

Секція 4
ПРИКЛАДНІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІКИ В ЗАДАЧАХ
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 621.646:621.783.2

С.М. Балабан, к.т.н., доц.; В. Б. Каспрук, к.т.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПРО ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ
РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛА ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ

S. Balaban, Ph.D, Assoc. Prof.; V.Kaspruc, Ph.D, Assoc. Prof.

PECULIARITIES OF THE MODEL FOR CALCULATING THE OPTIMAL
MODE OF HEAT RECOVERY OF WASTE PROCESS GASES

Abstract. The objective of the investigation is to reveal the effect of exhaust technological gases on the environment while reducing the consumption of primary fuel and energy resources due to the decrease of exhaust technological gases temperature. The problem of saving fuel resources while reducing the energy-intensity cost of the product unit with simultaneous increase of its quality in the baking process in industrial furnaces and drying in dryers is considered and analyzed. Analysis of the constructions of thermal installations with the improvement of the combustion process and the form of contact of the thermal agent with products and materials undergoing heat treatment is carried out.

Зростаючі темпи збільшення кількості основних парникових газів в атмосфері та енергетичне і теплове забруднення довкілля є основними причинами глобальної зміни клімату. Вирішенню даної проблеми присвятив свою роботу кліматичний саміт у Глазго в 2021 році. Його учасники затвердили спільну декларацію «Кліматичний пакт «Глазго» серед основних завдань якого зазначено зниження глобальних викидів вуглекислого газу до 2030 року, порівняно з 2010 роком на 45%. Для досягнення поставленої мети ряд країн зобов'язалися скоротити використання метану на 30%.

Такого результату можна досягнути шляхом впровадження у промисловості ефективних заходів із енергозбереження при рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів з подальшим його використанням у технологічних процесах [1]. Повторне використання тепла відпрацьованих технологічних газів дозволить суттєво скоротити використання первинних енергоносіїв на виробництві і знизити собівартість продукції. Так зниження температури кожного метра кубічного відпрацьованих технологічних газів на 10 градусів дозволить економити 10 кДж теплової енергії.

Успішне впровадження у виробництво процесу рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів у значній мірі залежить від правильного вибору способу повторного використання одержаного тепла [2]. Оскільки параметри відпрацьованих технологічних газів не залежать від кліматичних умов і практично не змінюються для стабільної роботи технологічного обладнання необхідно забезпечити постійне використання тепла одержаного шляхом рекуперації. Ідеальним варіантом, у цьому випадку, є нагрівання повітря перед подачею його в обладнання відпрацьовані технологічні гази з якого охолоджуються в процесі рекуперації.

Як зазначено у літературних джерелах [3], охолоджуючи технологічні гази печей або сушарок і нагріваючи одержаним теплом атмосферне повітря перед подачею у печі або сушарки можна досягнути суттєвої економії енергетичних ресурсів, які необхідні для організації технологічних процесів. Максимальну глибину охолодження відпрацьованих технологічних газів забезпечує використання теплових насосів. Теплові насоси здатні

охолоджувати відпрацьовані технологічні гази до температури нижчої від температури точки роси. Отже в них може відбуватися конденсація водяної пари, що дозволяє одержати додаткову енергію для нагрівання атмосферного повітря і зменшити викиди в атмосферу водяної пари, яку відносять до парникових газів.

Досвід проектування та експлуатації технологічних ліній з використанням теплових насосів показує, що із зростанням температури гарячого теплового агента різко зростають затрати на організацію роботи теплових насосів. Вважається, що теплові насоси доцільно використовувати у випадках коли температура гарячих теплових агентів не перевищує 40°C . Таким чином, перед охолодженням у тепловому насосі відпрацьовані технологічні гази, температура яких перевищує 40°C , охолоджують у теплообміннику.

Враховуючи складність проведення реконструкції працюючого обладнання і вартість теплообмінних агрегатів модель розрахунку оптимального режиму рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів передбачає проведення реконструкції у два етапи. На першому етапі пропонується встановлення теплообмінника «повітря – повітря». Другий етап реконструкції передбачає встановлення теплового насоса. Під час організації процесу теплообміну відпрацьовані технологічні гази виконують роль гарячого теплового агента, атмосферне повітря виконує роль холодного теплового агента. Запропонована схема теплообміну передбачає роботу теплообмінника в автономному режимі. При цьому запропонована модель розрахунку оптимального режиму рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів передбачає використання пластинчастого теплообмінника із зустрічним рухом теплових агентів.

