

## ОЦІНКА ВИХОДУ ТЕПЛОВИХ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ДЛЯ РІЗНИХ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

*І.В. Феофілов, старший викладач*

*На підставі запропонованого підходу до визначення ТВЕР виконано оцінку виходу ТВЕР для різних об'єктів енергетичного господарства України на прикладі 2000 р.*

***Первинні енергетичні ресурси (ПЕР), теплові вторинні енергетичні ресурси (ТВЕР), вихід ТВЕР.***

Одним з істотних резервів технічного енергозберігаючого потенціалу національного господарства України є використання ТВЕР, які неминуче виникають в різних технологічних процесах. Для України, в умовах дефіциту власних ПЕР, оцінка виходу ТВЕР стає стратегічно важливим завданням. У другій частині статті на основі запропонованого нового підходу до визначення ТВЕР було виділено групи технологічних об'єктів в залежності від напрямку перетворення ПЕР, визначено формули для розрахунку виходу ТВЕР для цих груп об'єктів і зроблена оцінка виходу ТВЕР для різних об'єктів енергетичного господарства України на прикладі 2000 р.

**Метою роботи** – отримання більш достовірних даних по кількості ТВЕР, що утворюються в різних об'єктах енергетичного господарства України.

**Методика дослідження** полягає у визначенні ТВЕР за допомогою запропонованого підходу на основі поділу технологічних об'єктів на характерні групи і використання статистичних даних по кількості і якості ПЕР, що споживаються кожною групою за розглянутий проміжок часу.

В роботі, на підставі запропонованого підходу [1], виконано оцінку виходу теплових вторинних енергоресурсів (ТВЕР) для різних енергетичних об'єктів, що споживають первинні енергоресурси (ПЕР), як для окремих однотипних груп, так і в цілому по Україні на прикладі 2000 року. Оцінка виходу ТВЕР проводилась на основі статистичних даних про використання ПЕР і виробку корисного технологічного продукту об'єктами за розглянутий проміжок часу. В залежності від напрямку перетворення теплової енергії, що отримують від спалювання палива, були виділені енергогенеруючі і неенергогенеруючі об'єкти.

До енергогенеруючих були віднесені такі об'єкти, в яких хімічна енергія палива перетворюється або напряму в теплову енергію, або через теплове перетворення в інший вид енергії. Корисним технологічним продуктом в таких енергоустановках є той або інший вид виробленої енергії і, отже, коефіцієнт виробки корисного продукту ( $\eta_{ВКП}$ ) можна представити як відношення виробленої енергії до хімічно зв'язаного тепла ПЕР, що витрачається на його отримання. В якості енергогенеруючих об'єктів, що використовують ПЕР, було розглянуто:

1. **Котельні установки**, як теплогенеруючі об'єкти. В цьому випадку коефіцієнт виробки корисного продукту  $\eta_{ВКП}$  представляє собою тепловий ККД ( $\eta_m$ ) технологічного агрегату. Для них характерно:  $E_{ел} = E_m = Q_{рез} = 0$ ;  $I_q \neq 0$ ;  $I_q/Q_x = \eta_m = \eta_{ВКП}$ . Вихід ТВЕР дорівнює:

$$Q_{ТВЭР} = Q_x \left( 1 - \frac{I_q}{Q_x} - \frac{Q_{нв}}{Q_x} \right) = Q_x \left( 1 - \eta_{ВКП} - \frac{Q_{нв}}{Q_x} \right). \quad (1)$$

2. **Теплові та атомні електростанції** (ТЕС і АЕС), як електрогенеруючі об'єкти. В цьому випадку  $\eta_{ВКП}$  дорівнює електричному ККД ( $\eta_{ел}$ ) технологічного агрегату. Характерно:  $E_m = I_q = Q_{рез} = 0$ ;  $E_{ел} \neq 0$ ;  $E_{ел}/Q_x = \eta_{ел} = \eta_{ВКП}$ . Вихід ТВЕР складає:

$$Q_{ТВЭР} = Q_x \left( 1 - \frac{E_{ел}}{Q_x} - \frac{Q_{нв}}{Q_x} \right) = Q_x \left( 1 - \eta_{ВКП} - \frac{Q_{нв}}{Q_x} \right). \quad (2)$$

3. **Теплоелектроцентралі** (ТЕЦ), як енергетичні об'єкти, в яких реалізується одночасна виробка електричної і теплової енергії. Для цих об'єктів  $\eta_{ВКП}$  представляє собою суму електричного і теплового ККД технологічного агрегату.  $E_m = Q_{рез} = 0$ ;  $E_{ел} \neq 0$ ;  $I_q \neq 0$ ;  $E_{ел}/Q_x + I_q/Q_x = \eta_{ел} + \eta_m = \eta_{ВКП}$ .

