



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

Енергозбереження

РЕСУРСИ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВТОРИННІ

Методика визначення показників
виходу та використання

ДСТУ 4090–2001

Видання офіційне

БЗ № 1–2002/42



Київ
ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ
2002

ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО І ВНЕСЕНО МТК 111 і Національним технічним комітетом України зі стандартизації № 48 «Енергозбереження» на базі Інституту загальної енергетики Національної Академії наук України
- 2 ЗАТВЕРДЖЕНО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ наказом Держстандарту України від 30 квітня 2002 р. № 268
- 3 ВВЕДЕНО ВПЕРШЕ
- 4 РОЗРОБНИКИ: **А. Усік**, канд. техн. наук; **Г. Куц**, канд. техн. наук; **А. Завалко**, канд. техн. наук; **І. Стоянова**, канд. техн. наук; **І. Соколовська**

**Право власності на цей документ належить державі.
Відтворювати, тиражувати і розповсюджувати документ повністю чи частково
на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу Держстандарту України заборонено.
Стосовно врегулювання прав власності звертатися до Держстандарту України**

Держстандарт України, 2002

ЗМІСТ

	с.
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	1
3 Визначення понять	2
4 Методика визначення виходу ВЕР	4
5 Методика розрахунку показників використання ВЕР	11
6 Методика розрахунку економії умовного палива внаслідок використання ВЕР	12
7 Методика розрахунку показників ефективності енергозбережних заходів унаслідок використання ВЕР	14
Додаток А Номенклатура основних видів ВЕР	15
Додаток Б Усереднені питомі об'ємні ізобарні теплоємності газів за атмосферного тиску 0,1013 МПа, кДж (м ³ ·°С)	19
Додаток В Усереднені питомі показники виходу окремих видів ВЕР у галузях промисловості	20
Додаток Г Приклад розрахунку виходу ВЕР та економії палива внаслідок їх використання	23
Додаток Д Бібліографія	24

**ПОПРАВКИ,
ВНЕСЕНІ В НАЦІОНАЛЬНІ СТАНДАРТИ УКРАЇНИ**

згідно наказу Держспоживстандарту України від 16 лютого 2004 р. № 24
у зв'язку з наданням чинності від 01.07.2004 р. міждержавним стандартам,
розробленим Україною і прийнятим на 24 засіданні Міждержавної Ради

**03. СОЦІОЛОГІЯ. ПОСЛУГИ. ОРГАНІЗУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ.
АДМІНІСТРУВАННЯ. ТРАНСПОРТ.**

27. ЕНЕРГЕТИКА І ТЕПЛОТЕХНІКА

03.100.50; 27.180
ДСТУ 4090–2001

Енергозбереження. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визна-
чення показників виходу та використання

Місце поправки	Надруковано	Повинно бути
Обкладинка, с. 1	ДСТУ 4090–2001	ДСТУ 4090–2001/ГОСТ 31188–2003
Обкладинка	Енергозбереження. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання	Енергозбереження. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання (ГОСТ 31188–2003, IDT)
С. II, Передмова	2 ...	2 ... 2а Стандарт відповідає ГОСТ 31188–2003 Энерго-сбережение. Ресурсы энергетические вторичные. Методика определения показателей выхода и использования (Енергозбереження. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання) Ступінь відповідності — ідентичний (IDT)

ІПС № 3–2004)

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
РЕСУРСИ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВТОРИННІ
*Методика визначення показників виходу
та використання*
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
РЕСУРСЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВТОРИЧНЫЕ
*Методика определения показателей выхода
и использования*
ENERGY CONSERVATION
SECONDARY ENERGY RESOURCES
*Methodic for determination of yield
and utilization indices*
Ем. пер.

 Чинний від 2003–01–01
1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей стандарт поширюється на вторинні енергетичні ресурси (ВЕР), які утворюються як пальні та теплові відходи енергомістких технологічних процесів промисловості.

Цей стандарт установлює загальну методику визначення показників, які характеризують утворення та використання ВЕР, зокрема вихід ВЕР, виробіток енергії внаслідок використання ВЕР, економія палива й енергії внаслідок використання ВЕР.

Цей стандарт застосовують у розрахунках показників виходу та використання ВЕР, у разі розроблення та конструювання утилізаційних установок, під час розроблення та вжиття технічних заходів з енергозбереження на промислових підприємствах, у разі складання та оптимізації паливно-енергетичних балансів підприємств, а також у розрахунках економії палива та енергії внаслідок використання ВЕР.

Положення цього стандарту застосовують підприємства, установи та організації, а також громадяни-суб'єкти підприємницької діяльності незалежно від форм власності та організаційно-правових форм діяльності, які виконують роботи у визначеній галузі.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому стандарті є посилання на такі стандарти:

- ДСТУ 2420–94 Енергозбереження. Терміни та визначення
- ДСТУ 3581–97 (ГОСТ 30517–97) Енергозбереження. Методи вимірювання і розрахунку теплоти згоряння палива
- ДСТУ 3651.0–97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення
- ДСТУ 3651.1–97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення
- ДСТУ 3818–98 Енергозбереження. Вторинні енергетичні ресурси. Терміни та визначення

— ГОСТ 22667–82 Газы горючие природные. Расчётный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа «Воббе»

— ГОСТ 27193–86 Газы горючие природные. Метод определения теплоты сгорания водяным калориметром

3 ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті вжито такі терміни з відповідними визначеннями.

3.1 вторинні енергетичні ресурси ВЕР

Енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних та проміжних продуктів, що утворюються в технологічних агрегатах (установках, процесах), який не використовують у самому агрегаті, але його може бути частково або повністю використано для енергопостачання інших агрегатів (процесів).

Примітка. Термін «енергетичний потенціал» означає наявність у перелічених продуктах певного запасу енергії (фізичного тепла, хімічно зв'язаного тепла, потенціальної енергії надлишкового тиску).

Номенклатуру основних видів ВЕР наведено в додатку А.

3.2 Види ВЕР

3.2.1 пальні (паливні) ВЕР

Хімічна енергія відходів технологічних процесів, невикористовуваних або непридатних для подальшого технологічного перероблення, що можуть бути використані як котельно-пічне паливо.

Примітка. Продукти та відходи паливопереробних установок (нафтопереробних, газогенераторних, вуглезбагачувальних, з вироблення коксу і т. ін.), які містять хімічно зв'язану енергію, є продуктами перероблення палива і до паливних ВЕР не належать.

3.2.2 втрати паливних ВЕР

Невикористані пальні (паливні) ВЕР (вивезення на смітник, спалювання у факелах, випускання в атмосферу і т. ін.).

3.2.3 теплові ВЕР

Ентальпія газів, що відходять із технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції та відходів виробництва, теплота робочих тіл систем охолодження технологічних агрегатів і установок, ентальпія гарячої води і пари, які відпрацювали в технологічних установках, а також теплота пари і гарячої води, які побічно отримано в технологічних установках.

Примітка. До теплових ВЕР не належать: теплота відхідних газів, основної, побічної, проміжної продукції та відходів виробництва, що повертається до агрегату-джерела ВЕР внаслідок регенерації або рециркуляції; ентальпія конденсату, що повертається до парогенераторів або до джерел паропостачання; ентальпія продуктів, які направляють на наступну стадію перероблення.

3.2.4 ВЕР надлишкового тиску

Потенціальна енергія газів та рідин, що виходять з технологічних агрегатів з надлишковим тиском, який необхідно знизити перед наступним ступенем використання цих газів та рідин або перед викидом їх у довкілля.

3.3 вихід ВЕР

Кількість вторинних енергетичних ресурсів, що утворюються в технологічній установці (агрегаті) за розглядуваний проміжок часу (година, доба, місяць, квартал, рік).

3.4 питомий [годинний] вихід ВЕР

Вихід ВЕР на одиницю продукції чи сировини [за одиницю часу].

3.5 Основні напрямки використання ВЕР

3.5.1 паливний напрямок використання ВЕР

Безпосереднє використання паливних ВЕР як котельно-пічного палива.

3.5.2 тепловий напрямок використання ВЕР

Використання енергоносіїв, які виробляють внаслідок використання ВЕР в утилізаційних установках або одержаних безпосередньо як ВЕР, для забезпечення потреби в теплоенергії, а також для одержання штучного холоду в абсорбційних холодильних установках.

3.5.3 електроенергетичний напрямок використання ВЕР

Використання ВЕР з перетворенням енергетичного потенціалу енергоносія для одержання електроенергії в газових або парових конденсаційних турбоагрегатах.

3.5.4 комбінований напрямок використання ВЕР

Використання енергетичного потенціалу теплових ВЕР для вироблення в утилізаційних установках (утилізаційних ТЭЦ) електроенергії та теплоенергії за теплофікаційним циклом.

Примітка. Напрямок використання ВЕР залежить від обсягу, структури та режиму енергоспоживання підприємства, а також від виду, параметрів і виходу ВЕР, і його мають визначати в процесі розроблення оптимального паливно-енергетичного балансу підприємства чи промислового вузла, зважаючи на умови отримання найбільшого економічного ефекту.

3.6 Основні показники, що характеризують використання ВЕР**3.6.1 виробіток (енергії) внаслідок використання ВЕР
виробіток**

Теплова, електрична чи механічна енергія, яку одержано внаслідок використання ВЕР в утилізаційних установках.

Примітка. Розрізняють можливий, планований та фактичний виробіток.

**3.6.2 можливий виробіток (енергії) внаслідок використання ВЕР
можливий виробіток**

Максимальний виробіток енергії внаслідок використання ВЕР, який визначають для кожного поєднання агрегату-джерела ВЕР з конкретним типом утилізаційної установки.

Примітка. Під час визначення можливого виробітку внаслідок використання ВЕР враховують наявність технічно розроблених та перевірених методів і конструкцій з утилізації ВЕР; наявність місця для розташування утилізаційних установок; наявність споживачів енергії, отриманої внаслідок використання ВЕР і т. ін.

**3.6.3 фактичний виробіток (енергії) внаслідок використання ВЕР
фактичний виробіток**

Виробіток енергії внаслідок використання ВЕР, одержаний на дійових утилізаційних установках за певний період.

3.7 використання ВЕР

Енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних та проміжних продуктів, зокрема палива та тепла, які отримують безпосередньо як ВЕР в технологічних агрегатах (установках, процесах), використаний споживачем.

