

напрошується висновок про доцільність напрацювання цілеспрямованого комплексу запобіжних заходів та важелів впливу безпосередньо на процес їх створення.

Враховуючи те, що виробництво харчової продукції – це якісний показник, який впливає на загальний рівень продовольчої галузі, тому, у підсумку, усунення потенційних загроз та своєчасне їх вирішення будуть продукувати підвищення, як рівня життя всіх верств населення, так і конкурентоспроможності та престижності продукції на зовнішніх ринках.

Перелік використаних джерел:

1. Системи швидкого сповіщення про непродовольчі товари, що створюють серйозний ризик: URL: http://ec.europa.eu/consumers/archive/safety/rapex/index_en.htm/
2. Європейська Комісія. Річний звіт RASFF 2020, Офіс публікацій, 2021. URL: https://ec.europa.eu/food/safety/rasff-food-and-feed-safety-alerts_en
3. Ємченко І.В. ЗАХОДИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ПРО НЕБЕЗПЕЧНІ ХАРЧОВІ ПРОДУКТИ НА РИНКУ ЄС. Товарознавчий вісник: збірник наукових праць. Випуск 15, частина 2. Редкол.: ред. Пахолюк О.В., відп. секретар Передрій О.І. Луцьк, 2022. С. 124-135. URL: <http://tovvisnik.lutsk-ntu.com.ua/index.php/tovvisnik/article/view/236/206>
4. Головне управління Держпродспоживслужби в Івано-Франківській області URL: <https://lfr.if.ua/derzhprodspozhivsluzhba-informuye>
5. Державна служба України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів. URL: <https://www.gudpss-zp.gov.ua/?page=news&id=2149>
6. Головне управління Держспоживслужби в Тернопільській області. URL: <https://new.dpss-te.gov.ua/> https://www.facebook.com/Dpssternopil/?locale=uk_UA
7. Сирохман І. В. Сучасні проблеми безпеки і якості харчових продуктів. Огляд. Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча. 2014. Вип. 14. С. 168-171.

УДК 620.92:66.045.3:624.131.6

Балабан Степан

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів і машин
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
м. Тернопіль, Україна

Каспрук Володимир

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри будівельної механіки
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
м. Тернопіль, Україна

Stepan Balaban

PhD (Engineering), Docent
Associate Professor of the Design of Machine Tools, Instruments and Machines Department
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine

Volodymyr Kaspruk

PhD (Engineering), Docent
Associate Professor of Construction mechanics Department
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine

**ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛА ВІДПРАЦЬОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ ЯК ЗАСІБ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕКОЛОГО – ЕКОНОМІЧНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВОК
REUSE OF HEAT FROM EXHAUST PROCESS GASES AS A MEANS OF
INCREASING THE ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF POWER
GENERATING UNITS**

В останні десятиліття глобальні зміни клімату вважаються однією з найважливіших проблем, які необхідно вирішувати людству. До основних причин таких змін відносять збільшення парникових газів в атмосфері Землі та теплове забруднення довкілля. Координації зусиль по боротьбі з цими явищами присвячується робота кліматичних самітів. Особливе місце серед них займають саміти у Кіото та Глазго. Результатом роботи Кіотського кліматичного саміту є підписання міжнародної угоди про обмеження висидів в атмосферу парникових газів – «Кіотського протоколу». Головна мета угоди: стабілізація рівня концентрації парникових газів в атмосфері на рівні, який не допускав би небезпечного антропогенного впливу на кліматичну систему планети. Кіотський протокол передбачає торгівлю сертифікатами на викиди парникових газів. Учасники кліматичного саміту у Глазго затвердили спільну декларацію – «Кліматичний пакт Глазго», який зобов'язує скорочувати використання викопних видів палива, і зокрема вугілля, як найбільш руйнівного для екології.

Кількість викидів парникових газів оцінюють у CO₂ еквіваленті. За одиницю вимірювання рекомендовано використовувати вуглецеву квоту, яка рівна викидам однієї тони вуглекислого газу. Для збільшення економічної зацікавленості об'єктів господарювання у зменшенні викидів парникових газів і використання викопних видів палива на території ЄС діють правила міжнародної торгівлі вуглецевими квотами. У випадку скорочення викидів парникових газів в атмосферу об'єкт господарювання отримує можливість продавати невикористані вуглецеві квоти.

