

УДК 338.984.2.004.18

М.В. ГНІДИЙ, канд. екон. наук, *Т.П. АГЕСЬВА*, канд. техн. наук (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА РІВНІ ЕКОНОМІКИ, ГАЛУЗІ ТА ВИРОБНИЦТВ НА ДОВГОСТРОКОВИЙ ПЕРІОД

Наведено методичні положення визначення економічно доцільного потенціалу енергозбереження в економіці регіону, яка базується на різних підходах до галузей виробничої, житлово-комунальної та соціальної сфер.

Розробка та реалізація державної політики у сфері підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, зокрема збільшення обсягів енергозбереження, є однією з найактуальніших задач для економіки України. Нераціональне використання енергетичних ресурсів призводить до значних економічних видатків, а також до втрат фінансових, матеріальних і людських ресурсів, підвищує негативний вплив на довкілля.

При дослідженні проблеми енергоефективності необхідно оцінити можливі обсяги енергозбереження, визначити економічно доцільний потенціал технологічного енергозбереження та пріоритетність енергозберігаючих заходів на засадах системного аналізу взаємопов'язаних галузей економіки та галузей паливно-енергетичного комплексу. Під час цього аналізу слід врахувати низку чинників, зокрема:

1. Скорочення ступеня забезпеченості органічним паливом власного виробництва, що зумовлює великі обсяги їх імпорту.

2. Основні напрями розвитку галузей економіки країни: структурні зрушення, соціальну переорієнтацію, інтенсифікацію виробництва, досягнення раціональних рівнів електрифікації виробництва, а також її вплив на поліпшення умов праці та побуту, створення і впровадження безвідходних технологій та виробництв, скорочення матеріалоємності продукції, зменшення техногенного тиску на довкілля, підвищення рівня життя населення та забезпечення його послугами, які відповідали б європейським стандартам.

3. Складний характер аналізу взаємозв'язків між системами галузей економіки та галузей паливно-енергетичного комплексу визначає необхідність виявлення та оцінки великої кількості показників, які формують вихідну інформаційну базу для визначення обсягів економічно доцільного потенціалу технологічного енергозбереження та напрямів його реалізації. З сукупності показників розвитку галузей економіки та галузей паливно-енергетичного комплексу необхідно ви-

дбрати та дослідити ті, що прямо або опосередковано впливають на енергозбереження.

4. Взаємозамінність різних видів палива та енергії, що потребує комплексного аналізу їх використання з урахуванням вибору найбільш ефективних енергоносіїв.

Дослідження проблеми енергозбереження економіки країни з позицій системного підходу визначає виділення чотирьох ієрархічних рівнів її вирішення:

- рівень країни (регіону), на якому прийматимуться всі рішення з реалізації економічно доцільного потенціалу технологічного енергозбереження в економіці країни;

- галузевий рівень, на якому визначається енергозбереження галузей економіки відповідно до особливостей їх функціонування;

- низку підгалузевих рівнів, сукупність яких визначає специфіку формування галузевого потенціалу енергозбереження;

- рівень енергетичних виробництв (технологій), на яких досліджується вплив реалізації енергозберігаючих заходів на обсяги енергозбереження.

Вихідна статистична інформація щодо споживання паливно-енергетичних ресурсів за роки ретроспективного періоду зумовлює різні підходи до розробки положень з оцінювання потенціалу енергозбереження у виробничих галузях економіки, житлово-комунальній та соціальній сферах.

Статистичний облік споживання паливно-енергетичних ресурсів у виробничих галузях проводиться як на галузевому рівні, так і на рівні технологічних процесів виробництва продукції та послуг. У сфері житлового і комунально-побутового обслуговування населення облік енергоспоживання проводиться лише по окремих галузях комунального і соціального секторів та в цілому по житловому сектору. Останній серед галузей економіки та промисловості у структурі споживання паливних ресурсів посідає п'яте місце (після чорної металургії, електроенергетики, паливної промисловості, хімічної та нафтохімічної про-

мисловості), електроенергії – друге місце (після чорної металургії), теплоенергії – перше місце.