3.8 використання виробітку (внаслідок використання ВЕР)

Теплова, електрична чи механічна енергія, яку вироблено в утилізаційних установках внаслідок використання ВЕР і використано споживачем.

Примітка. Використання ВЕР, як і використання виробітку (внаслідок використання ВЕР), може бути можливе фактичне.

Визначаючи можливе використання ВЕР (використання виробітку), враховують наявність споживачів енергії та режими їх роботи з паливно-енергетичних балансів підприємства чи промислового вузла і підтверджують економічну доцільність утилізації ВЕР.

Для ВЕР безпосереднього використання можливе використання ВЕР дорівнює виходу ВЕР з відрахуванням неминучих втрат; для ВЕР з перетворенням в утилізаційній установці — можливому виробітку енергії внаслідок використання ВЕР.

3.9 Основні показники, що характеризують ефективність використання ВЕР**3.9.1 можлива економія палива внаслідок використання ВЕР**

Кількість палива, яке могло бути зекономлено за повного використання можливого виробітку.

3.9.2 фактична економія палива внаслідок використання ВЕР

Кількість палива, зекономленого внаслідок фактичного використання ВЕР.

Примітка. Економію палива внаслідок використання ВЕР визначають в:

— умовному паливі (УП), теплота згоряння однієї тони якого становить 29,3 ГДж (7 Гккал);

— нафтовому еквіваленті (НЕ), теплота згоряння однієї тони якого становить 41,87 ГДж (10 Гккал).

3.10 заміщувана енергетична установка

Енергетична установка, з показниками якої порівнюють ефективність використання ВЕР.

Примітка. Залежно від конкретних умов енергопостачання в ролі заміщуваної установки можуть розглядати промислові котельні або котельні ТЕЦ.

3.11 холодопродуктивність

Кількість теплоти в кілоджоулях (кілокалоріях), відведена від охолоджуваного середовища протягом однієї години.

Примітка. Холодопродуктивність однієї й тієї ж холодильної машини змінюється залежно від температурних умов її роботи.

3.12 виробіток холоду (внаслідок використання ВЕР)

Холодопродуктивність за певний період часу в кілоджоулях (кілокалоріях), яку отримують внаслідок використання ВЕР в утилізаційних установках.

3.13 Решта термінів та визначень понять — згідно з ДСТУ 2420 та ДСТУ 3818.

4 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВИХОДУ ВЕР

4.1 У цьому стандарті використано одиниці фізичних величин згідно з ДСТУ 3651.0 та ДСТУ 3651.1.

4.2 Вихід ВЕР визначають для кожного агрегату-джерела ВЕР, беручи до уваги питомий вихід ВЕР та випуск продукції (витрати сировини) чи годинний вихід та кількість годин роботи агрегату-джерела ВЕР за певний період часу.

Питомий вихід ВЕР належить до одиниці продукції основного виробництва для монопродуктового виробництва чи до одиниці витрат сировини (палива) для багатопродуктового виробництва.

4.3 Питомий (годинний) вихід ВЕР визначають як добуток питомої (годинної) кількості енергоносія на його енергетичний потенціал. Одиницями кількості енергоносія прийнято одиниці маси (кілограм, тонна); для газоподібних енергоносіїв застосовують також одиниці об'єму (кубічний метр за нормальних умов $P = 760$ мм рт. ст. (101,3 кПа), $t = 0$ °С). Енергетичний потенціал енергоносіїв визначають:

- для паливних ВЕР — найнижчою теплотою згоряння,
- для теплових ВЕР — перепадом ентальпій,
- для ВЕР надлишкового тиску — роботою ізоентропного розширення одиниці об'єму енергоносія.

Одиницями енергетичного потенціалу є одиниці енергії — кДж (ккал, кВт · год).

4.4 Вихід паливних ВЕР вимірюють в одиницях енергії чи виражають через масу умовного палива. Питому чи годинну кількість паливних відходів виробництва визначають за даними оперативного обліку на основі показань відповідних вимірювально-реєструвальних приладів, за даними регламентів виробництва чи з розрахунку матеріального балансу агрегату-джерела ВЕР.

4.5 Питомий $q_{\text{пит}}^{\text{п}}$ або годинний $q_t^{\text{п}}$ вихід паливних ВЕР в кілоджоулях на одиницю продукції чи за годину обчислюють за формулами:

$$q_{\text{пит}}^{\text{п}} = V_{\text{пит}}^{\text{п}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad q_t^{\text{п}} = V_{\text{пит}t}^{\text{п}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{пит}}^{\text{п}}$ — питомий об'єм енергоносія паливних ВЕР на одиницю продукції, м³/од. прод.;

$V_{\text{пит}t}^{\text{п}}$ — питомий об'єм енергоносія паливних ВЕР на годину (годинний об'єм), м³/год;

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ — найнижча робоча теплота згоряння паливних ВЕР, кДж/м³.

4.6 Найнижчу робочу теплоту згоряння газоподібних паливних ВЕР $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ визначають методами, наведеними для природних паливних газів у ГОСТ 27193 та ГОСТ 22667 (експериментально чи за допомогою розрахунків залежно від компонентного складу паливних ВЕР), а також для паливних ВЕР як газоподібне, тверде та рідке паливо, згідно з ДСТУ 3581.

4.7 Вихід пальних ВЕР $Q_B^П$ у кілоджоулях за певний проміжок часу (доба, місяць, рік) обчислюють за формулами:

$$Q_B^П = q_{\text{пит}}^П \cdot П, \quad (2)$$

чи
$$Q_B^П = q_t^П \cdot \tau, \quad (3)$$

- де $q_{\text{пит}}^П$ — питомий вихід пальних ВЕР на одиницю продукції, кДж/од. прод.;
 $q_t^П$ — годинний вихід пальних ВЕР, кДж/год;
 $П$ — випуск основної продукції (чи витрати сировини, палива), до якої відносять питомий вихід ВЕР за період часу, що розглядається, од. прод.;
 τ — тривалість (кількість годин) роботи агрегату-джерела ВЕР за період часу, що розглядається, год.

Вихід пальних ВЕР $B_{\text{уп}}^П$, виражений через масу умовного палива у кілограмах, обчислюють за формулою:

$$B_{\text{уп}}^П = \frac{Q_B^П}{Q_{\text{уп}}}, \quad (4)$$

де $Q_{\text{уп}}$ — теплота згоряння умовного палива масою 1 кг, яка дорівнює 29300 кДж/кг (7000 ккал/кг).

4.8 Питомий вихід теплових ВЕР $q_{\text{пит}}^Т$ у кілоджоулях на одиницю продукції чи годинний вихід теплових ВЕР $q_t^Т$ у кілоджоулях за годину обчислюють за формулами:

$$q_{\text{пит}}^Т = m_{\text{пит}} \cdot \Delta h, \quad q_t^Т = m_t \cdot \Delta h, \quad (5)$$

- де $m_{\text{пит}}$ — питома кількість енергоносія для теплових ВЕР, кг/од.прод., м³/од. прод.;
 m_t — годинна кількість енергоносія для теплових ВЕР, кг/год., м³/год;
 Δh — перепад ентальпій енергоносія, кДж/кг чи кДж/м³.

4.9 Перепад ентальпій Δh у кілоджоулях на кілограм або метр кубічний енергоносія для теплових ВЕР визначають за формулою:

$$\Delta h = h - h_0 = c \cdot t - c_0 \cdot t_0, \quad (6)$$

- де t — температура енергоносія на виході з агрегату-джерела ВЕР, °С;
 c — питома об'ємна чи масова теплоємність енергоносія за температури t (для газів беруть теплоємність за постійного тиску), кДж/(м³ · °С), кДж/(кг · °С);
 t_0 — температура енергоносія під час надходження його на наступну стадію технологічного процесу чи температура довкілля, °С;
 c_0 — питома об'ємна чи масова теплоємність енергоносія за температури t_0 , кДж/(м³ · °С), кДж/(кг · °С);
 h, h_0 — ентальпії енергоносія за температури t і t_0 , відповідно, кДж/кг, кДж/м³.

Для водяної пари ентальпію визначають за спеціальними таблицями теплофізичних властивостей води і водяної пари, або за іS-діаграмою [1], причому за h_0 беруть ентальпію живильної води або ентальпію конденсату за температури t_0 .

Питому (годинну) кількість і температуру енергоносія на виході з агрегату-джерела ВЕР визначають за показами відповідних вимірювально-реєструвальних приладів, за даними технічного регламенту або із розрахунку теплового та матеріального балансу агрегату-джерела ВЕР. Теплоємність енергоносія залежно від його складу беруть за довідником [2].

4.10 Вихід теплових ВЕР $Q_B^Т$ у гігаджоулях за розглядуваний період часу (доба, місяць, квартал, рік) як і для пальних ВЕР обчислюють, беручи до уваги питомий або годинний вихід, за формулами:

$$Q_B^Т = q_{\text{пит}}^Т \cdot П \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

або
$$Q_B^Т = q_t^Т \cdot \tau \cdot 10^{-6}, \quad (8)$$

- де $q_{\text{пит}}^Т$ — питомий вихід теплових ВЕР на одиницю продукції, кДж/од. прод.;
 $q_t^Т$ — годинний вихід теплових ВЕР, кДж/год;
 $П$ і τ — відповідно до 4.7.

Методика розрахунку виходу теплових ВЕР для окремих випадків має свої особливості, її наведено для нагрітих відхідних газів паливоспалювальних печей у 4.12; для систем охолодження — у 4.13; для нагрітих продуктів або відходів виробництва — у 4.14.

4.11 Питомий $q_{\text{пит}}^{\text{H}}$ або годинний q_t^{H} вихід ВЕР надлишкового тиску для газоподібних енергоносіїв у кілоджоулях на одиницю продукції або за годину обчислюють за формулами:

$$q_{\text{пит}}^{\text{H}} = V_{\text{пит}}^{\text{H}} \cdot A, \quad q_t^{\text{H}} = V_{\text{пит}t}^{\text{H}} \cdot A, \quad (9)$$

де $V_{\text{пит}}^{\text{H}}$ — питомий об'єм;
 $V_{\text{пит}t}^{\text{H}}$ — питомий годинний об'єм ВЕР надлишкового тиску, які утворилися, м³/од. прод., м³/год;
 A — робота ізоентропного розширення одиниці маси чи одиниці об'єму газоподібних енергоносіїв, кДж/кг або кДж/м³, яка дорівнює перепаду ентальпій

$$A = \Delta h = h_1 - h_2, \quad (10)$$

де h_1, h_2 — ентальпії газу перед утилізаційною турбіною і після ізоентропного розширення в турбіні, відповідно, кДж/кг або кДж/м³.