$$Q_{ТВЭР} = Q_x \left( 1 - \frac{E_{ел}}{Q_x} - \frac{I_q}{Q_x} - \frac{Q_{нв}}{Q_x} \right) = Q_x \left( 1 - \eta_{ВКП} - \frac{Q_{нв}}{Q_x} \right). \quad (3)$$

4. **Силові установки** – наприклад, газоперекачуючі агрегати (ГПА) газотранспортної системи України, на яких отримують такий вид перетвореної енергії, як механічна енергія. Відповідно,  $\eta_{ВКП}$  буде дорівнювати механічному ККД силової установки. Для таких об'єктів характерно:  $E_{ел} = I_q = Q_{рез} = 0$ ;  $E_m \neq 0$ ;  $E_m/Q_x = \eta_m = \eta_{ВКП}$ . Вихід ТВЕР:

$$Q_{ТВЭР} = Q_x \left( 1 - \frac{E_m}{Q_x} - \frac{Q_{нв}}{Q_x} \right) = Q_x \left( 1 - \eta_{ВКП} - \frac{Q_{нв}}{Q_x} \right). \quad (4)$$

Неенергогенеруючі об'єкти, що споживають ПЕР, представляють собою промислові печі, сушили, дистилятори, випарні апарати і тому подібні технологічні агрегати, в яких хімічна енергія первинного палива перетворюється в теплову енергію і використовується для отримання технологічного продукту з новими властивостями. Метою використання ПЕР в таких об'єктах є створення температурних умов для здійснення необхідних хімічних і структурних перетворень. При цьому тепло готового, проміжного і побічного продукту, а також тепло технологічних відходів може бути використано в якості ТВЕР. Різні існуючі і можливі схеми утилізації цих ТВЕР відображено в [2]. Хімічні і структурні перетворення, що проходять в технологічному агрегаті, проявляються у вигляді екзотермічних і ендотермічних реакцій [3]. Тому сумарний тепловий ефект екзотермічних і ендотермічних реакцій можна розглядати як корисний технологічний продукт, на отримання якого використовується хімічно зв'язане тепло підведеного палива. І, відповідно, під  $\eta_{ВКП}$  таких технологічних агрегатів будемо розуміти відношення цього корисного технологічного продукту до хімічно зв'язаної

теплоти ПЕР, яка витрачена на здійснення хімічних і структурних перетворень, що відбуваються в технологічному агрегаті. Для такого типу об'єктів можна записати:  $E_{ел} = E_m = I_q = 0$ ;  $Q_{рез} \neq 0$ ;  $Q_{рез}/Q_x = \eta_m = \eta_{ВКП}$ .

$$Q_{ТВЕР} = Q_x \left( 1 - \frac{E_{рез}}{Q_x} - \frac{Q_{не}}{Q_x} \right) = Q_x \left( 1 - \eta_{ВКП} - \frac{Q_{не}}{Q_x} \right). \quad (5)$$

Треба відмітити, що величина  $\eta_{ВКП}$  для таких технологічних агрегатів може приймати як додатні, так і від'ємні значення. У випадках переваги ефектів екзотермічних реакцій над ендотермічними величина  $\eta_{ВКП}$  приймає від'ємні значення. Така ситуація можлива коли хімічна енергія кінцевих продуктів і відходів, що отримані внаслідок хімічних перетворень, стає меншою хімічної енергії первинної сировини. При цьому теплова енергія, яка виділяється при хімічних перетворюваннях сировини, додається до теплової енергії отриманої від спалювання палива. В результаті чого сума  $Q_{ТВЕР}$  і  $Q_{не}$  може перевищувати  $Q_x$ . Для неенергогенеруючих об'єктів така, здавалося б, парадоксальна ситуація досить часто зустрічається. В цьому можна переконатися порівнявши вхідні і вихідні частини теплового балансу різних технологічних процесів [3].