Розробка методичних засад визначення економічно доцільного потенціалу технологічного енергозбереження спрямована на проведення досліджень з оцінки енергозбереження на рівнях країни, галузей, енергоємних виробництв (виробничих процесів).

Вона ґрунтується на таких положеннях:

– системному аналізі напрямів та особливостей формування економічно доцільного потенціалу технологічного енергозбереження та його структури;

– визначенні ступеня ефективності енерговикористання та обсягів впровадження енергозберігаючих заходів на всіх рівнях управління економікою країни;

– врахуванні комплексу соціально-економічних аспектів функціонування економіки, її виробничої сфери, а також житлово-комунальної та соціальної сфер;

– визначенні та оцінці можливості взаємозамінності різних видів енергоносіїв в енергетичних процесах;

– розробці системи економіко-математичних моделей як інструмента реалізації положень даної методики;

– створенні системи показників, які характеризують витрати палива й енергії у споживачів, та алгоритмів їх визначення з метою підвищення адекватності отриманих результатів прогнозування економічно доцільного потенціалу технологічного енергозбереження на рівнях країни, галузей, енергоємних виробництв.

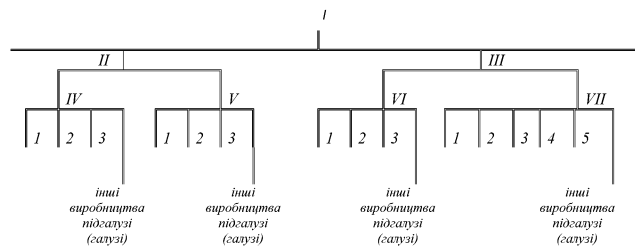
При побудові системи економіко-математичних моделей було визначено галузі та підгалузі економіки і створено схему структури виробництв кожної з них, де окрема вершина відповідає конкретному виробництву продукту або послуг. Кожну вершину, що відповідає рівням ієрархії завдань енергозбереження, характеризує набір показників (обсяги споживання енергоресурсів різних видів, їх питомі витрати на виробництво продукції та послуг, ретроспективні, заплановані або прогнозні обсяги виробництва продукції тощо). Також для кожної вершини необхідно сформулювати певний набір енергозберігаючих заходів та чинників, що впливають на підвищення рівнів енергоспоживання.

Між показниками окремої вершини та показниками різних вершин існують детерміновані та стохастичні залежності. Виявлені залежності є основою імітаційної моделі, котра дозволяє розрахувати значення одних показників за різними

наборами інших. Імітаційний аналіз, що полягає в проведенні багаторазових обчислювальних експериментів, прорахунків різних варіантів впровадження енергозберігаючих заходів у окремі виробництва галузей чи підгалузей економіки (які формуються спеціалістами по галузях відповідно до неформальних експертних припущень про перспективні структурні тенденції у виробництві) дозволяє обрати найкращі варіанти.

Розрахунки за прийнятою ієрархічною структурою виробництв проводяться "знизу-вгору" ітераційно для кожного ієрархічного рівня, починаючи з найнижчого. Вихідна інформація для розрахунків розподіляється на два блоки – інформація, що характеризує енергоспоживаючу систему, та інформація, котра описує енергозберігаючі заходи.

При дослідженні проблеми енергоефективності у виробничій сфері економіки її енергоспоживання розглядається як єдина система. Її представлено як деревовидну ієрархічну структуру (рис. 1), кожній вершині якої відповідає конкретна енергоспоживаюча підсистема.



Вершини структури:

Рівень країни (регіону)

Галузевий рівень

Підгалузевий рівень

Рівень виробництв (технологій)

Виробнича сфера економіки (I).

Галузі економіки (II, III та інші).

Підгалузі економіки (IV, V, VI, VII та інші).