Термодинамічну температуру газу після ізоентропного розширення T_2 в кельвінах обчислюють за формулою:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}, \quad (11)$$

де T_1 — температура енергоносія перед турбіною, К;
 P_1 і P_2 — тиск енергоносія до і після турбіни, МПа;
 κ — середній показник ізоентропи в інтервалі температур T_1 і T_2 .

Для водяної пари перепад ентальпій Δh визначають за iS -діаграмою [1].

Вихід ВЕР надлишкового тиску $Q_{\text{в}}^{\text{H}}$ у гігаджоулях за період часу, що розглядається (доба, місяць, квартал, рік), визначають за формулами, аналогічними для теплових ВЕР (7) і (8):

$$Q_{\text{в}}^{\text{H}} = q_{\text{пит}}^{\text{H}} \cdot \Pi \cdot 10^{-6} \quad (12)$$

чи

$$Q_{\text{в}}^{\text{H}} = q_t^{\text{H}} \cdot \tau \cdot 10^{-6}, \quad (13)$$

де $q_{\text{пит}}^{\text{H}}$ — питомий вихід ВЕР надлишкового тиску на одиницю продукції, кДж/од. прод.;
 q_t^{H} — годинний вихід ВЕР надлишкового тиску, кДж/год.;
 Π і τ — відповідно до 4.7.

4.12 Вихід ВЕР, що утворюються як теплота нагрітих відхідних газів паливоспалювальних печей $Q_{\text{в}}^{\text{T}}$ у гігаджоулях за розглядуваний проміжок часу, обчислюють за формулою:

$$Q_{\text{в}}^{\text{T}} = B \cdot H \cdot 10^{-6}, \quad (14)$$

де B — маса чи об'єм палива, який витрачається за розглядуваний проміжок часу (витрати палива), кг(м³);
 H — ентальпія продуктів згорання 1 кг або 1м³ палива за температури відхідних газів t , °С, кДж/м³, кДж/кг.

Ентальпію продуктів згорання H обчислюють за формулою:

$$H = \left[c_{\text{CO}_2} \cdot V_{\text{RO}_2} + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + c_{\text{N}_2} \cdot V_{\text{N}_2}^0 + c_{\text{п}} \cdot (\alpha - 1) \cdot V_0 \right] \cdot t, \quad (15)$$

де t — температура відхідних газів, °С;
 $c_{\text{CO}_2}, c_{\text{H}_2\text{O}}, c_{\text{N}_2}, c_{\text{п}}$ — середні об'ємні теплоємності відповідно діоксиду вуглецю, водяних парів, азоту та повітря за сталих температури t , °С та тиску, кДж/(м³·°С) (додаток Б);

- $V_{RO_2}, V_{H_2O}^0, V_{N_2}^0$ — об'єми відповідно компонентів продуктів згоряння 1 кг або 1 м³ палива, м³;
 V_0 — теоретично необхідний об'єм повітря для спалювання 1 кг або 1 м³ палива, м³;
 α — коефіцієнт надлишку повітря [3, 4].

Об'єм повітря для спалювання палива й об'єми компонентів продуктів згоряння палива визначають залежно від його виду та складу.

Теоретично необхідний об'єм повітря V_0 у кубічних метрах для спалювання одного кубічного метра газу обчислюють за формулою:

$$V_0 = 0,0476 \cdot \left[0,5 \cdot c'_{CO} + 0,5 \cdot c'_{H_2} + 1,5 \cdot c'_{H_2S} + 2 \cdot c'_{CH_4} + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot c'_{C_mH_n} - c'_{O_2} \right]. \quad (16)$$

Об'єм сухих трьохатомних газів V_{RO_2} у кубічних метрах у продуктах згоряння одного кубічного метра газу визначають за формулою:

$$V_{RO_2} = 0,01 \left(c'_{CO_2} + c'_{CO} + c'_{H_2S} + c'_{CH_4} + \sum m \cdot c'_{C_mH_n} \right). \quad (17)$$

Об'єм водяних парів $V_{H_2O}^0$ у кубічних метрах у продуктах згоряння одного кубічного метра газу (за теоретично необхідного об'єму повітря V_0) обчислюють за формулою (для вмісту води в повітрі $d_n = 13$ г/м³):

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left(c'_{H_2} + c'_{H_2S} + 2c'_{CH_4} + \sum \frac{n}{2} c'_{C_mH_n} + 0,124d \right) + 0,0161V_0, \quad (18)$$

де d — вміст води в газоподібному паливі, г/м³.

Об'єм азоту $V_{N_2}^0$ у кубічних метрах у продуктах згоряння одного кубічного метра газоподібного палива (за теоретично необхідного об'єму повітря V_0) обчислюють за формулою:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 V_0 + 0,01 c'_{N_2}. \quad (19)$$

У формулах (16 – 19) — $c'_{CO_2}, c'_{CO}, c'_{H_2S}, c'_{H_2}, c'_{N_2}, c'_{CH_4}, c'_{C_mH_n}$ — об'ємні частки відповідних газових компонентів у спалюваному газоподібному паливі, % (за нормальних умов: $P = 760$ мм рт. ст., $t = 0$ °С).

Об'єми компонентів продуктів згоряння одного кілограма рідкого чи твердого палива $V_{RO_2}, V_{H_2O}^0, V_{N_2}^0$ у кубічних метрах залежно від складу робочої маси палива обчислюють за формулами:

$$V_{RO_2} = 0,01866 (g_C + 0,375 g_{S_{орг}}), \quad (20)$$

$$V_{H_2O}^0 = \frac{8,94 g_H + W^P}{80,4} + 0,0161 V_0 + 1,24 G_f, \quad (21)$$

де W^P — вологість робочої маси палива, %;

G_f — питома витрата (маса) пари на розбризування одного кілограма рідкого палива (від 0,03 до 1 кг залежно від типу форсунки);

$$V_{N_2}^0 = 0,79 V_0 + 0,008 g_N. \quad (22)$$

Теоретично необхідний об'єм повітря V_0 у кубічних метрах для спалювання одного кілограма рідкого чи твердого палива обчислюють за формулою:

$$V_0 = 0,0899 (g_C + 0,375 g_{S_{орг}}) + 0,265 g_H - 0,0333 g_O. \quad (23)$$

У формулах (20 – 23) $g_C, g_S, g_N, g_O, g_H, g_{S_{орг}}$ — масові частки вуглецю, сірки, азоту, кисню, водню, сірки органічної та піритної в робочій масі палива, %.

Під час спалювання одночасно кількох видів палива вихід ВЕР слід визначати для кожного виду палива за формулою (14) і підсумовувати.

Вихід теплових ВЕР продуктів згоряння палива Q_e^T у гікаджоулях в інтервалі температур від 150 до 1000 °С припускається обчислювати за формулою:

$$Q_B^T = q \cdot B \cdot Q_H^P \cdot 10^{-8}, \quad (24)$$

де q — коефіцієнт відношення вмісту теплоти в продуктах згоряння до найнижчої теплоти згоряння палива, %.

Значення q у відсотках залежно від температури t і виду спалюваного палива обчислюють за емпіричними формулами.

Для природного газу

$$q = \frac{t}{1,98 (c'_{RO_2} + 0,5)}, \quad (25)$$

для мазуту

$$q = \frac{t}{1,43 (c'_{RO_2} + 0,5)}, \quad (26)$$

де c'_{RO_2} — об'ємна частка трьохатомних газів ($CO_2 + SO_2$) в продуктах згоряння, %.

За цього методу розрахунку q відносна похибка складає від 10 % до 15 %.

У плавильних та випалювальних паливоспалювальних технологічних печах відхідні газы поряд з продуктами згоряння палива містять також компоненти, які виділяються з шихти, і в деяких випадках значний винос пилу, що впливають на вихід ВЕР. Крім того у відхідних газах можуть міститись і пальні компоненти (хімічний недопал), хімічну енергію яких треба враховувати в обсягах виходу ВЕР, якщо перед теплоутилізаційною установкою або в ній здійснюють їх довивалювання.

У цьому разі вихід ВЕР з відхідними газами Q_B у гігаджоулях за годину розраховують за формулою:

$$Q_B = Q^{\Phi} + Q^X + Q^{Bn} + Q^n, \quad (27)$$

де Q^{Φ} — вихід теплових ВЕР із сухими нагрітими відхідними газами, ГДж/год;

Q^X — вихід пальних ВЕР як хімічної енергії складників відхідних газів, ГДж/год;

Q^{Bn} — вихід теплових ВЕР з водяними парами, які містяться у відхідних газах, ГДж/год;

Q^n — вихід теплових ВЕР з пилом, шихтовими виносимами чи сублимаціями, ГДж/год.

Вихід теплових ВЕР із сухими незапиленними нагрітими відхідними газами Q^{Φ} у гігаджоулях за годину обчислюють за формулою:

$$Q^{\Phi} = V_{\text{вих}} \cdot t \cdot \sum c'_i c_i \cdot 10^{-8}, \quad (28)$$

де $V_{\text{вих}}$ — об'єм газів, що відходять за годину, на виході з агрегату, м³;

t — температура газів, що відходять, °С;

c'_i — об'ємна частка i -го компонента відхідних газів, %;

c_i — питома об'ємна теплоємність i -го компонента за температури t , кДж/(м³·°С).

Склад газів визначають за газовим аналізом, а температуру і кількість газів — замірюванням у тій самій точці.

Якщо об'єм відхідних газів не вимірюють, слід застосовувати балансовий метод для розрахунку за найбільш характерним для процесу компонентом, який переходить у газову фазу. Для агрегатів, що використовують вуглецеве (вуглеводневе) паливо, баланс складають за вуглецем. Для агрегатів, в яких перероблюють сульфідну сировину, об'єм газів визначають за балансом сірки.

Питомий об'єм будь-якого компонента в газах V_i у кубічних метрах за годину обчислюють за формулою:

$$V_i = V_{\text{сух}} \cdot c'_i \cdot 10^{-2}, \quad (29)$$

де $V_{\text{сух}}$ — загальний об'єм сухих відхідних газів за годину, м³.

