

Вывод: разработан новый тип электрокоагулятора, в котором реализованы теория фракционированного коагулирования и электрохимической очистки воды, которые обеспечивают эффективное извлечение примесей и снижение энергозатрат.

Список литературы: 1. А.с. № 819064 СССР, МКИ С02F 1/46. Способ очистки сточных вод от масел / Гладкий А.И., Сокол Е.Я., Журков В.С., Сергеев В.Т. (СССР). – № 2556551/29-26; заявл.20.12.77; опубл.07.04.81, Бюл. №13. 2. А.с.№ 703511 СССР, МКИ С02С 5/04; С02С 5/12. Способ очистки сточных вод / Будиловский О.Я., Будрис Р.П., Добровольская П.П., Рыскин Е.Я. (СССР). – № 2567458/23-26; заявл.09.01.78; опубл. 15.12.79, Бюл.№ 46. –2с. 3. А.С.№ 1183457 СССР, МКИ С 02 F1/46. Аппарат для очистки жидкостей /Дмитриев В.Д., Новолавровский М.Б., Сулова И.А., Шапченко С.В. (СССР). – №3664257/23-26; заявл. 22.07.83; опубл. 07.10.85, Бюл.№37.– 2с. 4. А.с. № 1815937 А1 СССР, МКИ С02 F1/463. Устройство для электрохимической очистки сточных вод / Березуцкий В.В., Древаль А.Н., Есаулов С.М.(СССР). – №4344407/26; заявл. 15.12.87; Т. –2с.5. *Березуцкий В.В.* Аппарат для электрохимической очистки сточных вод Пат. №1691319 Российской Федерации. МКИ С02 F 1/463, №4452193/26; заявл. 04.07.88; опубл.15.11.91 Бюл. №42. 6. Апарат електрохімічного очищення стічних вод Патент на корисну модель №17651 / Березуцький В.В., Максименко О.А.; заявл. 07.03.2006 р. Надрук. 16.10.2006. Бюл. № 10.2006. 7. *Березуцький В.В.* Обеспечение безопасности при применении водных технологических эмульсий и растворов на производствах в металлообрабатывающих технологиях / В.В. Березуцкий – Харьков.: Факт, 2009 – 400 с.

Поступила в редколлегию 06.11.2011

УДК 504.06 : 656.13

Н. В. ВНУКОВА, канд. геогр. наук, доц., ХНАДУ, Харків

МЕТОДИКА ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОПЕРЕВЕЗЕНЬ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

В статті запропоновано методику ексергетичного аналізу технологічних процесів при розподілі енергії всіх видів для різних типів двигунів, яка погоджує технологічну схему процесу перетворення енергії (матеріальні потоки) з потоками енергії (ексергії) всіх форм.

Ключові слова: аналіз, технологічні процеси, паливо, ексергія.

В статье предложено методику эксергетического анализа технологических процессов при распределении энергии всех видов для разных типов двигателей, которая согласовывает технологическую схему процесса преобразования энергии (материальные потоки) с потоками энергии (эксергии) всех форм.

Ключевые слова: анализ, технологические процессы, топливо, эксергия.

In the article the method of exergy analysis of technological processes is offered at distributing of all kinds energy for the different types of engines, which coordinates the flow sheet of process of energy transformation (financial streams) with all forms energy streams (exergy).

Key words: analysis, technological processes, fuel, exergy.

1. Вступ

Органічне паливо, яке використовується в транспортних енергетичних установках являє собою складну хімічну речовину і принциповий підхід до

визначення його хімічної енергії й ексергії міг би бути таким же, якби був відомий його склад і характер зв'язків окремих елементів і груп.

Виділення в потоках енергії працездатної її частини (ексергії) дозволяє більш детально проаналізувати ефективність використання енергії різної якості в досліджуваному процесі, більш точно встановити місця й величини втрат ексергії на різних стадіях перетворення. Це дає можливість визначити крім енергетичного ще й ексергетичний ККД, що більш повно відбиває енергетичну досконалість перетворення енергії палива в механічну роботу.

2. Постановка завдання

Розробка методики ексергетичного аналізу розподілу енергії всіх видів для різних типів двигунів, яка може служити базою для вдосконалення основних вузлів та агрегатів при використанні різних видів палив.