Енергоємні виробництва продукції та послуг з визначеними питомими і загальними витратами енергоресурсів (1, 2, 3 тощо) та інші виробництва підгалузі (галузі)

Рис. 1. Структура енергоспоживання та енергозбереження виробничої сфери економіки

Для визначення потенціалів технологічного енергозбереження за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів на рівні країни, галузей, підгалузей, енергоємних виробництв (технологій) розроблено імітаційну економіко-математичну модель, яка дозволить оцінювати різні варіанти реалізації заходів енергозбереження.

Надалі в тексті та формулах застосовуватимуться такі позначення.

Енергоспоживаюча система

t – індекс періоду часу (розрахунковий рік),
 $t \in T$; T – множина часових періодів;

0 – базовий період часу (базовий рік);

j – індекс виду енергоресурсу, $j \in J$; J – множина паливно-енергетичних ресурсів;

k – індекс вершини структури економіки, тобто енергоспоживаючої системи, $k \in K1$ (рівень країни в цілому); $k'' \in K2$ (множина індексів галузей та підгалузей); $k''' \in K3$ (множина індексів виробництв);

V_k^0 – випуск товарів і послуг у k -ій енергоспоживаючій системі в базовому році (для $k' \in K1$ та $k'' \in K2$ у вартісних показниках, для $k''' \in K3$ – у натуральних показниках);

V_k^t – випуск товарів і послуг в k -ій галузі чи підгалузі економіки в t -ому році для $k' \in K1$ та $k'' \in K2$ у вартісних показниках, для $k \in K3$ – у натуральних показниках);

W_{jk}^0 – витрати j -ого виду енергоресурсу на випуск товарів і послуг в k -ій енергоспоживаючій системі у базовому році;

w_{jk}^0 – питома витрати j -ого виду енергоресурсу на випуск товарів і послуг у k -ій енергоспоживаючій системі в базовому році;

W_{jk}^t – витрати j -ого виду енергоресурсу на випуск товарів і послуг в k -ій енергоспоживаючій системі у t -ому році (за питомими витратами енергоресурсів у базовому році):

$$W_{jk}^t = V_k^t \cdot w_{jk}^0; \quad (1)$$

$w_{jk}^{\text{теор}}$ – теоретична питома витрата j -ого виду енергоресурсу на обладнання, яке використовується в k -ому виробництві ($k''' \in K3$) у t -ому році;

p_j^t – коефіцієнт перерахунку j -ого виду енергоресурсу в умовне паливо в t -ому році;

a_{jk}^t – частка інших виробництв з витратами сектору j -ого виду енергоресурсу в k -ій енергоспоживаючій системі в t -ому році;

b_{jk}^t – частка енергозбереження в інших виробництвах галузі (підгалузі) з витратами j -ого виду енергоресурсу в k -ій енергоспоживаючій системі в t -ому році;

$\Delta W_{jk}^t(\max)$ – максимальний обсяг заощадження j -ого виду енергоресурсу в k -ій енергоспоживаючій системі в t -ому році:

$$\Delta W_{jk}^t(\max) = V_k^t(1 - a_{jk}^t) w_{jk}^0 - \quad (2)$$

(для $k' \in K1$; $k'' \in K2$);

$$\Delta W_{jk}^t(\max) = V_k^t(1 - a_{jk}^t) (w_{jk}^0 - w_{jk}^{\text{теор}}) - \quad (3)$$

(для $k''' \in K3$)

Енергозберігаючі заходи

i – індекс енергозберігаючого заходу, $i' \in I1$ (множина індексів міжгалузевих енергозберігаючих заходів, $i'' \in I2$ (множина індексів галузевих енергозберігаючих заходів), $i''' \in I3$ (множина індексів енергозберігаючих заходів на рівні виробництв));

q_{ij}^t – частка змінення споживання j -ого виду енергоресурсу в k -ій енергоспоживаючій системі внаслідок впровадження i -ого енергозберігаючого заходу в t -ому році, $0 \geq q_{ij}^t \leq 1$ (економія), $q_{ij}^t \leq 0$ (перевитрати j -ого виду енергоресурсу при заміщенні);

r_i^t – коефіцієнт обсягу впровадження i -ого енергозберігаючого заходу в t -ому році, $0 \geq r_i^t \leq 1$;