За відомих значень c'_i з газового аналізу і V_i з балансу вуглецю чи сірки об'єм сухих газів $V_{\text{сух}}$, що відходять за годину, у кубічних метрах обчислюють за формулою:

$$V_{\text{сух}} = \frac{V_{SO_2}}{c_{SO_2}} \cdot 10^2 \quad (30)$$

$$V_{\text{сух}} = \frac{V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}}}{c_{\text{CO}_2} + c_{\text{CO}}} \cdot 10^2 \quad (31)$$

Під час оброблення матеріалів, що вміщують сірку, питомий об'єм діоксиду сірки у відхідних газах V_{SO_2} в кубічних метрах за годину обчислюють за формулою:

$$V_{\text{SO}_2} = 0,7 m_M \frac{c'_S}{100} \cdot \frac{D}{100}, \quad (32)$$

де m_M — маса оброблюваного за годину матеріалу, кг;
 c'_S — об'ємна частка сірки в оброблюваному матеріалі, %;
 D — ступінь десульфурації, %.

Вихід пальних ВЕР як хімічної енергії складників Q^X у гігаджоулях за годину визначають, беручи до уваги їх питомий об'єм і найнижчу теплоту згоряння Q_H^P за формулою (1). Якщо пальні компоненти під час утилізації ВЕР не допалюються, то їх хімічно зв'язане тепло під час розрахунку виходу теплових ВЕР не враховують.

Вихід теплових ВЕР з водяними парами $Q^{\text{вп}}$, які містяться у відхідних газах, у гігаджоулях за годину визначають за формулою:

$$Q^{\text{вп}} = V^{\text{вп}} \cdot c_{\text{вп}} \cdot t \cdot 10^{-6}, \quad (33)$$

де $V^{\text{вп}}$ — питомий об'єм водяних парів у відхідних газах, м³/год.;
 $c_{\text{вп}}$ — питома об'ємна теплоємність водяної пари, ГДж/(м³·°С).

Якщо під час утилізації газів здійснюють їх глибоке охолодження й частина водяних парів конденсується, то вихід ВЕР необхідно збільшити на значення прихованої теплоти пароутворення сконденсованої вологи.

Питомий об'єм водяних парів $V^{\text{вп}}$, які містяться у відхідних газах у кубічних метрах за годину, обчислюють за формулою:

$$V^{\text{вп}} = V_n^{\text{вп}} + V_{\text{ш}}^{\text{вп}} + V_d^{\text{вп}}, \quad (34)$$

де $V_n^{\text{вп}}, V_{\text{ш}}^{\text{вп}}, V_d^{\text{вп}}$ — питомі об'єми водяних парів, що утворюються під час згоряння палива, виділяються з оброблюваного матеріалу (шихти), та утворюються із вологи дуття, відповідно, м³/год.

Питомий об'єм водяних парів у відхідних газах, що утворюються внаслідок згоряння палива, $V_n^{\text{вп}}$ у кубічних метрах за годину, обчислюють за формулою:

$$V_n^{\text{вп}} = B \cdot V_{\text{H}_2\text{O}}^0, \quad (35)$$

де $V_{\text{H}_2\text{O}}^0$ — визначають за формулами (18) і (21) залежно від виду палива.

Питомий об'єм водяних парів, що виділяються із шихти, $V_{\text{ш}}^{\text{вп}}$ у кубічних метрах за годину, обчислюють за формулою:

$$V_{\text{ш}}^{\text{вп}} = 1,244 \cdot 10 g_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{ш}}, \quad (36)$$

де $m_{\text{ш}}$ — маса шихти, що витрачається за годину, т;
 $g_{\text{H}_2\text{O}}$ — масова частка гігроскопічної і гідратної вологи в шихті у відсотках, яку обчислюють за формулою:

$$g_{\text{H}_2\text{O}} = W_{\text{ш}} + g_{\text{H}_2\text{O}}^{\Gamma}, \quad (37)$$

де $W_{\text{ш}}$ — вологість шихти, %;
 $g_{\text{H}_2\text{O}}^{\Gamma}$ — масова частка гідратної вологи в шихті, %.

Питомий об'єм водяних парів, внесених повітряним дуттям з урахуванням підсмоктування, $V_d^{\text{вп}}$ обчислюють в кубічних метрах за годину за формулою:

$$V_d^{\text{вп}} = 1,244 \cdot 10^{-3} \cdot d_n \cdot V_{\text{сух}} \cdot \frac{c_{\text{N}_2}}{79}, \quad (38)$$

де d_n — вміст вологи у повітрі, г/м³;
 c_{N_2} — об'ємна частка азоту у відхідних газах, %.

Якщо відомий об'єм повітряного дуття V_d , то

$$V_d^{сп} = 1,244 \cdot 10^{-3} \cdot V_d d_d, \quad (39)$$

де V_d — об'єм дуття за визначений проміжок часу, $\text{м}^3/\text{год.}$;
 d_d — вміст вологи у дутті, $\text{г}/\text{м}^3$.

Для атмосферного повітря вміст вологи у дутті вважають таким, що дорівнює $13 \text{ г}/\text{м}^3$. У випадку, якщо не роблять зволоження дуття, кількість вологи, внесеної з дуттям, не враховують.

Вихід теплових ВЕР з пилом, шихтовими виносками чи сублімаціями Q^n у гігаджоулях за годину обчислюють за формулою:

$$Q^n = V_{\text{вих}} \cdot g_n \cdot c_n \cdot t \cdot 10^{-9}, \quad (40)$$

де g_n — концентрація пилу в газах, $\text{г}/\text{м}^3$;
 c_n — питома масова теплоємність пилу, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;
 t — температура відхідних газів, $^\circ\text{C}$;
 $V_{\text{вих}}$ — див. позначення до формули (28).

Формула справедлива за умови, що пил (сублімації, шихтовий та шлаковий виноси) має таку саму температуру, що й відхідні газ.

4.13 Багато технологічних агрегатів відповідно до умов їх роботи потребують штучного водяного або випарного охолодження.

Вихід теплових ВЕР від систем охолодження визначають:

- з аналітичного розрахунку теплового балансу агрегату;
- безпосереднім вимірюванням на дійовому агрегаті;
- за допомогою розрахунку за відомим виробітком пари в системі випарного охолодження.

За водяного охолодження агрегату вихід теплових ВЕР Q_b^T у гігаджоулях за розглядуваний проміжок часу обчислюють за формулою:

$$Q_b^T = m_b \cdot \tau \cdot c_b \cdot (t'_b - t''_b) \cdot 10^{-3}, \quad (41)$$

де m_b — маса охолоджуваної води, що витрачається за годину, т;
 τ — тривалість роботи агрегату за розглядуваний період, год.;
 c_b — питома теплоємність води, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;
 t'_b, t''_b — температура води на вході та виході із системи охолодження, $^\circ\text{C}$.

Для технологічних агрегатів, обладнаних випарним охолодженням, вихід ВЕР з охолодженням Q_b^T у гігаджоулях за розглядуваний проміжок часу обчислюють за формулою:

$$Q_b^T = \frac{D}{1-\xi} \cdot \tau \cdot [x \cdot (h''_n - h'_b) + (1+p) \cdot (h'_b - h_{жв})] \cdot 10^{-3}, \quad (42)$$

де D — маса пари, виробленої за годину, т;
 ξ — коефіцієнт втрат енергії в доквіллія утилізаційною установкою та на тракті між агрегатом-джерелом ВЕР та утилізаційною установкою [5];
 x — ступінь сухості пари, яка дорівнює відношенню маси сухої насиченої пари до маси вологої пари в системі випарного охолодження, у частках;
 $h''_n, h'_b, h_{жв}$ — ентальпія насиченої пари, води на лінії насичення та живильної води, відповідно, $\text{кДж}/\text{кг}$;
 p — коефіцієнт продування в частках від виробленої пари [6].

4.14 У багатьох виробництвах носіями ВЕР є нагріті продукти чи відходи виробництва в рідкому чи твердому стані, наприклад, розжарений кокс, металургійні шлаки і т. ін.

Вихід теплових ВЕР Q_b^T у гігаджоулях як кількість теплоти нагрітих продуктів чи відходів виробництва за розглядуваний проміжок часу обчислюють за формулами:

$$Q_b^T = m_n \cdot \tau \cdot c_n \cdot t_n \cdot 10^{-3} \quad (43)$$

чи

$$Q_b^T = m_n \cdot \tau \cdot h_n \cdot 10^{-3}, \quad (44)$$

де m_n — маса продукту, що утворюється за годину, т;
 c_n — питома теплоємність продукту, кДж/(кг · °С);
 t_n — температура продукту на виході із технологічного агрегату, °С;
 h_n — ентальпія продукту, кДж/кг.

Масу і температуру продуктів або відходів виробництва визначають безпосереднім вимірюванням або з матеріального та теплового балансів агрегату-джерела ВЕР.

4.15 За наявності необхідних даних здійснюють розрахунок виходу ВЕР $Q_b(Q_b^П, Q_b^T, Q_b^H)$ для кожного агрегату.

У тому випадку, коли немає можливості виконувати розрахунки для кожного агрегату, оцінювання обсягів виходу ВЕР виконують на основі питомих показників їх виходу, отриманих, зважаючи на усереднені параметри відповідних процесів (наведено у додатку В), а також обсяги випуску продукції П чи перероблення сировини.

5 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВЕР

5.1 Можливий виробіток теплової енергії у вигляді пари чи гарячої води внаслідок використання теплових ВЕР Q_T у гігаджоулях за розглядуваний період обчислюють за формулами:

$$Q_T = U \cdot (h_1 - h_2) \cdot \beta \cdot (1 - \xi) \cdot 10^{-6} \quad (45)$$

або

$$Q_T = B \cdot (H_1 - H_2) \cdot \beta \cdot (1 - \xi) \cdot 10^{-6}, \quad (46)$$

де U — маса чи об'єм енергоносія на вході в утилізаційну установку за розглядуваний період часу, кг, м³;
 h_1 — ентальпія енергоносія на виході із технологічного агрегату-джерела ВЕР, кДж/кг або кДж/м³;
 h_2 — ентальпія енергоносія за температури t_2 на виході з утилізаційної установки, кДж/кг або кДж/м³;
 H_1 і H_2 — ентальпія продуктів згоряння 1 кг або 1 м³ палива на виході із агрегату-джерела ВЕР і на виході з утилізаційної установки, відповідно, кДж/кг або кДж/м³;
 β — коефіцієнт, що враховує зниження виробітку теплоенергії через невідповідність режиму та тривалості роботи утилізаційної установки і агрегату-джерела ВЕР [5];
 B — відповідно до 4.12, формула (14);
 ξ — відповідно до 4.13, формула (42).