Із вище наведеного можна бачити, що вираз для виходу ТВЕР однаковий як для енергогенеруючих, так і для неенергогенеруючих технологічних агрегатів. Таким чином, для будь-яких енергетичних об'єктів, що споживають ПЕР, вихід ТВЕР визначається, з одного боку, величиною  $\eta_{ВКП}$  технологічного агрегату (що представляє собою відношення корисного технологічного продукту до витраченого на його здобуття тепла ПЕР за розглянутий проміжок часу) і кількістю підведеного в технологічний агрегат тепла за той же проміжок часу (тобто, кількістю і якістю використаного палива), а з другого боку, – величиною неминучих втрат тепла, які визначаються досягнутим рівнем технології на розглянутий проміжок часу. При розрахунках виходу ТВЕР величина неминучих втрат повинна обиратись мінімально-можливою, так як мінімальне її значення визначає максимальну ефективність використання ПЕР для отримання корисного технологічного продукту. Тому, величина неминучих втрат визначається найвищими досягненнями в області даної техніки і технології на розглянутий проміжок часу. Наприклад, на сьогоднішній день досягнуто ККД котлів більше 95% за вищою теплою згоряння [4]. Таким чином, величину неминучих втрат при визначенні виходу ТВЕР для котельних агрегатів можна прийняти такою, що не перевищує 5% за вищою теплою згоряння.

Для групи однотипних  $N$  технологічних агрегатів можна записати:

$$Q_{ТВЕР} = \sum_{i=1}^N B_i Q^P \left( 1 - \eta_{ВКП} - \frac{Q_{не i}}{B_i Q^P} \right), \quad (6)$$

або:

$$Q_{ТВЕР} = Q^p \left( \sum_{i=1}^N B_i - \sum_{i=1}^N B_i \eta_{ВКП i} - \frac{1}{Q^p} \sum_{i=1}^N Q_{нв i} \right). \quad (7)$$

З урахуванням того що:

1)  $\sum_{i=1}^N B_i = B$  – сумарні витрати палива на N агрегатах.

2)  $\frac{\sum_{i=1}^N B_i \eta_{ВКП i}}{B} = \eta_{ВКП}$  – середнє значення ККД для N агрегатів.

Причому:

а) для теплогенеруючих об'єктів:

$$\eta_{ВКП} = \frac{\sum_{i=1}^N B_i \frac{I_{qi}}{Q_{xi}}}{B} = \frac{\sum_{i=1}^N I_{qi}}{BQ^p} = \frac{I_q}{Q_x}.$$

б) для електрогенеруючих об'єктів:

$$\eta_{ВКП} = \frac{\sum_{i=1}^N B_i \frac{E_{eli}}{Q_{xi}}}{B} = \frac{\sum_{i=1}^N E_{eli}}{BQ^p} = \frac{E_{el}}{Q_x}.$$

в) для об'єктів, що виробляють одночасно електричну і теплову енергію:

$$\eta_{ВКП} = \frac{\sum_{i=1}^N B_i \frac{(E_{eli} + I_{qi})}{Q_{xi}}}{B} = \frac{\sum_{i=1}^N (E_{eli} + I_{qi})}{BQ^p} = \frac{E_{el} + I_q}{Q_x}.$$

г) для об'єктів, що генерують механічну енергію:

$$\eta_{ВКП} = \frac{\sum_{i=1}^N B_i \frac{E_{mi}}{Q_{xi}}}{B} = \frac{\sum_{i=1}^N E_{mi}}{BQ^p} = \frac{E_m}{Q_x}.$$

е) для об'єктів, що не генерують ніяких видів енергії:

$$\eta_{ВКП} = \frac{\sum_{i=1}^N B_i \frac{Q_{рез i}}{Q_{xi}}}{B} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{рез i}}{BQ^p} = \frac{Q_{рез}}{Q_x}.$$

Що стосується неенергогенеруючих об'єктів, то потрібно відмітити наступне. Ці об'єкти можуть мати значення  $Q_{рез i}$  як більше, так і менше нуля в залежності від того який тип перетворень (екзотермічні чи ендотермічні) переважає. При визначенні виходу ТВЕР для великої кількості технологічних агрегатів даного типу відхилення  $Q_{рез i}$  від нуля, в ту або іншу сторону, частково компенсують один одного. Крім того, величина  $Q_{рез i}$  для кожного об'єкту

даного типу зазвичай значно менше підведеного тепла  $Q_{x i}$  і, відповідно:  $Q_{рез} \ll Q_x$ . Враховуючи вищенаведене при визначенні виходу ТВЕР для значної кількості неенергогенеруючих об'єктів (наприклад, по країні взагалі) можна з великою ступеню ймовірності прийняти:  $\overline{\eta_{ВКП}} \approx 0$ .

$$3) \quad \frac{\sum_{i=1}^N B_i}{N} = \overline{B} \text{ – середнє значення витрат палива для } N \text{ агрегатів.}$$

$$4) \quad \frac{\sum_{i=1}^N Q_{нв i}}{N} = \overline{Q_{нв}} \text{ – середнє значення неминучих втрат для } N \text{ агрегатів.}$$

