

Величини f_1 , f_2 і \mathcal{Q} , отримані в результаті дослідження, зведено у табл.1.

Таблиця 1 – Величини питомої поверхні нагрівання, питомого об'єму й живого перетину, отримані в результаті дослідження для різних типів насадок при $a = 60$ мм до $a = 100$ мм

Показники Тип насадок	a = 60 мм			a = 100 мм		
	$f_1, \text{м}^2/\text{м}^3$	$\mathcal{Q}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$f_2, \text{м}^2/\text{м}^2$	$f_1, \text{м}^2/\text{м}^3$	$\mathcal{Q}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$f_2, \text{м}^2/\text{м}^2$
Насадка Сименса	20,551	0,523	0,238	15,923	0,376	0,346
Насадка Петерсена (для b = 65 мм)	22,98	0,637	0,255	17,928	0,490	0,354
Насадка Петерсена (для b = 75 мм)	19,503	0,637	0,225	15,689	0,490	0,321
Насадка із брускової цегли	23,573	0,523	0,238	18,727	0,376	0,346
Насадка Каупера	15,36	0,770	0,230	14,692	0,633	0,367

Висновки. 1. Визначено основні характеристики насадок, а саме: питомої поверхні нагрівання, питомого об'єму й живого перетину (Сименса, брускова, Петерсена 65 і Петерсена 75) за допомогою методу апроксимації.

2. Розроблені апроксимаційні залежності дозволяють здійснювати розрахунок без використання графічного методу, який має обмеження стосовно розмірів чарунок.

3. Перевірка даної методики на адекватність показала, що похибка розрахунку основних характеристик насадок не перевищує 1%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теплотехнические расчёты металлургических печей / под общ. ред. А.С.Телегина. – М.: Металлургия, 1970. – 528с.
2. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ / Дьяконов В.П. – М.: Наука, 1987. – 240с.

Надійшла до редколегії 05.03.2015.

УДК 621.311.004.18

ПАБАТ А.І., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ІННОВАЦІЙНИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Вступ. В останні роки підвищення ефективності енергетики ЖКГ і насамперед ефективності використання палива пов'язують в основному з двома технологіями: 1) з використанням кисню як окислювача; 2) з високотемпературним підігрівом повітря за рахунок глибокої утилізації теплоти вихідних газів унаслідок застосування регенеративних пальників. Якоюсь мірою ці технології можна розглядати як конкуруючі, кожна з них має і переваги, і недоліки, тому вибір тієї чи іншої технології залежить від конкретних обставин для кожного об'єкта.

В Україні і країнах СНД кисень у нагрівальних печах і пристроях не застосовується. За літературними даними технології використання кисню одержали широке по-

ширення в США, Швеції, Німеччині, Франції, Південній Кореї, де його широко використовують на різних технологічних об'єктах завдяки різним результатам – питомі витрати палива і викиди оксидів азоту знижуються в кілька разів.

Газокисневе опалення одержує усе більш широке поширення, і основним спонукальним аргументом у цьому випадку є зниження викидів оксидів азоту з димовими газами. Ефективність застосування кисню як окислювача при спалюванні газів визначається по суті одним фактором – виключенням баластового азоту з участі в процесі спалювання палива. Як наслідок, фізичні основи ефективності застосування кисню включають такі параметри: високу температуру горіння; високу концентрацію теплової потужності; невеликий у порівнянні з горінням у повітрі обсяг продуктів згорання палива, отже, менший винос тепла з димовими газами при однаковій температурі; турбулізацію потоку продуктів горіння, що збільшує тепловіддачу конвекцією; збільшення теплового потоку внаслідок підвищення концентрації в продуктах горіння випромінюючих триатомних газів; рекомбінацію дисоційованих продуктів згорання на поверхні, що нагрівається, з передачею їй значної частини схованої теплоти рекомбінації в технологіях прямого опалення газокисневим полум'ям.

Постановка задачі. Фізичні і технологічні аспекти використання кисню наступні. Швидкість поширення полум'я водню в суміші з киснем у 4,2 рази і метану в 10,0 разів вища в порівнянні із сумішами з повітрям і складає 11,75 і 3,95 м/с. Межі запалення генерованого продуктами горіння CO у кисні істотно відрізняються від таких для інших газів, що пояснюється каталітичним впливом парів води на горіння CO.

Залежність температури горіння від концентрації кисню в окислювачі для природного газу наведена на рис. 1.