Масу чи об'єм енергоносія U , що надходить в утилізаційну установку, обчислюють у кілограмах або в кубічних метрах за формулами:

$$U = m_{\text{пит}} \cdot \Pi \cdot \delta \quad (47)$$

або

$$U = m_l \cdot \tau \cdot \delta, \quad (48)$$

де $m_{\text{пит}}$, m_l — відповідно, питома або годинна кількість енергоносія на виході із агрегату-джерела ВЕР, кг/од. прод., кг/год, м³/од. прод., м³/год;
 Π і τ — відповідно до 4.7;
 δ — відношення кількості енергоносія U , що надходить до утилізаційної установки, до його кількості на виході з технологічного агрегату.

Коефіцієнт δ може бути більше одиниці (у випадку присмоктування повітря) і менше одиниці (у випадку пропускання частини енергоносія поза теплоутилізатором).

Якщо за технологічним агрегатом є регенератор або рекуператор, то ентальпію енергоносія h_1 беруть за температурою енергоносія на виході з них.

Температуру енергоносія на виході з утилізаційної установки t_2 визначають на основі техніко-економічних розрахунків з урахуванням технічних умов утилізації.

5.2 Можливий виробіток холоду внаслідок використання теплових ВЕР в абсорбційній холодильній установці Q_x обчислюють у гігаджоулях за формулою:

$$Q_x = Q_T \cdot \epsilon, \quad (49)$$

де ε — холодильний коефіцієнт, що дорівнює відношенню кількості виробленого холоду до кількості витраченої теплоти.

5.3 Можливий виробіток електроенергії W у кіловат-годинах в утилізаційному турбогенераторі внаслідок використання ВЕР надлишкового тиску обчислюють за формулою:

$$W = K \cdot U \cdot A \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_r \cdot 10^{-6}, \quad (50)$$

де U — маса чи об'єм енергоносія, що надходить у турбогенератор за розглядуваний період часу, кг, м³ (U визначають за формулами (47) та (48));

A — робота ізоентропного розширення, кДж/кг, кДж/м³;

η_{oi} — відносний внутрішній ККД турбіни;

η_m — механічний ККД турбіни;

η_r — ККД електрогенератора.

Коефіцієнт $K = 277,8$, якщо роботу ізоентропного розширення A виражено в кілоджоулях, та $K = 1163$, якщо A виражено в кілокалоріях.

5.4 За комбінованого напрямку використання ВЕР у теплоутилізаційних установках виробляється пара, яка надходить потім в теплофікаційні турбогенератори. Основні характеристики теплофікаційної турбіни — питома витрата теплоенергії q_T на вироблення електроенергії на тепловому споживанні в кілоджоулях на кіловат-годину та питомий виробіток електроенергії на одиницю відпущеної теплоенергії E в кіловат-годинах на кілоджоуль. Якщо ці показники відомі, відпуск теплоенергії Q_o у гігаджоулях і виробіток електроенергії W у мільйонах кіловат-годин залежно від кількості теплоенергії Q_T у гігаджоулях, що надходить до турбіни від теплоутилізаційної установки, відповідно, обчислюють за формулами:

$$Q_o = \frac{Q_T}{1 + E \cdot q_T}, \quad (51)$$

$$W = \frac{E \cdot Q_T}{1 + E \cdot q_T}. \quad (52)$$

5.5 У разі надходження пари від теплоутилізаційних установок на конденсаційну турбіну виробіток електроенергії W у мільйонах кіловат-годин обчислюють за формулою:

$$W = \frac{Q_T}{q_k}, \quad (53)$$

де q_k — питома витрата теплоенергії на вироблення електроенергії в конденсаційній турбіні, кДж/(кВт·год).

6 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕКОНОМІЇ УМОВНОГО ПАЛИВА ВНАСЛІДОК ВИКОРИСТАННЯ ВЕР

6.1 За теплового напрямку використання ВЕР та роздільної схеми енергопостачання підприємства економію умовного палива $B_{екуп}$ у тонах обчислюють за формулою:

$$B_{екуп} = b_{зуп} \cdot Q_{вик} = b_{зуп} \cdot Q_T \cdot \sigma, \quad (54)$$

де $Q_{вик}$ — використані теплові ВЕР, ГДж;

Q_T — виробіток теплоенергії внаслідок використання ВЕР в утилізаційній установці, ГДж;

σ — коефіцієнт використання теплоенергії, виробленої внаслідок використання ВЕР, у частках від виробітку;

$b_{зуп}$ — питома витрата умовного палива на вироблення теплоенергії в заміщуваній котельній установці в тонах на гігаджоуль, яку обчислюють за формулою:

$$b_{зуп} = 0,0342/\eta_3, \quad (55)$$

де 0,0342 — коефіцієнт еквівалентного переведення одного гігаджоуля в масу умовного палива, у тонах;

η_3 — ККД заміщуваної енергетичної установки.

6.2 У разі комбінованого енергопостачання підприємства від заводської чи районної ТЕЦ використання теплових ВЕР для теплопостачання призводить до зниження економічності роботи ТЕЦ унаслідок зменшення теплового навантаження відборів турбін. У цьому випадку економію умовного палива внаслідок використання ВЕР $B_{ек,уп}$ у тонах обчислюють враховуючи збільшення питомої витрати палива на вироблення електроенергії на ТЕЦ за формулою:

$$B_{ек,уп} = Q_{вик} \cdot b_{к,уп} \cdot [1 - E \cdot (q_k - q_T)], \quad (56)$$

де $b_{к,уп}$ — питома витрата умовного палива на вироблення теплоенергії в котельній ТЕЦ, т/ГДж;

E, q_k, q_T — показники роботи турбіни заміщеної ТЕЦ (відповідно до 5.4 та 5.5).

Якщо теплоутилізаційна установка має витрати електроенергії на власні потреби, які перевищують норму, установлену для промислових котельних, із економії умовного палива, що визначається за формулами (54) і (56), віднімають витрати умовного палива на вироблення електроенергії $\Delta B_{уп}$ у тонах, що витрачається додатково, які обчислюють за формулою:

$$\Delta B_{уп} = b_{е,уп} \cdot (W_y - W_3) \cdot Q_T \cdot 10^{-6}, \quad (57)$$

де $b_{е,уп}$ — питома витрата умовного палива на вироблення електроенергії, т/кВт · год ;

W_y, W_3 — питома витрата електроенергії на вироблення одиниці кількості теплоти, відповідно, на утилізаційній та заміщуваній установці, кВт · год /ГДж.

6.3 У разі використання ВЕР для отримання холоду в абсорбційних холодильних установках економію умовного палива $B_{ек,уп}$ у тонах обчислюють за формулою:

$$B_{ек,уп} = b_{з,уп} \cdot Q_x / \varepsilon, \quad (58)$$

де Q_x — виробіток холоду, ГДж;

ε — холодильний коефіцієнт.

6.4 У разі електроенергетичного напрямку використання ВЕР економію умовного палива $B_{ек,уп}$ у тонах обчислюють за формулою:

$$B_{ек,уп} = b_{е,уп} \cdot W_e, \quad (59)$$

де $b_{е,уп}$ — питома витрата умовного палива на вироблення електроенергії в енергетичній системі або на заміщуваній установці, з показниками якої порівнюють ефективність використання ВЕР, т/(кВт · год);

W_e — відпуск електроенергії утилізаційними установками внаслідок використання ВЕР, млн. кВт · год.

6.5 У разі комбінованого напрямку використання ВЕР і комбінованої схеми енергопостачання підприємства та повного використання теплоенергії, яку відпускає утилізаційна турбіна, економію умовного палива внаслідок використання ВЕР $B_{ек,уп}$ у тонах обчислюють за формулою:

$$B_{ек,уп} = Q_T \cdot b_{к,уп} \cdot \frac{1 + E \cdot q_T - q_k \cdot (E - E_n)}{1 + E_n \cdot q_{Ty}}, \quad (60)$$

де Q_T — енергія пари теплоутилізаційних установок, що надходить на утилізаційну турбіну, ГДж;

E_n, q_{Ty} — питомий виробіток електроенергії та питома витрата теплоенергії на вироблення електроенергії на утилізаційній турбіні (утилізаційній ТЕЦ), відповідно, (кВт · год)/кДж, кДж/(кВт · год);

E, q_T, q_k — показники роботи турбіни заміщеної ТЕЦ (відповідно до 5.4 і 5.5).

6.6 У разі паливного напрямку використання паливних ВЕР економію умовного палива $B_{ек,уп}$ у тонах обчислюють за формулою:

$$B_{ек,уп} = B_{е,уп} \cdot \eta_{вер} / \eta_n, \quad (61)$$

де $B_{в,уп}$ — маса використаних пальних ВЕР, виражених в УП, т;
 $\eta_{вер}$ — ККД паливовикористального агрегату під час роботи на пальних ВЕР;
 η_n — ККД того самого агрегату під час роботи на первинному паливі.

Відношення $\eta_{вер}/\eta_n$ у формулі (61) залежить від фізичних властивостей пальних ВЕР. Для висококалорійних пальних ВЕР, наприклад, його беруть таким, що дорівнює одиниці.

Якщо пальні ВЕР використовують у спеціальних теплоутилізаційних установках для вироблення пари (як, наприклад, хімічна енергія конверторних газів в охолоджувачах з доступом повітря), то економію умовного палива визначають за формулами (54), (56), (60).

Приклад розрахунку виходу ВЕР та економії палива внаслідок їх використання наведено в додатку Г.

7 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ УНАСЛІДОК ВИКОРИСТАННЯ ВЕР

7.1 В умовах ринкової економіки в разі оцінювання ефективності енергоощадних заходів важливе значення мають такі показники, як прибуток, вартість зекономлених енергоресурсів, термін окупності капітальних вкладень.

7.2 Прибуток підприємства внаслідок використання ВЕР Pr у гривнях за розглядуваний період обчислюють за формулою:

$$Pr = C_{вер} - C_{вер}, \quad (62)$$

де $C_{вер}$ — відпускна ціна енергії, отриманої внаслідок використання ВЕР, грн;
 $C_{вер}$ — собівартість відпущеної енергії, отриманої внаслідок використання ВЕР, грн.

Прибуток унаслідок використання ВЕР визначають тільки тоді, коли енергію відпускають стороннім споживачам.