3. Аналіз останніх досліджень

Зазначена проблематика відображена в роботах таких вчених та спеціалістів як: Кавтарадзе Д.М., Каніло П.М., Лаврик А.М., Абрамчук Ф.І., Куценко А.С., Лушпа А.І. та ін.

4. Формування цілей та викладення основного матеріалу

Повний енергобаланс технічної системи складається на підставі її матеріального балансу, даних хімічного аналізу, показань контрольно-вимірювальних приладів і спеціально організованих вимірів. Ступінь деталізації й точність розрахунку окремих його складових визначаються цілями й завданнями, які повинні бути досягнуті й вирішені з його допомогою. Найбільш складними для розрахунку є способи визначення значень хімічної енергії й ексергії.

Якщо стаття балансу являє собою чисту хімічну сполуку, то ці показники визначаються за значеннями хімічної енергії й ексергії елементів і простих речовин:

$$i_{x_z} = \sum_j m_j i_{x_j}^0 + \Delta H_z^0, \quad (1)$$

$$e_{x_z} = \sum_j m_j e_{x_j}^0 + \Delta G_z^0, \quad (2)$$

де $i_{x_j}^0$ й $e_{x_j}^0$ – відповідно хімічна енергія й ексергія j -го елемента (прості речовини), що входить до складу речовини z ;

m – кількість j -го елемента в молях;

ΔH_z^0 – стандартна теплота утворення, тобто зміна ентальпії при реакції утворення речовини z із простих речовин у стандартному стані;

ΔG_z^0 – стандартна вільна ентальпія (енергія Гіббса) утворення, тобто зміна ізобарного потенціалу при реакції утворення речовини z із простих речовин у стандартному стані.

В органічних видах палива за умов їх комплексного використання (рідких та газоподібних), як правило, неоднорідна структура. Тому згідно з (1), (2) i_z та e_z не можуть бути для них визначені, оскільки невідомі значення стандартної ентальпії й енергії Гіббса їх утворення.

Для розрахунку хімічної енергії палива використовуються такі загальновідомі його характеристики, як вища й нижча теплотворні здатності,

віднесені до горючої маси (Q^p, Q^c, Q^r), а також теплота згоряння ΔH_{cm}^0 . Для палив, які є чистими (однорідними) органічними речовинами, що не містять сірку й галогени, значення теплоти згоряння й вищої теплотворної здатності збігаються зі значенням хімічної енергії, тобто: $Q_b = \Delta H_{cm}^0 = i_x$. Якщо речовина містить у своєму складі елементи S, F, Cl, Br, I, які при згорянні утворюють енергетично знецінені сполуки, то його хімічна енергія буде відрізнятися від теплотворної здатності на величину хімічної енергії продукту згоряння всіх складових.

Для розрахунку хімічної ексергії можна використовувати спрощені засоби, засновані на відношенні ексергії до теплотворної здатності.

Формула для визначення хімічної ексергії рідкого палива, у молекулі якого втримується більше одного атома вуглецю, має вигляд:

$$e_x = 0,975 \cdot Q_b^p, \quad (3)$$

У випадку використання газоподібного палива, у молекулі якого втримується більше одного атома вуглецю, хімічна ексергії може бути знайдена за формулою:

$$e_x = 0,95 \cdot Q_b^p, \quad (4)$$

Зручні, але більш складні розрахункові формули для визначення значень хімічної ексергії технічних палив враховують такі загальновідомі якісні характеристики палив, як його зольність (A^p), вологість (W^p), вміст кисню (O^p) та ін.

Хімічна ексергія палив, що не є чистими сполуками, може бути оцінена на основі їх фізичних характеристик. З використанням цих характеристик, а також кореляційних відносин були оцінені середні молекулярні маси, вміст водню й виведена емпірична формула мазутів, бензинів, дизпалива. Потім розраховувалася хімічна ексергія розглянутого палива як чистої сполуки без урахування енергії Гіббса його утворення, оскільки дані свідчать про те, що для вуглеводнів це мала величина (<2%) відносно інших складових ексергії. Інакше кажучи, вуглеводневі палива можуть без великої помилки розглядатися як фізичні суміші вуглецю й водню.