ΔW_{ij}^t – заощадження j -ого виду енергоресурсу при впровадженні i -ого енергозберігаючого заходу в t -ому році (ця величина може задаватися або розраховуватися, а також може бути від'ємною при перевитратах j -ого виду енергоресурсу внаслідок заміщення ним іншого);

λ_i^t – ознака впровадження i -ого енергозберігаючого заходу в t -ому році, $\lambda_i^t = 0$; $\lambda_i^t = 1$.

Алгоритм вибору найбільш доцільного набору енергозберігаючих заходів і розрахунку обсягів енергозбереження, а також перспективних питомих витрат енергоресурсів складається з наведених нижче етапів.

Потенціал технологічного енергозбереження на рівні виробництва, технології ($k''' \in K3$). Етап визначення технологічного потенціалу енергозбереження починається з формування показників, що характеризують енергоспоживаючу систему.

Етап експертного відбору енергозберігаючих заходів. По кожному з відібраних заходів розраховується $\Delta W_{j_i'''}^t$ – економія (перевитрати) по всіх видах енергоресурсів:

$$\Delta W_{j_i'''}^t = W_{j_k'''}^t \cdot r_i^t \cdot q_{j_i'''}^t. \quad (4)$$

Етап вибору найбільш доцільного набору енергозберігаючих заходів на рівні виробництва, продукції, технології ($k''' \in K3$). Критерієм вирішення задачі є досягнення максимуму сумарної економії всіх видів енергоресурсів – $\Delta W_{k'''}^t$ – у k -ій енергоспоживаючій системі в t -ому році (з визначеними питомими та загальними витратами енергоресурсів):

$$\Delta W_{k'''}^t = \sum_{j=1}^J \cdot \sum_{i'''=1}^{I3} \cdot \Delta W_{j_i'''}^t \cdot p_j^t \cdot \lambda_{i'''}^t \rightarrow \max; \quad (5)$$

Враховуються обмеження за максимальним обсягом заощадження j -ого виду енергоресурсу

су у k -ій енергоспоживаючій системі в t -ому році:

$$\sum_{i''=1}^{I_3} \Delta W_{ji''}^t \cdot \lambda_{i''}^t \leq \Delta W_{jk''}^t \text{ (max);} \quad (6)$$

Сума обсягів заощадження j -ого виду енергоресурсу у k -ій енергоспоживаючій системі з визначеними питомими та загальними витратами цього енергоресурсу дає лише часткове енергозбереження. Тому в обсязі сумарного енергозбереження j -ого виду енергоресурсу – $\Delta W_{jk''}^t$ – необхідно враховувати заощадження j -ого виду енергоресурсу в інших виробництвах галузі (підгалузі) – $\Delta W_{jk''}^t \text{ (інші)}$:

$$\Delta W_{jk''}^t \text{ (інші)} = \Delta W_{jk''}^t (1 + a_{jk''}^t) \cdot b_{jk''}^t; \quad (7)$$

$$\Delta W_{jk}^t = (\sum_{i''=1}^{I_3} \Delta W_{ji''}^t \cdot \lambda_{i''}^t) + \Delta W_{jk''}^t \text{ (інші)}; \quad (8)$$