7.3 Якщо енергія ВЕР не відпускається на сторону, для оцінювання ефективності заходів з утилізації ВЕР користуються показником вартості зекономленого палива $S_{ек}$ у гривнях, який визначають за формулою:

$$S_{ек} = B_{ек,уп} \cdot C_{т,уп}, \quad (63)$$

де $C_{т,уп}$ — вартість умовного палива масою 1 т на підприємстві, грн.;
 $B_{ек,уп}$ — економія умовного палива, т.

7.4 Термін окупності капітальних вкладень у заходи з використання ВЕР $P_{ок}$ у роках визначають за формулами:

$$P_{ок} = \frac{K_{вер}}{P_p} \quad (64)$$

або

$$P_{ок} = \frac{K_{вер}}{S_{ек} - C_{вер}}, \quad (65)$$

де $K_{вер}$ — капітальні вкладення в установку з використання ВЕР, грн.

Примітка. Показники P_p , $S_{ек}$, $C_{вер}$ беруть за рік.

Формулу (64) використовують, коли енергію ВЕР відпускають стороннім споживачам, а (65) — якщо споживають безпосередньо на підприємстві.

ДОДАТОК А
(довідковий)

НОМЕНКЛАТУРА ОСНОВНИХ ВИДІВ ВЕР

А.1 Пальні ВЕР

А.1.1 Чорна металургія

Доменний газ
Конверторний газ
Феросплавний газ

А.1.2 Нафтохімічна промисловість

Відхідний газ виробництва техвуглецю
Метано-воднева фракція виробництва етилену

Інші фракції виробництва етилену

Абгаз виробництва стиролу

Рідкі вуглеводні виробництва стиролу

Абгаз виробництва дивінілу з спирту

Абгаз виробництва дивінілу з бутану

Рідкі вуглеводні виробництва дивінілу

Кубові залишки виробництва дивінілу

Абгаз виробництва ізопрену з ізопентану

Абгаз виробництва ізопрену з ізобутилену

Рідкі вуглеводні виробництва ізопрену з ізопентану

Рідкі вуглеводні виробництва ізопрену з ізобутилену

Зідходи виробництва ізопропілбензолу

Фенольна смола

Кислий гудрон виробництва масел

Газ виробництва формаліну

Танкові гази виробництва аміаку

Спрацьовані нафтопродукти

Інші відходи нафтохімічних виробництв

А.1.3 Хімічна промисловість та промисловість мінеральних добрив

Пічний газ виробництва фосфору

Пальні гази виробництва аміаку:

- багатий газ
- танкові та продувальні гази
- ретурні гази
- окис-вуглецева фракція

Рідкі вуглеводні виробництва аміаку

Танкові та продувальні гази виробництва метанолу

Відхідні гази виробництва формаліну

Абгаз виробництва дивінілу

Продувальний газ виробництва капролактаму

Кубові залишки виробництва капролактаму

Кубові залишки синтезу вуглеводнів

Сажовий шлам виробництва ацетилену

Метано-воднева фракція виробництва етилену

Метано-воднева фракція виробництва синтетичного спирту

Надлишковий водень виробництва каустичної соди та хлору

Хвостовий газ виробництва оксиду етилену

Пічний газ виробництва карбиду кальцію

Хвостовий газ виробництва етилбензолу

Залишковий газ виробництва вуглеводнів

Пальні гази інших виробництв

А.1.4 Лісова та целюлозно-паперова промисловість

Упарені сульфатні луги

Упарені сульфитні луги

Упарені бардяні концентрати

Кора

Деревинні відходи

Кора й деревинні відходи

Інші пальні ВЕР

А.1.5 Гідролізна промисловість

Лігнін

А.1.6 Інші галузі промисловості

Відхідні пальні гази:

- вагранкові
- від прокалювання коксу і т. ін.

Рідкі пальні відходи:

- кубові залишки
- відпрацьовані нафтопродукти і т. ін.

Тверді пальні відходи:

- деревинні відходи
- костриця луб'яних волокон
- соняшникове лушпиння і т. ін.

А.2 Теплові ВЕР

А.2.1 Чорна металургія

Ентальпія відхідних газів:

- мартенівських печей і двохванних сталеплавильних агрегатів
- електросталеплавильних печей
- кисневих конверторів
- нагрівальних колодязів

• нагрівальних печей

• термічних печей

• печей випалювання

• доменних повітронагрівачів

• коксових печей

• агломераційних машин

• установок спалювання сірководню

- установок сіркоочищення коксового газу
- інших установок

Теплота охолодження:

- доменних печей
- клапанів повітрянагрівачів
- мартенівських печей
- нагрівальних печей
- кристалізаторів машин неперервного лиття заготовок (МНЛЗ)
- електросталеплавильних печей
- феросплавних печей, вагранок та інших агрегатів

Ентальпія коксу

Ентальпія шлаків:

• доменних

- сталеплавильних
- феросплавних

Ентальпія доменного газу

Ентальпія коксового газу

Інші види ВЕР

Надлишковий тиск доменного газу

А.2.2 Кольорова металургія

Ентальпія відхідних газів:

- печей випалювання
- шахтових печей
- конверторів
- агрегатів киснево-звженого циклонного електротермічного плавлення (КІЗЦЕТ)
- рудотермічних печей
- анодних печей
- шлакоперегінних установок
- вельц-печей
- вайербарсових печей
- печей для спалювання сірки
- трубчатих печей кальцінації
- печей прокалювання коксу
- спікальних машин
- дизель-генераторів
- інших установок

Теплота охолодження (теплота конденсування):

- печей випалювання (надлишкова теплота шару)
- відбивних печей
- шахтових печей
- рудотермічних печей
- шлакоперегінних установок
- інших установок

Ентальпія шлаків:

- відбивних печей
- шахтових печей
- рудотермічних печей
- шлакоперегінних установок
- агрегатів КІЗЦЕТ

- інших установок

Інші види ВЕР

А.2.3 Нафтоперероблення і нафтохімія

Перероблення нафти

Ентальпія димових газів та газів регенерації:

- установок первинного перероблення нафти
- установок каталітичного риформінгу
- установок каталітичного крекінгу
- установок гідрокрекінгу
- установки карбамідної депарафінізації
- установок виробництва мастил
- установок коксування
- установок «Парекс»
- установок гідроочищення
- установок одержання водню
- установок крекінгу парафінів
- установок одержання сірчаної кислоти
- установок одержання елементарної сірки
- установок спалювання шкідливої органіки

Ентальпія нафтопродуктів, які не повертають на регенеративне підігрівання сировини

Інші види ВЕР нафтоперероблення

Виробництво каучуків

Ентальпія:

- контактного газу виробництва дивінілу із спирту
- фузельної води виробництва дивінілу із спирту

Ентальпія контактного газу та газів регенерації:

- I стадії дегідрування виробництва дивінілу з бутану
- II стадії дегідрування виробництва дивінілу з бутану
- одностадійного виробництва дивінілу з бутану
- I стадії дегідрування виробництва ізопрену з ізопентану
- II стадії дегідрування виробництва ізопрену з ізопентану
- виробництва ізопрену з ізобутану і формальдегіду
- одержання формальдегіду з метанолу
- виробництва бутилкаучуку

Ентальпія охолоджувальної води:

- вузла охолодження контактного газу виробництва ізопрену

Ентальпія формальдегідної води

Ентальпія димових газів виробництва:

- стиролу
- етилбензолу

Інші види ВЕР виробництва каучуків

Виробництво етилену й етилового спирту

Ентальпія:

- димових газів печей піролізу
- піролізних газів (контактних)

- парогазової суміші у виробництві спирту
- контактних газів виробництва окису етилену
- продуктових газів виробництва бутилових спиртів

Інші види ВЕР виробництва етилену

Інші виробництва

Ентальпія:

- димових газів у виробництві аміаку
- конвертованих газів у виробництві аміаку
- нітрозних газів виробництва азотної кислоти
- відхідних газів у виробництві водяного газу
- продуктового потоку виробництва фталевого ангідриду

Інші види ВЕР

A.2.4 Хімічна промисловість і промисловість мінеральних добрив

Виробництво аміаку

Ентальпія газів, що відходять від трубчатих печей

Ентальпія охолоджувальної води

Ентальпія продукційних газів:

- колон синтезу
- конверторів природного газу і СО

Виробництво слабкої азотної кислоти

Ентальпія продукційних газів контактних апаратів

Ентальпія хвостових газів

Виробництво аміачної селітри

Теплота конденсату

Ентальпія продукційних газів апаратів ІТН

Виробництво метанолу

Ентальпія продукційних газів:

- конверторів природного газу
- колон синтезу

Теплота охолоджувальної води виносних теплообмінників колон синтезу

Виробництво синтетичних спиртів

Ентальпія:

- продуктів потоку реакторів
- газів, що відходять з окремих установок

Виробництво сечовини

Ентальпія продукційних газів колон синтезу

Теплота охолоджувальної води шнекових кристалізаторів

Ентальпія продукційних речовин (соковий пар):

- випарних колон
- відцентрових компресорів стиснення
- рециркульованих газів

Виробництво соляної кислоти

Ентальпія продукційних речовин печей синтезу

Ентальпія продукційних газів (хлористого водню):

печей-абсорберів

печей занурюваного горіння

Виробництво хімічних волокон

Ентальпія газів, що відходять із дивінільних печей

Теплота охолоджувальної води:

- промивальних ванн
- конденсаторів змішування теплообмінників
- випарних установок
- баратів, кнетерів

Виробництво карбиду кальцію

Ентальпія продукційного потоку

Виробництво ацетилену

Ентальпія піролізного газу

Ентальпія газів, що відходять з радіаційно-конвективних підігрівачів кисню та метану

Виробництво сірчаної кислоти

Ентальпія продукційного газу печей випалювання і контактних апаратів

Виробництво електролітичної каустичної соди

Ентальпія газів, що відходять з плавильних котлів каустика

Виробництво каустичної (хімічної) соди

Ентальпія фериту

Ентальпія відхідних газів:

- феритних печей
- плавильних котлів

Ентальпія конденсату

Виробництво кальцинованої соди

Ентальпія відхідних газів:

- печей обпалювання валняку
- кальцинованих содових печей

Ентальпія відходових продуктів (дистиляційних рідин) дистилерів

Виробництво фосфору

Ентальпія газів, що відходять з рудотермічних печей

Ентальпія шлаку

Теплота охолодження установок спалювання фосфору й одержання поліфосфорної кислоти

Виробництво знефторених фосфатів

Ентальпія відхідних газів:

- обертових прожарювальних печей
- циклонних печей

Виробництво скловолокна та склопластиків

Ентальпія димових газів скловарних печей

Теплота охолодження скловарних печей

Виробництво етилену, поліетилену і синтетичного спирту

Ентальпія:

- димових газів піролізних печей
- піролізного (контактного) газу
- парогазової суміші виробництва синтетичного спирту

Виробництво сірковуглецю

Ентальпія відхідних газів

Інші хімічні виробництва

Ентальпія продукційних газів

Ентальпія газів, що відходять з технологічних печей і агрегатів

Теплота охолодження

A.2.5 Лісова та целюлозно-паперова промисловість

Ентальпія газів сірчаних печей

Ентальпія плаву СРК

Теплота пароповітряної суміші паперово-та картонно-виробних машин

Ентальпія:

- газів, що відходять з печей лісохімічного виробництва
- газів, що відходять з установок термічного знешкодження відходів

Інші види ВЕР

A.2.6 Газова промисловість

Ентальпія відхідних газів:

- теплових двигунів компресорних станцій
- агрегатів перероблення газу на газопереробних заводах

A.2.7 Промисловість будівельних матеріалів

Ентальпія відхідних газів:

- обертових цементних печей
- скловарних печей
- печей випалювання керамзиту
- печей випалювання керамічних виробів вагранок

- інших технологічних печей

Теплота охолодження:

- корпусів обертових цементних печей
- скловарних печей
- вагранок
- компресорів
- інших агрегатів

Ентальпія спрацьованої пари в автоклавах

Інші види ВЕР

A.2.8 Машинобудування

Ентальпія відхідних газів:

- мартенівських печей
- нагрівальних печей
- термічних печей
- вагранок
- інших технологічних печей

Теплота охолодження:

- мартенівських печей
- нагрівальних печей
- вагранок
- компресорів

Ентальпія спрацьованої пари від пресів та молотів

Інші види ВЕР

A.2.9 Інші галузі промисловості

Ентальпія:

- газів, що відходять з технологічних печей
- нагрітої продукції

Теплота охолодження технологічних агрегатів

Ентальпія спрацьованої пари

Інші види ВЕР

ДОДАТОК Б
(довідковий)

УСЕРЕДНЕНІ ПИТОМІ ОБ'ЄМНІ ІЗОБАРНІ ТЕПЛОЄМНОСТІ ГАЗІВ
ЗА АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ 0,1013 МПа, кДЖ/(м³·°С)

t, °С	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂ O	Сухе повітря	Повітря	СО	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄
0	1,5998	1,2946	1,3059	1,4943	1,2971	1,319	1,2992	1,2766	1,5500	2,052
100	1,7002	1,2958	1,3176	1,5052	1,3004	1,325	1,3017	1,2908	1,6421	2,198
200	1,7873	1,2996	1,3352	1,5223	1,3071	1,332	1,3071	1,2971	1,7589	2,345
300	1,8627	1,3067	1,3561	1,5424	1,3172	1,342	1,3167	1,2992	1,8862	2,495
400	1,9296	1,3163	1,3775	1,5654	1,3289	1,354	1,3289	1,3021	2,0155	2,643
500	1,9887	1,3276	1,3980	1,5897	1,3427	1,368	1,3427	1,3050	2,1403	2,780
600	2,0411	1,3402	1,4168	1,6148	1,3565	1,383	1,3574	1,3080	2,2609	2,927
700	2,0883	1,3536	1,4344	1,6412	1,3708	1,397	1,3720	1,3121	2,3768	3,073
800	2,1311	1,3670	1,4499	1,6680	1,3842	1,411	1,3862	1,3167	2,4941	3,216
900	2,1692	1,3796	1,4645	1,6957	1,3976	1,425	1,3996	1,3226	2,6025	3,362
1000	2,2035	1,3917	1,4775	1,7229	1,4097	1,437	1,4126	1,3289	2,6992	3,508
1100	2,2349	1,4034	1,4892	1,7501	1,4214	1,450	1,4248	1,3360	2,7863	
1200	2,2638	1,4143	1,5005	1,7769	1,4327	1,461	1,4361	1,3431	2,8629	
1300	2,2898	1,4252	1,5106	1,8028	1,4432	1,472	1,4465	1,3511		
1400	2,3136	1,4348	1,5202	1,8280	1,4528	1,483	1,4566	1,3590		
1500	2,3354	1,4440	1,5294	1,8527	1,4620	1,493	1,4658	1,3674		
1600	2,3555	1,4528	1,5378	1,8761	1,4708	1,502	1,4746	1,3754		
1700	2,3743	1,4612	1,5462	1,8996	1,4788	1,510	1,4825	1,3833		
1800	2,3915	1,4687	1,5541	1,9213	1,4867	1,518	1,4901	1,3917		
1900	2,4074	1,4758	1,5617	1,9423	1,4939	1,526	1,4972	1,3996		
2000	2,4221	1,4825	1,5692	1,9628	1,5010	1,533	1,5039	1,4076		

ДОДАТОК В
(рекомендований)

**УСЕРЕДНЕНІ ПИТОМІ ПОКАЗНИКИ ВИХОДУ ОКРЕМИХ ВИДІВ ВЕР
У ГАЛУЗЯХ ПРОМИСЛОВОСТІ**

В.1 Чорна металургія

Пальні ВЕР

Вихід доменного газу в УП, кг/т чавуну	235
Можливе використання доменного газу в УП, кг/т чавуну	223
Вихід конверторного газу в УП, кг/т сталі	20

Теплові ВЕР

Можливий виробіток теплоти в системах випарного охолодження доменних печей і кауперів, ГДж/т чавуну	0,23
мартенівських печей, ГДж/т сталі	0,92
нагрівальних печей, ГДж/т прокату	0,30
кристалізаторів МНЛЗ, ГДж/т заготовок	0,22
у парогенераторах мартенівських печей, ГДж/т сталі	0,97
конверторів з допалюванням, ГДж/т сталі	0,90
конверторів без допалювання, ГДж/т сталі	0,16
нагрівальних печей, ГДж/т прокату	0,30
нагрівальних колодязів, ГДж/т заготовок	0,11
печей випалювання, ГДж/т вогнетривів	1,26
в установках сухого гасіння коксу, ГДж/т коксу	1,17

В.2 Кольорова металургія

Кількість теплоти відхідних газів: ±	
— відбивних печей у виробництві міді, ГДж/т штейну	3,4
— конверторів у виробництві міді, ГДж/т чорної міді	6,3
— печей випалювання у виробництві цинку, ГДж/т концентрату	2,6
— флюмінгових печей у виробництві свинцю, ГДж/т возгону	10,5
— руднотермічних печей, ГДж/т руди	0,72
Кількість теплоти охолодження шахтних печей:	
у виробництві свинцю, ГДж/т свинцю	1,26
печей плавлення агломерату нікелевих руд, ГДж/т агломерату	0,84
Кількість теплоти шлаку під час шахтного плавлення нікелевих руд, ГДж/т агломерату	1,9

В.3 Хімічна промисловість

Пальні ВЕР в умовному паливі

Ретурні гази у виробництві аміаку, кг/т аміаку	28,6—51,5
Танкові та продувальні гази у виробництві аміаку, кг/т аміаку	54,3—71,5
Оксид-вуглецева фракція у виробництві аміаку з промивкою газу рідким азотом (280–300 т/доб.), кг/т аміаку	81,5—94,4
Танкові гази у виробництві аміаку з промиванням газу рідким азотом (280–300 т/доб.), кг/т аміаку	4,6—6,4
Рідкі вуглеводні у виробництві аміаку в агрегатах потужністю 600 т/доб., кг/т аміаку	17,2
Танкові та продувальні гази у виробництві аміаку в агрегатах потужністю 1360 т/доб., кг/т аміаку	57,2

Рідкі вуглеводи у виробництві аміаку в агрегатах потужністю 1360 т/доб., кг/т аміаку	17,2
Танкові та продувальні гази у виробництві метанолу, кг/т метанолу	243—357
Сажовий шлам і вищі ацетиленові гомологи у виробництві ацетилену, кг/т ацетилену	215
Продувальний газ у виробництві капролактаму, кг/т капролактаму	34,3
Водень у виробництві капролактаму, кг/т капролактаму	45,8
Лічний газ у виробництві жовтого фосфору, кг/т жовтого фосфору	972—1340
Лічні гази у виробництві карбіду кальцію, кг/т карбіду кальцію	107
Відхідні гази у виробництві формаліну, кг/т формаліну	35
Хвостові гази у виробництві формаліну, кг/т формаліну	63
Метано-воднева фракція у виробництві етилену, кг/т етилену	500—700

Теплові ВЕР

Литома кількість теплоти:

конвертованих газів у виробництві аміаку, ГДж/т аміаку	1,3—2,9
синтез-газів у виробництві аміаку, ГДж/т аміаку	0,5—1,1
конвертованих газів у виробництві аміаку з промиванням газу рідким азотом (280—300 т/добу), ГДж/т аміаку	1,7—2,9
синтез-газів у виробництві аміаку з промиванням газу рідким азотом (280—300 т/добу), ГДж/т аміаку	0,5—1,1
димових газів у виробництві аміаку в агрегатах потужністю 1360 т/доб., ГДж/т аміаку	1,7
конвертованих газів у виробництві аміаку в агрегатах потужністю 1360 т/доб., ГДж/т аміаку	5,4—6,9
нітрозних газів у виробництві слабкої азотної кислоти під атмосферним тиском, ГДж/т слабкої азотної кислоти	3,1—3,3
нітрозних газів у виробництві слабкої азотної кислоти на агрегаті 45 тис.т/рік, ГДж/т слабкої азотної кислоти	2,9—3,3
відпрацьованих газів у виробництві слабкої азотної кислоти на агрегаті 45 тис.т/рік, ГДж/т слабкої азотної кислоти	2,1
нітрозних газів у виробництві слабкої азотної кислоти на агрегаті 120 тис.т/рік 400 тис. т/рік, ГДж/т слабкої азотної кислоти	4,6—5,0
хвостових газів у виробництві слабкої азотної кислоти на агрегаті 120 тис.т/рік 400 тис.т/рік, ГДж/т слабкої азотної кислоти	2,1
орокових парів у виробництві аміачної селітри, ГДж/т аміачної селітри	1,0—1,3
конвертованих газів у виробництві метанолу, ГДж/т метанолу	1,2—3,0
реакції синтезу у виробництві метанолу, ГДж/т метанолу	1,0—1,7
димових газів $t = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ у виробництві ацетилену, ГДж/т ацетилену	2,43
димових газів $t = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ у виробництві ацетилену, ГДж/т ацетилену	0,8
сірчистих газів у виробництві сірчаної кислоти із сірки, ГДж/т сірчаної кислоти	1,7—3,3
нагрітого огарку у виробництві сірчаної кислоти, ГДж/т сірчаної кислоти	0,25—0,33
нагрітої промивної кислоти у виробництві сірчаної кислоти, ГДж/т сірчаної кислоти	0,5—1,15
контактування у виробництві сірчаної кислоти, ГДж/т сірчаної кислоти	1,3—1,7
моногідрату у виробництві сірчаної кислоти, ГДж/т сірчаної кислоти	0,11—0,13
нагрітого вологого хлоргазу у виробництві каустичної соди діафрагменим методом, ГДж/т каустичної соди	0,8—1,7
осушеного хлору у виробництві каустичної соди діафрагменим методом, ГДж/т каустичної соди	0,04
димових газів у виробництві кальцинованої соди аміачним методом, ГДж/т кальцинованої соди	0,67—0,84