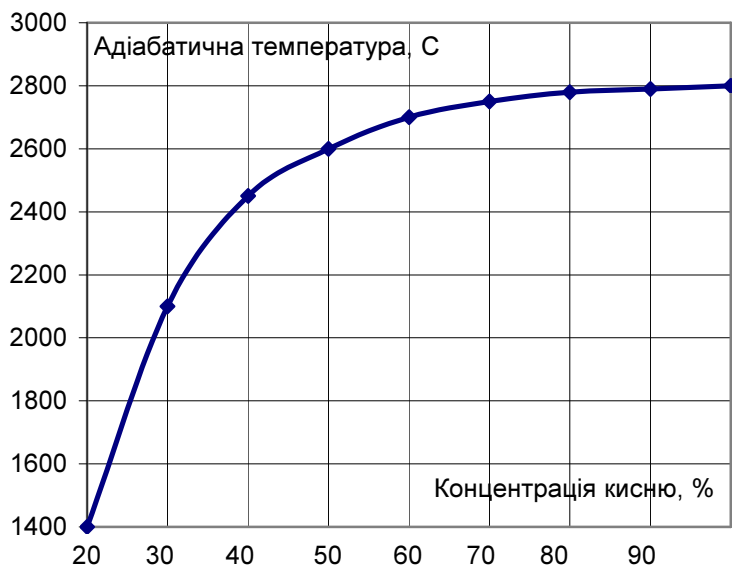


Рисунок 1 – Залежність температури горіння від концентрації кисню

Зокрема, основний підйом температури горіння відбувається до концентрації кисню 50%, а при більш високих концентраціях ріст температури сповільнюється внаслідок збільшення витрати теплоти на дисоціацію продуктів горіння. Температура горіння, наприклад, природного газу при такому збагаченні така ж, яку можна було б досягти при підігріві повітря до 1450°C, що практично нереально. Вигода від підвищення температури горіння в кисні очевидна – це зростання теплового потоку від полум'я пропорційно тем-

пературі в ступені 3,5. Однак, високі температури середовища можуть бути не тільки благом, але при неправильному використанні кисню призвести до місцевих перегрівів і руйнувань теплового захисту приладів опалення. Іншим стримуючим застосування кисню технологічним фактором є небезпека збільшення з димовими газами викидів токсичних оксидів азоту. Обидві ці небезпеки усуваються при використанні технологій, що одержали назву FLOX (Flameless Oxy-fuel – безполум'яне газокисневе спалювання), чи DOC (Diluted Oxygen Combustion – спалювання з киснем при розведенні). Вони іде-

нтичні і являють собою не традиційне безполум'яне спалювання, а спалювання в полум'ї, яке стає невидимим при температурах вище 850 °С. Паливо і кисень подаються з високими швидкостями витікання із сопел газокисневих пальників, так що спалювання відбувається в полум'ї, відірваному від зрізу пальника. На ділянці відриву в струмінь інjektуються продукти згоряння і завдяки розведенню газокисневого полум'я більш холодними продуктами горіння температура смолоскипа знижується і у деяких випадках може бути нижча, ніж при спалюванні з повітрям. Одночасно знижується і концентрація оксидів азоту.

Одним з факторів, що найбільш помітно впливають на підвищення ефективності використання палив при їхньому спалюванні з киснем, є зменшення обсягу продуктів згоряння в порівнянні зі спалюванням у повітрі. У скільки разів зменшується обсяг продуктів згоряння, у стільки ж разів підвищується ефективність використання палива (при однаковій температурі газів при спалюванні з невідігрітим повітрям). Для тради-

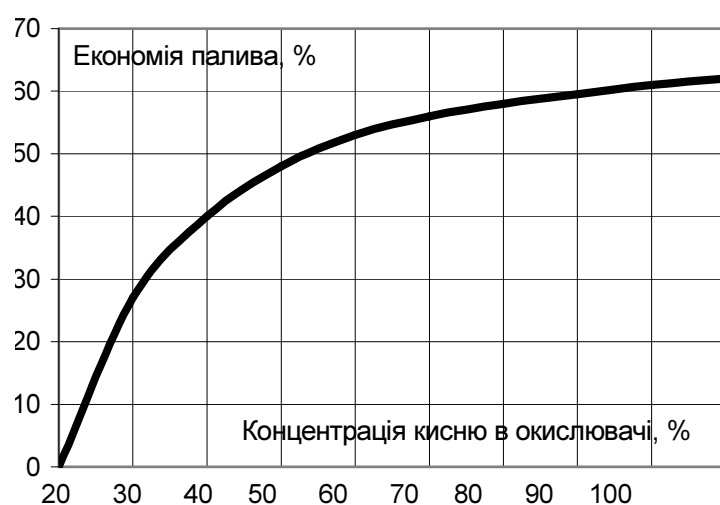


Рисунок 2 – Залежність ефективності використання палива від концентрації кисню

ційних газових палив обсяг димових газів знижується приблизно в 3,5 рази. Однак, це не означає, що витрата палива обов'язково зменшиться в стільки ж разів, тому що на практиці температура димових газів газокисневого полум'я за умовами теплообміну виявляється трохи вищою, ніж газоповітряних [1]. Економію палива від застосування кисню в якості окислювача представлено на рис.2.