Вираз виходу ТВЕР для групи однотипних технологічних агрегатів набуває вигляду:

$$Q_{ТВЕР} = B Q^p \left( 1 - \overline{\eta_{ВКП}} - \frac{\overline{Q_{нв}}}{B Q^p} \right). \quad (8)$$

Таким чином, вихід ТВЕР для групи однотипних технологічних агрегатів можна визначити аналогічно виходу ТВЕР для одного технологічного агрегату з тією лише різницею, що для розрахунків необхідно використовувати середні значення неминучих витрат і ККД виробки корисного продукту для даної групи технологічних агрегатів, а також сумарні витрати палива в цій групі за певний проміжок часу. Формула (8) – універсальна, так як дозволяє оцінити вихід ТВЕР як для одного технологічного агрегату, так і для групи однотипних технологічних агрегатів.

На основі запропонованого підходу до визначення ТВЕР була проведена оцінка виходу ТВЕР для технологічних агрегатів, що використовують ПЕР, в масштабах всієї країни. Вона включає в себе такі основні етапи:

1. Розділення всіх енергетичних об'єктів на типові групи, в яких реалізуються різні напрямки перетворення ПЕР, – групи енергогенеруючих об'єктів, в яких виробляють теплову, механічну, електричну енергії, реалізують когенераційні технології, а також групи неенергогенеруючих об'єктів, в яких теплова енергія, що генерується в результаті прямого використання ПЕР, направляється на теплову обробку матеріалів з метою зміни їх хімічних і структурних властивостей.

2. Визначення для енергетичного обладнання кожної групи виходячи з наявних статистичних даних про загальні по країні об'єми вжитку ПЕР і об'ємах отриманого корисного продукту в межах окремої групи за певний проміжок часу (наприклад, рік).

3. Визначення питомих значень неминучих енергетичних втрат для кожної розглянутої групи на основі використання даних про енергетичні відходи найбільш ефективних зразків обладнання кожної групи на розглянутий проміжок часу.

4. Розрахунки виходу ТВЕР для виділених груп об'єктів на основі отриманих даних, використовуючи статистичні дані по кількості і якості ПЕР, що використані кожною групою за розглянутий проміжок часу.

5. Оцінка загального виходу ТВЕР в цілому по країні за аналізований проміжок часу шляхом підсумовування об'ємів ТВЕР, отриманих для окремих груп енергетичного обладнання.

Результати дослідів по визначенню виходу ТВЕР для різних груп технологічних агрегатів, що використовують ПЕР, стосовно енергетичного господарства України 2000 року відображено в таблиці. Оцінка виходу ТВЕР проводилась за нижчою теплоотою згоряння.

**Вихід ТВЕР для різних об'єктів енергетичного господарства України на прикладі 2000 року.**

		Напрямок перетворення ПЕР	Групи енергетичних об'єктів	Кількість використаних ПЕР, млн. т у. п.	Вихід ТВЕР за нижчою теплоотою згоряння палива, млн. ГДж		
Енергетичне господарство України	Енергогенеруючі об'єкти	Вироблення теплової енергії	Котельні установки	39,24	218,67	2 526,9	
		Вироблення механічної енергії	ГПА	ГТД	5,13		107,97
				ДВЗ	1,83		30,46
		Вироблення електроенергії	АЕС		28,9		487,13
	ТЕС		26,82	458,6			
		Сумісне вироблення електричної і теплової енергії	ТЕЦ		12,67		70,56
Неенергогенеруючі об'єкти	Зміна хімічних і структурних властивостей технологічного продукту		Теплові апарати (печі, сушилки, дистилятори, випарні апарати і таке інше)	41,61	1 153,5		

В таблиці не наведено вихід ТВЕР для енергетичних об'єктів автотранспорту і житлового сектору через властиві їм особливості – малу потужність одиночних агрегатів і індивідуальний режим їх роботи. З наведеної таблиці видно, що сумарний вихід ТВЕР в енергетичному господарстві України у 2000 році склав більше 2,5 млрд. ГДж – це більше кількості тепла, спожитого в країні в тому ж році (близько 850 млн. ГДж [5]) приблизно у 3 рази. Величина виходу ТВЕР в неенергогенеруючих агрегатах склала у 2000 році близько 1,15 млрд. ГДж. Використання тільки цих ТВЕР дозволило б повністю задовольнити потреби України в тепловій енергії і виключити малоефективне спалювання палива в котельних установках для отримання низькопотенційного тепла. Внаслідок чого економія палива могла скласти близько 40 млн. т у. п., причому