Тому звичайно спеціальним аналізом визначається приблизно так званий раціональний склад досліджуваного матеріалу, при якому спрощено представляється як суміш складових його сполук. Тоді на основі значень хімічної енергії й ексергії елементів і сполук можна одержати характеристики для будь-якого матеріалу за допомогою формул:

$$i_x = \sum_j \nu_j i_{x_j}^0, \quad (5)$$

$$e_x = \sum_j \nu_j e_{x_j}^0, \quad (6)$$

де ν_j – частка j -го хімічного елемента або сполуки в розглянутому матеріалі.

В літературі наводяться значення хімічної енергії й ексергії 2000 найпоширеніших неорганічних і органічних сполук, які входять до складу різних палив.

Відомо, що ентальпія й ексергія теплового потоку, внесеного в систему або винесеного з неї з речовиною без урахування його кінетичної й потенційної енергії, зв'язані співвідношенням

$$i_q = (i_1 - i_0) = [e_q + (s_0 - s_1)T_0] = e_q + b_q, \quad (7)$$

де i_1 та i_0 – питома ентальпія речовини у початковому й кінцевому стані, відповідно параметрам навколишнього середовища ($p_0 = 0,101 \text{ МПа}$; $T_0 = 298,15 \text{ К}$);

s_1 та s_0 – питома ентропія речовини відповідно при тих же параметрах;

e_q та b_q – відповідно ексергія й енергія речовини.

Отже, для визначення енергії й ексергії речовини в потоці необхідно мати у своєму розпорядженні значення їх ентальпії й ентропії. Ці дані можуть бути отримані зі спеціальних таблиць і діаграм або обчислені приблизно за формулами, які наведено нижче.

Якщо є довідкові дані про функцію теплоємності розглянутої речовини для відповідного інтервалу температур, а також значення температур і теплот структурних і фазових його змін, ентальпія може бути розрахована за формулою:

$$i_q \approx q = \int_{T_0}^{T_{cm}} c_p^I(T) dT + \Delta H_{cm} + \int_{T_{cm}}^{T_{nl}} c_p^{II}(T) dT + \Delta H_{nl} + \int_{T_{nl}}^{T_1} c_p^{III}(T) dT, \quad (8)$$

де $c_p^I(T)$, $c_p^{II}(T)$, $c_p^{III}(T)$ – функції теплоємності розглянутої речовини для відповідного інтервалу температур;

ΔH_{cm} , ΔH_{nl} – теплота структурного перетворення;

T_{cm} , T_{nl} – відповідно температури структурного перетворення;

q – тепломісткість речовини при розрахунковій температурі.

Зміну ентропії в ізобарному процесі, у якому в загальному випадку можуть відбуватися структурні й фазові змін, при наявності зазначених вище вихідних даних можна знайти, використовуючи вираження:

$$\Delta s = s_1 - s_0 \approx \int_{T_0}^{T_{cm}} \frac{c_p^I}{T} dT + \frac{\Delta H_{cm}}{T_{cm}} + \int_{T_{cm}}^{T_{nl}} \frac{c_p^{II}(T)}{T} dT + \frac{\Delta H_{nl}}{T_{nl}} + \int_{T_{nl}}^{T_1} \frac{c_p^{III}(T)}{T} dT, \quad (9)$$

Якщо для речовини, яка розглядається, відсутні функції теплоємності від температури, можна скористатися значеннями середньої теплоємності для відповідних інтервалів температури. У цьому випадку для підрахунку зміни ентальпії й ентропії речовини можна скористатися наступними рівняннями:

$$i_q = i_1 - i_0 \approx q \cdot \bar{c}_p \cdot (T_1 - T_0), \quad (10)$$

та

$$\Delta s = \bar{c}_p \cdot \ln \frac{T_1}{T_0}, \quad (11)$$

де \bar{c}_p – середня теплоємність речовини в шуканих інтервалах температури.

Під ексергією тепла, що утворюється в процесі згоряння палива з температурою T_1 , розуміється максимальна корисна робота, що може бути отримана за умови, що холодним джерелом є навколишнє середовище з температурою T_0 . Як відомо, така робота може бути отримана в оборотному

циклі Карно. При цьому величина ексергії при постійній температурі гарячого джерела дорівнює:

$$e_q = q \left(1 - \frac{T_1}{T_0} \right), \quad (12)$$

а у випадку змінної його температури:

$$e_q = q - T_0 \cdot \int_1^2 \frac{dq}{T} = q - T_0 \Delta s, \quad (13)$$

де Δs – зменшення ентропії гарячого джерела при переході зі стану 1 у стан 2.