Для стабільної роботи теплового насоса необхідно забезпечити поступлення гарячого теплового агента з постійною температурою. Тому теплообмін у теплообміннику доцільно проводити у режимі охолодження сталої кількості гарячого теплового агента до постійної температури. Отже модель розрахунку оптимального режиму рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів передбачає, що процес теплообміну у теплообміннику проходить за умов постійних початкової T_{g1} і кінцевої T_{g2} температур гарячого теплового агента і змінних, в залежності від температурних режимів навколишнього середовища, початкової T_{x1} і кінцевої T_{x2} температур холодного теплового агента. Попередньо підігрітий холодний тепловий агент подають у зону згоряння первинного паливно – енергетичного ресурсу. В процесі горіння утворюються технологічні гази, які забезпечують передбачені технологічними умовами температурний і аеродинамічний режими. В результаті зміни температури холодного теплового агента змінюється розхід первинного паливно – енергетичного ресурсу. Оскільки, на даному етапі досліджень, за розходом первинного паливно – енергетичного ресурсу оцінюють економічну ефективність впровадження повторного використання тепла відпрацьованих технологічних газів у виробництво, важливо знати вплив кінцевої температури холодного теплового агента на цей розхід.

Запропонована модель розрахунку оптимального режиму рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів дозволяє виконати попередній розрахунок зміни розходу первинного паливно – енергетичного ресурсу при зміні кінцевої температури холодного теплового агента. Для розв'язання вказаної задачі необхідно знати до якої максимальної температури можна нагрівати холодний тепловий агент у заданих умовах. Відомі способи розрахунку теплообмінних процесів не дозволяють вирішити це питання. Запропонована модель передбачає встановлення залежності об'ємного розходу холодного теплового агента Lx від його початкової температури при різних значеннях кінцевої температури для конкретного технологічного обладнання і параметрів технологічного процесу. Одержана залежність $Lx=f(T_{x1})$ дозволяє встановити до якої максимальної температури можна нагрівати холодний тепловий агент у теплообміннику, якщо відома його початкова температура. Отримані результати використовують для розрахунку зміни розходу первинного паливно – енергетичного ресурсу в результаті

подачу в зону згоряння попередньо підігрітого атмосферного повітря. Зміна розходу первинного паливно – енергетичного ресурсу приводить до зміни розходу холодного теплового агенту, а відповідно і його кінцевої температури. Для розрахунку вказаного процесу передбачено встановлення впливу початкової температури холодного теплового агенту на його кінцеву температуру для різних розходів. В процесі проведених досліджень в межах зміни початкової температури холодного теплового агенту - $30^{\circ}\text{C} \leq T_{x1} \leq +30^{\circ}\text{C}$ встановлено, що залежність $T_{x2}=f(T_{x1})$ має пряmlinійний характер, а процес описується рівнянням

$$T_{x2}=AT_{x1}+B.$$

Запропоновану модель розрахунку оптимального режиму рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів використано для попереднього розрахунку ефективності реконструкції печі А2ШБТ з встановленням теплообмінного обладнання для організації рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів і попереднього підігріву атмосферного повітря перед подачею його в піч. В якості первинного паливно – енергетичного ресурсу передбачено використання природного газу теплотворна здатність якого становить $33,5 \text{ мДж/м}^3$. Максимальна температура технологічних газів в печі $+280^{\circ}\text{C}$. Параметри відпрацьованих технологічних газів: об'ємний розхід – $0,543 \text{ м}^3/\text{с}$; температура – $+160^{\circ}\text{C}$. Введення в експлуатацію системи рекуперації передбачено виконувати у два етапи. На першому етапі пропонується встановлення пластинчастого теплообмінника «повітря – повітря» із зустрічним рухом теплових агентів. В якості холодного теплового агенту використовують атмосферне повітря температура якого змінюється від -30°C до $+30^{\circ}\text{C}$.

Розрахунок теплообмінника проводиться з урахуванням подальшого охолодження відпрацьованих технологічних газів у конденсаторі теплового насоса. Тобто температура відпрацьованих технологічних газів на виході з теплообмінника рівна $+40^{\circ}\text{C}$. За результатами розрахунків необхідний режим охолодження відпрацьованих технологічних газів забезпечує пластинчастий теплообмінник з площею поверхні теплообміну $16,7 \text{ м}^2$. За прийнятих умов теплообміну температура попередньо нагрітого атмосферного повітря може змінюватися від $+70^{\circ}\text{C}$ до 140°C . Відповідно кількість рекуперованого тепла на першому етапі реконструкції може досягати 230 мДж/год , що дозволить економити $7 \text{ м}^3/\text{год}$ природного газу.

Література

1. Балабан С. М., Дуда М. І. Особливості використання утилізації тепла на енерго затратному обладнанні підприємств первинної переробки сільськогосподарської продукції // 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 2021 р. – Тернопіль: 2021. – С. 45.

2. Стадник І. Я., Балабан С. М., Каспрук В. Б., Деркач А. В. Обґрунтування вибору схеми рекуперації тепла відпрацьованих технологічних газів на підприємствах // 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-ФІ-ЕРРКА2 СВНЕ-ЖР (15.11.2020 – 14.11.2023)

3. Балабан С. М., Каспрук В. Б. Про деякі особливості впровадження енергозберігаючих технологій на підприємствах переробної та харчової промисловості // Збірник тез доповідей Міжнародної науково – практичної конференції, присвяченої 90 – річчю від дня народження професора Рибак Тимотія 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.