Потенціал технологічного енергозаощадження на рівні галузі (підгалузі) економіки ($k'' \in K2$) визначається як сума енергозбереження у K ($k''' \in K3$) її виробництвах (продукція, технологія) та енергозбереження за рахунок впровадження найбільш доцільного набору галузевих енергозберігаючих заходів (розраховується згідно з формулами (4-6) з використанням набору галузевих енергозберігаючих заходів ($i'' \in I2$)):

$$\Delta W_{jk''}^t = \sum_{k'''=1}^{K3} \Delta W_{jk''}^t + \sum_{i''=1}^{I2} \Delta W_{ji''}^t; \quad (9)$$

Потенціал технологічного енергозбереження на рівні країни визначається як сума енергозбереження у K ($k'' \in K2$) її галузях (підгалузях) та енергозбереження при впровадженні найбільш доцільного набору міжгалузевих енергозберігаючих заходів – $i' \in I1$:

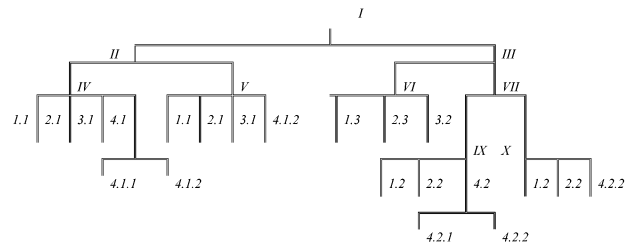
$$\Delta W_{jk'}^t = \sum_{k''=1}^{K2} \Delta W_{jk''}^t + \sum_{i'=1}^{I1} \Delta W_{ji'}^t; \quad (10)$$

Великі обсяги споживання енергоресурсів у житлово-комунальній та соціальній сферах, а також відсутність обліку їх використання зумовлюють інший підхід до оцінювання потенціалу енергозбереження у цій сфері економіки, ніж до визначення енергозбереження виробничих галузей.

Масовість і різноманітність побутових енергоспоживачів визначили необхідність об'єднати їх за

напрямами використання паливно-енергетичних ресурсів (рівень енергетичних процесів) на відміну від підходу до виробничих галузей, в яких при дослідженні рівнів енергозбереження розглядаються конкретні виробництва продукції та послуг.

При дослідженні проблеми енергоефективності у сферах житлово-комунального та соціального обслуговування населення енергоспоживання розглядається як єдина система. Її представлено як деревовидну ієрархічну структуру (рис. 2), кожній вершині якої відповідає конкретна підсистема.



Вершини структури:

<p><i>Рівень країни (регіону)</i></p> <p><i>Галузевий рівень</i></p> <p><i>Підгалузевий рівень</i></p> <p><i>Рівень енергетичних процесів</i></p>	<p><i>Житлово-комунальна та соціальна сфера (I).</i></p> <p><i>Житловий сектор (II) міст та селищ міського типу (IV) і населених пунктів сільської місцевості (V). Комунальний та соціальний сектор (III).</i></p> <p><i>Комунальне господарство (VI), міський (IX) та сільський (X) громадський сектори (VII).</i></p> <p><i>Освітлювальні процеси (1): освітлення житлових (1.1) та адміністративних (1.2) приміщень, зовнішнє освітлення міст (1.3).</i></p> <p><i>Електропривід (2) побутових приладів домашнього вжитку (2.1), установок та обладнання громадського сектору (2.2), інших комунальних споживачів (2.3).</i></p> <p><i>Високотемпературні (3) процеси: приготування їжі (3.1) та комунальні котельні теплопродуктивністю до 20 Гкал/год (3.2).</i></p> <p><i>Низькотемпературні процеси (4): централізоване (4.1.1, 4.2.1) і децентралізоване (4.1.2, 4.2.2) тепlopостачання житлових (4.1) та адміністративних (4.2) будинків.</i></p>
---	--

Рис. 2. Структура енергоспоживання та енергозбереження житлово-комунальної та соціальної сфер економіки.

На галузевому рівні структури виділяються дві великі енергоспоживаючі підсистеми: жит-

ловий сектор і комунальний та соціальний сектори.