в більшій своїй частині природного газу. Крім того, неенергогенеруючі об'єкти характеризуються, в більшій своїй частині, наявністю високопотенційних ТВЕР, що дає можливість реалізувати більш ефективні напрямки утилізації ТВЕР, ніж теплове. Такими напрямками використання ТВЕР можуть бути: електрогенеруюче (використання ТВЕР для отримання електроенергії в газових або парогазових турбоагрегатах) або комбіноване (перетворення ТВЕР для вироблення в утилізаційних ТЕЦ по теплофікаційному циклу електричної і теплової енергії). Вихід ТВЕР на енергогенеруючих об'єктах України у 2000 році склав близько 1,37 млрд. ГДж. Більша їх частина – понад 0,9 млрд. ГДж – утворюється на електрогенеруючих об'єктах (ТЕС і АЕС). З них близько 0,8 млрд. ГДж – тепло циркуляційної води, що має доволі низький температурний потенціал (не більше 35°C [6]), внаслідок чого безпосередня утилізація тепла ТВЕР ускладнена. Однак у певних умовах ці ТВЕР можуть бути ефективно використані, внаслідок значної їх кількості, в якості джерела тепла для теплонасосного теплопостачання [7]. Вихід ТВЕР на ТЕЦ, який у 2000 році склав більше 70 млн. ГДж, обумовлений теплотою відхідних газів котельних установок ТЕЦ, температура яких не перевищує 170°C [4]. Ефективне використання цих ТВЕР може бути виконано у конденсаційних теплоутилізаторах, так як зниження температури відхідних газів без використання теплоти конденсації водяної пари призводить до значного зростання теплообмінної поверхні без суттєвої утилізації ТВЕР. Значна кількість ТВЕР утворюється в газоперекачувальних агрегатах (ГПА) при транспортуванні природного газу – близько 138 млн. ГДж. Ці ТВЕР можуть бути використані як для опалення близько розташованих приміщень, так і для охолодження повітря перед компресором ГТУ, що підвищує ККД газотурбінного приводу на 6–8% і зменшує втрати палива на власні потреби компресорних станцій на 22–25% [8].

### **Висновки**

1. Запропонований підхід в оцінці виходу ТВЕР дозволяє, на основі відомих статистичних даних по кількості і якості ПЕР, використаних в технологічних об'єктах за розглянутий проміжок часу, отримати досить повну кількісну картину теоретично придатних до утилізації ТВЕР, що утворюються на різних об'єктах енергетичного господарства, з врахуванням як високопотенційних, так і низькопотенційних ТВЕР, що в свою чергу дозволяє досить компетентно планувати їх подальше використання.

2. Найбільш прийнятний напрям утилізації має бути обраний на основі енергетичного аналізу технологічних процесів, що протікають в типових енергетичних об'єктах, з врахуванням наявності споживачів енергоресурсів, які виробляються, а також виходячи з умов економічної доцільності.

### **Список використаних джерел**

1. Феофілов І.В. Оцінка виходу теплових вторинних енергоресурсів для різних об'єктів енергетичного господарства України. Частина 1 // Науковий журнал НУБіП України «Енергетика і автоматика» (паперовий варіант електронного видання). Серія: «Технічні науки». – 2012. – №2. – С.83-89.
2. Семенов Н.А. Использование вторичных энергоресурсов промышленности. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 224с.
3. Степанов В.С., Степанова Т.Б. Потенциал и резервы энергосбережения в промышленности. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 248с.
4. Украина: эффективность малой энергетики. – К.: - Energy Centre in Kiev.
5. Агеева Т.П. Методичні основи оцінки енергозбереження в сфері житлового та комунально-побутового обслуговування населення України / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Київ, 2002.– С.20.
6. Баскаков А.П. Теплотехника.- М.: Энергоатомиздат, 1982.– С.264.
7. Феофилов И.В. Оценка выхода ТВЭР на тепло- и электрогенерирующих объектах Украины / Сб. трудов XV конференции стран СНГ с международным участием «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики», 13-16 июня 2005г., г.Севастополь. – Киев: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2005.– С.53-57.
8. Усік А.П., Куц Г.О. Шляхи підвищення рівня, ефективність та перспективи використання вторинних енергетичних ресурсів в промисловості // Проблеми загальної енергетики. – 2000. – №2. – С.42-45.

*На основании предложенного подхода к определению ТВЭР выполнена оценка выхода ТВЭР для различных объектов энергетического хозяйства Украины на примере 2000 года.*

***Первичные энергетические ресурсы (ТЭР), тепловые вторичные энергетические ресурсы (ТВЭР), выход ТВЭР.***

*Based on the proposed approach to the definition of solid assessment carried out for various solid objects Ukraine's energy sector for example 2000.*

***Primary energy resources (FER), thermal secondary energy resources (TSER), yield (TSER).***