Одним з найбільш ефективних і простих методів економії вуглецевих квот є повторне використання тепла відпрацьованих технологічних газів [1,2,3]. Запропоноване технологічне рішення дозволяє одночасно скоротити використання енергоносіїв і зменшити теплове забруднення довкілля. Повторно використовувати тепло відпрацьованих технологічних газів можна шляхом охолодження їх у теплообміннику з одночасним нагріванням у даному теплообміннику атмосферного повітря, яке необхідно подавати у енергогенеруючу установку. В результаті охолодження 1м³ відпрацьованих технологічних газів на 10⁰К виділяється 13кДж теплової енергії [4].

Кількість органічного палива, яку необхідно спалити щоб одержати таку кількість теплової енергії залежить від його теплотворної здатності. Теплотворна здатність деяких видів палива і процентний вміст вуглецю у ньому наведені у таблиці №1 [5]. Склад і властивості природного газу змінюються у дуже великому діапазоні. Тому для розрахунків обрано природний газ з параметрами: густина сухого газу $\rho=0,78\text{кг/м}^3$; теплотворна здатність $Q_H=33100\text{кДж/м}^3=42435\text{кДж/кг}$; склад сухого газу CH₄ - 91,6%; C₂H₆ – 1,6%; C₃H₈ – 0,8%; C₄H₁₀ – 0,4%; C₅H₁₂ – 0,2%; CO₂ – 0,6%. Враховуючи атомну масу вуглецю і водню визначаємо, що сумарний вміст вуглецю у вуглеводневих сполуках що входять до складу обраного природного газу становить 71,8%.

Обчислення кількості органічного палива для одержання необхідної кількості тепла Q₀ використовуємо формулу:

$$m = Q_0 / Q_H \quad (1)$$

Підставляючи у рівняння (1) теплотворну здатність приведених у таблиці №1 енергоносіїв, визначаємо їхню масу, необхідну для одержання 13 кДж теплової енергії. Отримані результати розрахунків приведені у таблиці №1.

Під час проведення розрахунків кількості вуглекислого газу, що виділяється в результаті спалювання необхідної кількості органічного енергоносія враховуємо, що за умов повного окислення, при спалюванні 1 кг вуглецю утворюється 3,67 кг вуглекислого газу [7]. У такому випадку кількість викидів вуглекислого газу m_{CO_2} при спалюванні m органічного енергоносія обчислюємо за формулою:

$$m_{CO_2} = \frac{3,67 mn}{100}, \quad (2)$$

де n – процентний вміст вуглецю у робочій масі конкретного органічного енергоносія.
Отримані результати розрахунків приведені у таблиці 1.

Таблиця 1

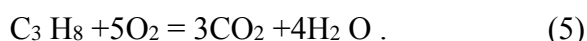
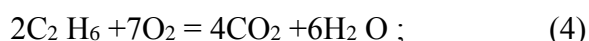
Кількість окремих видів органічного палива і вуглецевих квот необхідних для одержання 13кДж теплової енергії

Енергоносій	Вміст вуглецю, n , %	Теплотворна здатність, Q_n , кДж/кг	Маса енергоносія, $m \times 10^{-4}$, кг	Маса CO_2 , $m_{CO_2} \times 10^{-4}$, кг
Природний газ	71,8	42435	3,06	8,06
Кам'яне вугілля	69,8	20265	6,42	16,45
Буре вугілля	23	12603	10,32	8,71
Торф	57,8	10719	12,12	25,71
Дрова (дуб)	50,7	13124	9,91	18,44
Дрова (тополя)	48,8	9001	14,44	25,86
Солома (пшенична)	40	18000	7,22	10,6

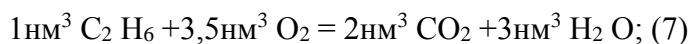
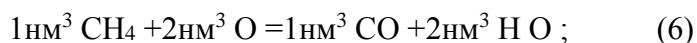
Таким чином, за умов спалювання у енергогенеруючій установці природного газу, в результаті охолодження 1 м³ відпрацьованих технологічних газів на 10⁰К і поверненні отриманого тепла у технологічний процес можна скоротити використання енергоносія на 3,06×10⁻⁴ кг і зменшити викиди вуглекислого газу в атмосферу на 8,06×10⁻⁴кг. Аналогічний прогноз можна зробити для інших видів палива.

Як відомо, антропогенні парникові гази, що викидаються енергогенеруючими установками в яких утилізуються відходи біомаси, сміття, енергія стічних вод та інших відновлюваних органічних енергоносіїв не регулюються Кіотським протоколом [5].