Енергоспоживачі житлово-комунальної та соціальної сфер на нижчому рівні (енергетичних процесів) об'єднані за напрямками енерговикористання у чотири групи: освітлювальні процеси, електропривід побутових пристроїв, високо- та низькотемпературні процеси (температура відповідно у процесах понад 400°C та до 100°C).

Такий підхід дозволить визначити заощадження енергоресурсів за напрямками їх використання:

– економія електроенергії – ΔW_{ee}^t :

$$\Delta W_{ee}^t = \Delta W_{1ee}^t + \Delta W_{2ee}^t + \Delta W_{3ee}^t + \Delta W_{4ee}^t, \quad (11)$$

– економія паливних ресурсів – $\Delta W_{кпп}^t$:

$$\Delta W_{кпп}^t = \Delta W_{3кпп}^t + \Delta W_{4кпп}^t, \quad (12)$$

– економія теплоенергії – $\Delta W_{те}^t$:

$$\Delta W_{те}^t = \Delta W_{4те}^t, \quad (13)$$

де ΔW_{1ee}^t – економія електроенергії в освітлювальних процесах у t -ому році; ΔW_{2ee}^t – економія електроенергії в електроприводі побутових пристроїв та обладнання у t -ому році; $\Delta W_{3ee}^t, \Delta W_{3кпп}^t$ – економія відповідно електроенергії та котельно-пічного палива у високотемпературних процесах у t -ому році; $\Delta W_{4ee}^t, \Delta W_{4кпп}^t, \Delta W_{4те}^t$ – економія відповідно електроенергії, котельно-пічного палива та теплоенергії у низькотемпературних процесах у t -ому році.

Для прогнозування рівнів енергозбереження розроблено економіко-математичну модель, яка дозволяє проводити поетапну ітерацію показників за вершинами наведеної вище структури. Значення агрегованого показника у вершині вищого рівня є сумою значень показників підпорядкованих їй вершин нижчого рівня.

Набір енергозберігаючих заходів і розмір економії j -ого виду енергоресурсу в k -ій вершині енергоспоживання – ΔW_{kj}^t – визначаються з вирішення наступної задачі, критерієм якої є максимум економії j -ого виду енергоресурсу:

$$\Delta W_{kj}^t = \Pi_k^t (\omega_{kj}^0 - \omega_{kj}^t) \rightarrow \max. \quad (14)$$

При цьому враховуються такі обмеження:

– обмеження за групою взаємозамінних заходів:

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i^t = 1, 0; \quad (15)$$

– обмеження за теоретично можливою питомою витратою j -ого виду енергоресурсу:

$$w_{kj}^t = w_{kj}^0 (1 - \sum_{i=1}^I q_{ij}^t \cdot \lambda_{ik}^t \cdot r_i^t) \geq w_{kj}^{\text{теор}}. \quad (16)$$

Крім того, по енергетичних процесах враховуються обмеження:

– в освітлювальних процесах – за насиченістю k -ого споживача m -им видом освітлювальної техніки в t -ому році – q_{mk}^t :

$$\sum_{m=1}^M q_{mk}^t = 1; \quad (17)$$

– у високотемпературних процесах – за структурою обладнання, яке використовує j -ий вид енергоресурсу в k -ого споживача в t -ому році – f_{jk}^t :

$$\sum_{j=1}^J f_{jk}^t = 1; \quad (18)$$

– у низькотемпературних процесах – за структурою енергопостачання k -ого споживача j -им видом енергоресурсу в t -ому році – d_{jk}^t :

$$\sum_{j=1}^J d_{jk}^t = 1. \quad (19)$$

Економія j -ого виду енергоресурсу в житлово-комунальній та соціальній сферах – ΔW_j^t – визначається як сума економії j -ого виду енергоресурсу за всіма вершинами структури енергоспоживання, в яких використовується j -ий вид енергоресурсу:

$$\Delta W_j^t = \sum_{k=1}^K \Delta W_{kj}^t. \quad (20)$$