова – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1990. – 248 с.
2. Микитенко В. В. Формування системи забезпечення ефективного використання енергоресурсів у промисловості: автореф. на здобуття наук. ступеня д.е.н.: спец. 08.00.03 «Економіка та управління національним господарством» / В. В. Микитенко. – Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України. – Київ, 2007. – 37 с.
3. Рудыка В. И. Энергосбережение в базовых отраслях промышленности: теория, технология: монография / В. И. Рудыка. – Х.: ИНЖЭК, 2007. – 303 с.
4. Михайлов С. А. Стратегическое управление энергосбережением в промышленности: монография / С. А. Михайлов // М.: Финансы и статистика, 2010. – 288 с.
5. Подольчак Н.Ю. Методи зниження ризиків енергоресурсів і оцінювання ефективності енергоощадних заходів машинобудівного підприємства / Н. Ю. Подольчак, В. Є. Матвіїшин // Науковий вісник НТЛУ України. – 2009. – Вип. 19.10. – С. 283-291.
6. Матвіїшин В. Є. Енергоресурси машинобудівного підприємства як об'єкти управління/ В. Є. Матвіїшин // Вісник НУЛП. – 2009. – №657. – С 259-266.
7. Лелюк С. В. Основні напрями та економічні механізми енергозбереження/ С.В. Лелюк // Управління розвитком. – 2010. – №5(81). – С. 148-149.
8. Энергетика Украины на шляху до європейської інтеграції: монографія / А. І. Шевцов, М. Г. Земляний, А. З. Дорошевич [та ін.]. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2004. – 160 с.
9. Турченко Д. К. Формирование энергосырьевой безопасности Украины: монография / НАН Украины, Институт экономики промышленности. – Донецк, 2007. – 348 с.
10. Про енергозбереження: Закон України від 01.07.1994 №74/94ВР, редакція від 01.01.2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>
11. Методическое пособие для производственных малых и средних предприятий по вопросам повышения ресурсо- и энергоэффективности / Т. Е Троицкий-Марков., Д. В Сенновский., В. И Зуев., А. В Журова. – М.: Межрегиональный центр промышленной субконтракции и партнерства, 2010. – 145 с.
12. Щелоков Я. М. Энергетическое обследование: справочное издание [в 2-х томах]. Том 1. Теплоэнергетика / Я. М. Щелоков, Н. И. Данилов. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 264 с.
13. Вагин Г. Я. Экономия энергии в промышленности: учеб. пособие / Г. Я. Вагин, А. Б. Лоскутов. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т., НИЦЭ, 1998. – 220 с.

References

1. Stepanov V. S. Potentsyal y rezervi enerhosberezhennya v promishlennosti: monohrafiya / V. S. Stepanov, T. B. Stepanova – Novosybyrsk: Nauka. Syb. Otdelenye, 1990. – 248 s.
2. Mykytenko V. V. Formuvannya systemy zabezpechennya efektyvnoho vykorystannia enerhoresursiv u promyslovosti: avtoref. na zdobuttia nauk. stupenia d.e.n.: spets. 08.00.03 «Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom» / V. V. Mykytenko. – Rada po vyyvchenniu produktyvnykh syl Ukrainy NAN Ukrainy. – Kyiv, 2007. – 37 s.
3. Rudika V. Y. Enerhosberezhennye v bazovikh otrasliakh promishlennosti: teoriya, tekhnolohiya: monohrafiya / V. Y. Rudika. – Kh.: YNZhEK, 2007. – 303 s.
4. Mykhailov S. A. Stratehycheskoe upravlenye enerhosberezhennem v promishlennosti. Monohrafiya./ S. A. Mykhailov // M.: Fynansi y statystyka, 2010. – 288 s.
5. Podolchak N.Yu. Metody znyzhennia ryzhykiv enerhoresursiv i otsiniuvannia efektyvnosti enerhooschadnykh zakhodiv mashynobudivnoho pidprijemstva / N. Yu. Podolchak, V. Ye. Matviishyn // Naukovyi visnyk NTLU Ukrainy. – 2009. – Vyp. 19.10. – S. 283-291.
6. Matviishyn V. Ye. Enerhoresursy mashynobudivnoho pidprijemstva yak obiekty upravlinnia/ V. Ye. Matviishyn// Visnyk NULP - 2009. – № 657. – S 259-266.
7. Leliuk S. V. Osnovni napriamy ta ekonomichni mekhanizmy enerhozberezhennia/ S.V. Leliuk // Upravlinnia rozvytkom – 2010. – № 5(81). – S. 148-149
8. Enerhetyka Ukrainy na shliakhu do yevropeiskoi intehratsii: monohrafiia / A. I. Shevtsov, M. H. Zemlianyi, A. Z. Doroshevych ta in. – Dnipropetrovsk: Zhurfond, 2004. – 160 s.
9. Turchenko D. K. Formyrovanye enerhosirevoi bezopasnosti Ukrayni: Monohrafiya / NAN Ukrayni, Ynstytut ekonomyky promishlennosti. – Donetsk, 2007. – 348 s.
10. Pro enerhozberezhennia: Zakon Ukrainy vid 01.07.1994 №74/94VR, redaktsiia vid 01.01.2013 [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>
11. Metodicheskoe posobyie dlia proyzvodstvennikh malikh y srednykh predpriyatiy po voprosam povisheniya resurso- y enerhoefektyvnosti / Troytskyi-Markov T. E., Sennovskiy D. V., Zuev V. Y., Zhurova A. V. – M.: Mezhhreyonalnii tsentr promishlennoi subkontraktatsyy u partnerstva, 2010. – 145 s.
12. Shchelokov Ya. M. Enerhetycheskoe obsledovanye: spravochnoe izdanye [v 2- kh tomakh]. Tom 1. Teploenerhetyka / Ya. M. Shchelokov, N. Y. Danylov. – Ekaterynburh: UrFU, 2011. – 264 s.
13. Vahyn H. Ya. Ekonomiya enerhyy v promishlennosti: ucheb. posobyie / H. Ya. Vahyn, A. B. Loskutov. – N. Novhorod: Nyzhehorod. hos. tekhn. un-t., NYTsE, 1998. – 220 s.

Рецензія/Peer review : 11.5.2014 р.

Надрукована/Printed : 15.8.2014 р.

Рецензент: д.е.н, проф., Войнаренко М.П.