За повного згоряння газоподібного палива основна маса вуглекислого газу утворюється в результаті хімічних реакцій окиснення метану (CH₄), етану (C₂H₆) і пропану (C₃H₈):



Рівняння (3) - (5) можна переписати так:



де, нм нормальний метр кубічний газу за тиску 1 атм і температурі 0°С

До таких енергоносіїв відносять відходи деревини і соломи. Таким чином всю теплову енергію одержану в результаті їх спалювання можна перераховувати як економію вуглецевих квот.

Для прикладу використання результатів приведених розрахунків проведемо аналіз очікуваного екологічного і економічного ефекту від реалізації охолодження відпрацьованих технологічних газів печі А2ШБГ. Для технологічних потреб у печі спалюють природний газ. В умовах оптимального режиму роботи з печі виділяється в атмосферу відпрацьований технологічний газ в кількості $L=1955\text{м}^3/\text{год}$ з температурою $T_1=433^0\text{К}$. Використання

пластинчатого протитокового теплообмінника «повітря - повітря» з поверхнею теплообміну $F=25\text{м}^2$ дозволить охолодити дану кількість відпрацьованих технологічних газів до температури $T_2=313^0\text{К}$ [6].

З урахуванням вище викладеного для обчислення кількості M зекономленого природного газу в результаті повторного використання отриманої теплової енергії використовуємо формулу:

$$M = \frac{mL(T_1 - T_2)}{10} = 3,06 \times 10^{-4} \times (433 - 313) / 10 = 7,18 \text{ кг/год}, \quad (9)$$

Для обчислення економії викидів вуглекислого газу використовуємо формулу:

$$M_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}L(T_1 - T_2)}{10} = 8,06 \times 10^{-4} \times 1955 \times (433 - 313) / 10 = 18,9 \text{ кг/год}, \quad (10)$$

Таким чином, на протязі 53 годин роботи системи повторного використання тепла відпрацьованих технологічних газів на печі А2ШБГ дозволить зменшити викиди вуглекислого газу на 1 тону, що рівне одній вуглецевій квоті. При цьому економія природного газу становитиме 380 кг або 488 м³.

Аналогічні розрахунки можна виконати для процесу згоряння інших видів органічних енергоносіїв.

Перелік використаних джерел:

1. Особливості використання утилізації тепла на енергозатратному обладнанні підприємств первинної переробки сільськогосподарської продукції / С. М. Балабан, М. І. Дуда // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Б. М. «Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно – технологічних машин», 23-24 вересня 2021р. Тернопіль: 2021. С.45.

2. Обґрунтування вибору схеми рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів на підприємствах / І. Я. Стадник, С. М. Балабан, В. Б. Каспрук, А. В. Деркач // Екологічна безпека держави: тези доповідей Другого всеукраїнського круглого столу, м. Київ, 15 грудня 2021 року/ редкол. О. С. Волошкіна та ін. К.: ІТТА, 2021. С.120-123. № 619285-ЕРР-1-2020-1-FI-ЕРРКА2 СВНЕ-JP (15.11.2020 – 14.11.2023).

3. Про деякі особливості впровадження енергозберігаючих технологій на підприємствах переробної та харчової промисловості / С. М. Балабан, В. Б. Каспрук // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90 – річчю від дня народження професора Рибак Тимофія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики», 29-30 вересня 2022 р. Тернопіль: 2022. С. 81-82.

4. Stadnyk I., Balaban S., Kaspruk V. and Derkach A. (2022). Assessment of economic expediency of heat utilization technology use at food industry enterprises. Galician economic journal, vol. 77, no 4, pp. 7-12.

5. Косинчук О. В. Визначення зменшення викидів парникових газів за рахунок використання відновлюваних джерел енергії / О. В. Косинчук, Г. Г. Кондратюк, Н. М. Козлова, Є. Г. Новицька // Журнал «Наукоємні технології» Том 5. № 1. 2010. С. 98-102.

6. Про особливості моделі розрахунку оптимального режиму рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів / С. М. Балабан, В. Б. Каспрук // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої пам'яті професора Шаблія Олега Миколайовича та 60-річчю кафедри теоретичної механіки «Математичні методи та моделі технічних і економічних систем», 22-23 листопада 2022 р. Тернопіль: 2022. С. 108-110