З огляду на те, що ексергія не підкоряється закону збереження, при складанні балансу у видаткову частину вводяться величини втрат ексергії, що обумовлені термодинамічною необоротністю процесу. Зазначені втрати визначаються законом Гюї – Стодоли:

$$\delta E = T_0 \cdot \Delta S^*, \quad (14)$$

де δE – втрати ексергії, обумовлені необоротністю процесу;

ΔS^* – сумарне збільшення ентропії системи, включаючи всі речовини, що беруть участь у процесі.

У той же час дослідження процесів перетворення енергії та утворення шкідливих речовин на основі повного енергетичного балансу дозволяє при рішенні великого класу загальноенергетичних завдань, для яких не потрібен детальний аналіз цих втрат, позбутися цієї трудомісткої процедури. Сумарні втрати від необоротності в досліджуваному процесі можуть бути знайдені як різниця потоку ексергії вхідних і вихідних матеріальних та енергетичних потоків.

Повний енергобаланс дає картину розподілу енергії (ексергії) всіх видів для різних типів двигунів, фактичного її використання в цих об'єктах з урахуванням втрат на транспорт енергоресурсів. Така методика тісно погоджує технологічну схему процесу перетворення енергії (матеріальні потоки) з потоками енергії (ексергії) всіх форм, а тому вона може служити базою для вдосконалювання основних вузлів та агрегатів при використанні різних видів палив. Інформація такого роду корисна не тільки фахівцям, що займаються питаннями експлуатації, але й прогнозування потреби у тому чи іншому виді палива та його впливу на навколишнє середовище. Вона може підказати їм нові рішення по компонуванню устаткування, що призводять до зниження втрат енергії на транспорті, сприяти розробці комплексу заходів, що дозволяють підвищити ефективність функціонування систем «автомобіль-дорога-середовище» за рахунок раціонального сполучення транспортних потоків та окремих їх об'єктів – транспортних засобів.

Дослідження повних енергетичних балансів автотранспортних систем мають різні цілі, найважливішими з яких є:

- встановлення ефективності енерговикористання палива існуючою інфраструктурою;
- виявлення місць і причин виникнення невинуватених втрат енергії (ексергії) палива;
- розробка заходів, спрямованих на скорочення втрат і зниження негативного впливу на оточуюче середовище;

- формування науково обґрунтованих норм витрати енергоносіїв на транспортування продукції з урахуванням індексу шкідливих викидів, у тому числі парникових газів;

- дослідження граничних показників по енергоспоживанню й енерговикористанню при застосуванні традиційних технічних засобів та встановлення обмежень на викиди шкідливих речовин.

До числа найважливіших завдань, розв'язуваних на основі вивчення енергобалансу, відноситься встановлення рівня корисного використання енергії палива на транспортному засобі, тобто ККД.

Величини, що входять у повний енергобаланс, дозволяють визначити як енергетичний $\eta_{ен}$, так і ексергетичний $\eta_{екс}$ ККД досліджуваного типу ТЕУ. Принцип їх розрахунку однаковий: потрібно скласти відношення, у чисельник якого підставляється відповідний корисний ефект, а в знаменник – сумарні витрати енергії або ексергії, тобто:

$$\eta_{ен} = \frac{\sum I_{кор}}{\sum I_{випр}}, \quad (15)$$

$$\eta_{екс} = \frac{\sum E_{кор}}{E_{випр}}, \quad (16)$$

При розрахунку енергетичного ККД у загальному випадку не враховується різна якість енергетичних потоків, і, строго кажучи, цей показник придатний для оцінки ступеня досконалості процесів, на здійснення яких витрачається безентропійна енергія.

При цьому в окремих випадках, коли досліджується процес, корисний ефект якого й витрати, пов'язані з його проведенням, виражаються безентропійною енергією, величини енергетичного й ексергетичного ККД можуть збігатися. Якщо ж у процесі використовується енергія різної якості, тоді термодинамічна досконалість характеризується ексергетичним ККД.