конденсату у виробництві кальцинованої соди аміачним методом, ГДж/т кальцинованої соди	0,84
дистилерної рідини у виробництві кальцинованої соди, ГДж/т кальцинованої соди	2,9—3,35
димових газів у виробництві монохромату натрію, ГДж/т монохромату натрію	6,3—7,5
нагрітого шлаку у виробництві жовтого фосфору, ГДж/т жовтого фосфору	12,6
нагрітого ферофосфору у виробництві жовтого фосфору, ГДж/т жовтого фосфору	0,13—0,17
нагрітого агломерату у виробництві жовтого фосфору, ГДж/т жовтого фосфору	5,4—6,3
димових газів у виробництві знефторених фосфатів гідротермічним методом, ГДж/т знефторених фосфатів	4,6
димових газів у виробництві знефторених фосфатів циклонною плавкою, ГДж/т знефторених фосфатів	11
димових газів у виробництві склокульок, ГДж/т склокульок	8,8
розплаву у виробництві карбїду кальцію, ГДж/т карбїду кальцію	2,9
парогазової суміші у виробництві етилену, ГДж/т етилену	3,8—5,9

В.4 Нафтоперероблення та нафтохімія

Пальні ВЕР в УП

Абгаз у виробництві синтетичного каучуку, т/т каучуку	0,8
Метано-воднева фракція у виробництві етилену, т/т етилену	1,4
Відхідний сажний газ, т/т сажі	1,0

Теплові ВЕР

Кількість теплоти у виробництві:	
— етилену, ГДж/т етилену	3,36
— синтетичного спирту, ГДж/т спирту	18,4
— синтетичних каучуків, ГДж/т каучуку	43,2
Кількість теплоти у:	
переробленні нафти, ГДж/т нафти	0,14
первинному переробленні нафти, ГДж/т нафти	0,20
— каталітичному крекінгу, ГДж/т нафти	0,80
— каталітичному риформінгу, ГДж/т сировини	0,50
Кількість теплоти під час гідроочищення:	
— дизельного палива, ГДж/т сировини	0,92
— гасу, ГДж/т сировини	0,77
Кількість теплоти під час гідрокрекінгу, ГДж/т сировини	0,23

В.5 Целюлозно-паперове виробництво

Кора та деревинні відходи	
— вихід у масі натурального продукту, кг/м ³	87
— можливе використання як палива (в УП), кг /м ³	13,4
Упарені луѓи сульфїтні, використовувані як паливо (в УП), кг /т целюлози сульфїтної	144
Упарені луѓи сульфатні, використовувані як паливо в (УП), кг/т целюлози сульфатної	442

ДОДАТОК Г
(довідковий)ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ВИХОДУ ВЕР
ТА ЕКОНОМІЇ ПАЛИВА ВНАСЛІДОК
ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Умова. Трубочата піч опалюється сірчистим мазутом з масовими частками вуглецю, водню, сірки, кисню, азоту, золи та вологи такого складу, у відсотках:

g_c	g_H	g_s	g_o	g_N	g_A	g_w
83,18	11,25	2,93	0,29	0,2	0,2	1,95

$$Q_c^0 = 39600 \text{ кДж/кг (9460 ккал/кг)}.$$

Температура відхідних газів на виході із печі $t_1 = 400$ °С, коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,25$. Річна витрата мазуту — 53,65 тис. т. За піччю планується встановлення котла-утилізатора. Температура відхідних газів за котлом-утилізатором $t_2 = 200$ °С. Підсоси повітря в котлі-утилізаторі $\alpha_{\text{теор}} = 0,15$.

Визначити вихід ВЕР, можливий виробіток пари та річну економію палива внаслідок упродовження котла-утилізатора. Питома витрата умовного палива на заміщуваній теплогенерувальній установці — $b_{\text{зуп}} = 44,2$ кг/ГДж.

Рішення. Теоретичну витрату повітря V_0 у кубічних метрах на кілограм спалюваного мазуту обчислюємо за формулою (23):

$$V_0 = 0,0899 (83,18 + 0,375 \cdot 2,93) + 0,265 \cdot 11,25 - 0,0333 \cdot 0,29 = 10,55.$$

Теоретичний об'єм сухих трьохатомних газів V_{RO_2} у кубічних метрах на кілограм спалюваного мазуту обчислюємо за формулою (20):

$$V_{RO_2} = 0,01866 (83,18 + 0,375 \cdot 2,93) = 1,57.$$

Теоретичний об'єм водяних парів $V_{H_2O}^0$ у кубічних метрах у разі спалювання кілограма мазуту обчислюємо за формулою (21):

$$V_{H_2O}^0 = \frac{8,94 \cdot 11,25 + 1,95}{80,4} + 0,0161 \cdot 10,55 = 1,45.$$

Теоретичний об'єм азоту $V_{N_2}^0$ у кубічних метрах в разі спалювання кілограма мазуту обчислюємо за формулою (22):

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 10,55 + 0,008 \cdot 0,2 = 8,33.$$

Ентальпію продуктів згоряння 1 кг мазуту H_1 у кілоджоулях на виході з печі за $t_1 = 400$ °С, $\alpha = 1,25$ і відповідних значеннях середніх об'ємних теплоємностей (із додатка Б) $c_{CO_2} = 1,937$, $c_{N_2} = 1,316$, $c_{H_2O} = 1,565$ і $c_n = 1,354$ кДж/(м³ · °С) обчислюємо за формулою (15):

$$H_1 = [1,937 \cdot 1,57 + 1,565 \cdot 1,45 + 1,316 \cdot 8,33 + 1,354 \cdot (1,25 - 1,0) \times 10,55] \cdot 400 = 7937,6.$$

Вихід ВЕР з відхідними газами Q_g^T у гігаджоулях за рік визначаємо за формулою (14):

$$Q_g^T = 53,65 \cdot 10^6 \cdot 7937,6 \cdot 10^{-6} = 4,258 \cdot 10^5.$$

Ентальпію продуктів згоряння 1 кг мазуту H_2 у кілоджоулях на виході з котла-утилізатора за $t_2 = 200$ °С, $\alpha = 1,4$ і відповідних значень середніх об'ємних теплоємностей $c_{CO_2} = 1,796$, $c_{N_2} = 1,3$, $c_{H_2O} = 1,522$ і $c_n = 1,332$ обчислюємо за формулою (15):

$$H_2 = [1,796 \cdot 1,57 + 1,522 \cdot 1,45 + 1,3 \cdot 8,33 + 1,332 \times \\ \times (1,4 - 1,0) \cdot 10,55] \cdot 200 = 4295.$$

Беручи значення $\xi = 0,1$ і $\beta = 0,95$ (відповідно до 4.13 і 5.1), обчислюємо можливий виробіток енергії внаслідок використання теплових ВЕР пари в котлі-утилізаторі Q_T у гігаджоулях за рік за формулою (46):

$$Q_T = 53,65 \cdot 10^6 \cdot (7937,6 - 4295) \cdot 0,95 (1 - 0,1) \cdot 10^{-6} = 167 \cdot 10^3.$$

Можливу економію умовного палива $B_{\text{екуп}}$ у тоннах за коефіцієнта використання виробітку $\sigma = 1$ обчислюємо за формулою (54):

$$B_{\text{екуп}} = 44,2 \cdot 10^{-3} \cdot 167,6 \cdot 10^3 \cdot 1,0 = 7380.$$

ДОДАТОК Д
(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) — под редакцией Н. В. Кузнецова, В. В. Митора, И. Е. Дубовского, Э. С. Красиной — М: Энергия, 1973. — 295 с.
- 2 Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей — М: Наука, 1972. — 720 с.
- 3 Равич М. Б. Эффективность использования топлива. — М: Наука, 1977. — 343 с.
- 4 Справочник «Металлургическое топливо» — под редакцией Сушкина И. Н. — М: Metallurgia, 1965. — 471 с.
- 5 Методика определения выхода и возможного использования вторичных энергетических ресурсов в черной металлургии (методика). — Киев, УкрНИИПиН, 1971. — 148 с.
- 6 Колобков П. С., Осипенко В. Д. Использование вторичных энергоресурсов черной металлургии. — Киев: Техника, 1979. — 168 с.
- 7 Тепловые и атомные электрические станции: Справочник/ Под общей редакцией В. А. Григорьева и В. М. Зорина. — М.: Энергоиздат, 1982. — 624 с.
- 8 Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник/ А. М. Бакластов, В. М. Бородинский, Б. П. Голубев и др.; Под общей ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. — М.: Энергоатомиздат; 1983. — 552 с.
- 9 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.

03.100.50

27.180

Ключові слова: вторинні енергетичні ресурси (ВЕР), пальні ВЕР, теплові ВЕР, ВЕР надлишкового тиску, вихід ВЕР, можливе (фактичне) використання ВЕР, використання виробітку, ентальпія, економія палива, кількість теплоти.

Редактор **Н. Куземська**
Технічний редактор **О. Касіч**
Коректор **С. Мельниченко**
Комп'ютерна верстка **І. Сохач**

Підписано до друку 05.09.2002. Формат 60 × 84 1/8.
Ум. друк. арк. 3,25. Зам. **2223** Ціна договірна.

Редакційно-видавничий відділ УкрНДІССІ
03150, Київ-150, вул. Горького, 174