5. Висновки

Ексергетичний метод аналізу дозволяє правильно оцінити втрати, які можуть бути знайдені з енергетичного (теплового) балансу. При цьому іноді міняється подання про характер цих втрат і їх впливі на економічність процесів. У той же час метод дозволяє виявити втрати, які не виявляються при аналізі стандартними методами, але досить істотно впливають на термодинамічну ефективність процесу. До таких втрат відносяться: втрати через необоротність хімічних реакцій, зокрема реакцій горіння палива, та втрати при нерівноважному теплообміні в елементах ТЕУ. Втрати ексергії в тому або іншому процесі, які характеризують його необоротність, є незворотними. Втрати ж, викликані поганою експлуатацією устаткування, неякісним його використанням і т. і., за допомогою різних заходів можна звести до мінімуму.

На підставі результатів повного енергетичного балансу здійснюється ранжування втрат енергії з того погляду, які з них є неминучими, які можуть бути знижені за рахунок повернення тепла назад у процес на основі рекуперації (наприклад, турбонаддув у ДВЗ).

До числа найважливіших завдань, які розв'язують на основі вивчення фактичних енергобалансів, відноситься завдання визначення величини

вторинних енергоресурсів (ВЕР) як діючих, так і проєктованих енергетичних установок, які можуть бути включені в майбутньому в схему енергоперетворень. З погляду використання ВЕР бажано знати не тільки їх інтегральну величину за деякий період часу, але й режим надходження від кожного технологічного ланцюга АТС. Аналіз енергетичного балансу, представлений у вигляді потоків енергії й ексергії, дозволяє встановити місце й причини виникнення найбільших втрат енергії всіх видів. Величина ексергії, характеризуючи здатність енергії до здійснення роботи або перетворення її в будь-який інший вид, може служити необхідною й достатньою характеристикою величини теоретично придатних для подальшого використання ресурсів. Так, величина хімічної ексергії у відходах виробництва (відпрацьоване мастило, шини і т. і.) характеризує потенційні можливості використання їх як сировини або напівпродукту для подальшої переробки або в якості горючих вторинних енергоресурсів.

Однак за результатами повного енергетичного балансу може бути визначена лише величина теоретично придатних ВЕР, їх потенціал, що є лише первинною інформацією при дослідженні резервів енергозбереження по цьому напрямку. Подальше завдання - визначити технічно придатні, а потім і економічно доцільні шляхи їх використання.

Список літератури: 1. *Кавтарадзе Д.Н.* Автомобильные дороги в экологических системах (проблемы взаимодействия) [Текст] / Д.Н. Кавтарадзе, Л.Ф. Николаева, Е.Б. Поршнева, Н.Б. Флорова.- М.: ЧеРо, 1999. – 240 с. 2. *Канило П.М.* Энергетические и экологические характеристики ГТД при использовании углеводородных топлив и водорода [Текст] / Канило П.М., Подгорный А.Н., Христин В.А. – К.: Наукова думка, 1987. – 224 с. 3. *Бар Д.У.* Влияние топлив с расширенным фракционным составом на камеры сгорания авиационных газотурбинных двигателей [Текст] / Д.У. Бар // Аэрокосмическая техника. – 1989. – Т.1, № 8. – С. 117-125. 4. *Лушпа А.И.* Основы химической термодинамики и кинетики химических реакций [Текст] / Лушпа А.И. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с. 5. *Куценко А.С.* Математическое моделирование и идентификация рабочих процессов ДВС на альтернативных топливах: дис. доктора техн. наук: 05.14.05 / Куценко Александр Сергеевич. – Харьков, 1996. – 321 с. 6. *Абрамчук Ф.И.* Расчет процесса сгорания газового двигателя с высокоэнергетической системой зажигания / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Кабанов, С.В. Салдаев // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Х.: ХНАДУ. – 2006. – Вып. 18. – С. 100-103. 7. *Частухин В.И.* Топливо и теория горения [Текст] / В.И. Частухин, В.В. Частухин. – К.: Вища школа, 1999. – 223 с. 8. *Лаврик А.Н.* Многопливные двигатели: обзор «Автомобильные двигатели и аппаратура» [Текст] / А.Н. Лаврик, Е.А. Лазарев, А.П. Ставров.-Челябинск: ЧПИ, 1972.-68 с.-(Серия IV).

Поступила в редколлегию 06.11.2011