В технологіях опалення ЖКГ кисень в якості окислювача ніколи не застосовувався насамперед внаслідок

Таблиця 1 – Способи одержання кисню

Способи одержання кисню	Чистота по кисню, %	Тиск поставки, бар	Енерговитрати, КВт-г/м ³
Криогенні установки	70-99	0,2-17,5	330-360
Доставка в рідкому вигляді	99,5	17,5	1000-1150
Мембранна технологія	28-35	0,07	350-370

високої вартості, відсутності прийнятних технологій видобутку та доставки. На сьогодні використання кисню в технологіях опалення ЖКГ стало можливим завдяки промислового видобутку кисню за використання мембранних технологій (табл.1), які забезпечують видобуток кисню вартістю 300-350 грн/м³ в об'ємі 50-100 м³ за добу при тиску 0,07 бар навіть без використання електричних компресорів за рахунок власної тяги приладів опалення, що видається економічно доцільним насамперед для індивідуального опалення особливо за надмірної вартості природного газу.

Інтенсивний розвиток технологій мембранного поділу малих молекул відбувався в 60-і роки ХХ століття, що було викликано необхідністю створення умов автономного

життєзабезпечення в підводних і космічних апаратах. Як мембрану було використано суцільний матеріал – тонка, $\sim 1\mu\text{м}$, полімерна плівка, поверхня якої складає сотні квадратних метрів в одному модулі. Мембрана – перегородка, що розділяє об'єм на дві частини. Фізичний принцип поділу ґрунтується на прояві розходження структурних властивостей молекул кисню й азоту. Зокрема, через розходження кінетичних діаметрів (кисень $\text{O}_2 \sim 3,46\text{Å}$, азот $\text{N}_2 \sim 3,64\text{Å}$) кисень, як менший, може швидше переміщатися в матеріалі мембрани, і, отже, у більшій кількості накопичуватися в іншому об'ємі – принцип різного опору руху. Мала відмінність діаметрів ($\sim 8\%$) робить процес повітряного розподілу досить тонким. Існує правило: чим вищий ступінь поділу, тим менша пропускна здатність. Зокрема полімерна мембрана Японської корпорації **Matsushita** представлена на ринку як кондиціонер, що створює підвищену концентрацію кисню ($\sim 27\%$) у приміщеннях, розташованих на загазованих автомобілями вулицях. Рамкова конструкція – аналог розробки 60-х років. Працює під дією розрідження, забирає повітря з вулиці. Інша технологія – цеоліти – пористі міцні алюмосилікатні кристали з дуже складною структурою, елементарна цеглинка якої містить багато десятків атомів. Їхні пори правильної форми, з'єднуючись між собою через «вікна», утворюють усередині кристалів правильну мережу наскрізних каналів (галерей). На початку 80-х років розроблено технологія одержання полікристалічних монолітів з порошоків цеоліту («вікна» – $2,2\text{Å}$) і похідних від нього рядів нестехіометричних содалітів, що зберігають фізичні властивості вихідних мікрокристаліків. Тоді ж на спосіб і матеріал були отримані патенти Японії, США, Англії, Італії, Франції, ФРН і Швеції. Монолітна полікристалічна пластинка цеоліту товщиною $0,3\text{ мм}$ – оптично прозора, щільність відповідає кристалічній, за механічними властивостями близька до скла, вібростійка, допускає механічне очищення і мийку, працездатна у всьому діапазоні температур, включаючи високі, до межі стійкості цеоліту, витримує високі тиски. Порошок цеоліту із придатними для розділення повітря каналами пресується так, щоб виник склоподібний, монолітний блок зі структурою вихідних мікрокристаліків. Далі блок ріжуть на пластинки і використовують їх як мембрани.

Оцінки показують, що пристрій з цеолітовою мембраною для випадків задоволення потреби людини в надлишковому кисні може розміститися в габаритах, близьких до сірникової коробки. Мембрана також захистить від пилу, мікробів, неприємних запахів, отруйних речовин. Вона може бути використана не тільки в окремих цілях і умовах, але стати повсякденним пристроєм кожної людини, змінити стиль життя. За рахунок повного спалювання можна додатково одержати близько 20% енергії при відсутності токсичних викидів. З підвищенням концентрації кисню процес горіння інтенсифікується, це відкриває можливість використання різних нових видів палива, включаючи біопаливо і сміття, без істотних підготовчих перетворень. Технологічний прорив у процесах поділу має обвальні наслідки для індустрії вуглеводнів. Кінцевий ефект буде полягати в зниженні на 75% енергетичної складової у продукції і на 60% – у капітальних витратах.

Результати роботи. Розробка має відношення до теплотехніки і може бути використана при спалювання палива в системах опалення побутових, сушильних, підігрівальних, термічних, плавильних печей, парових і водогрійних казанів та інших теплових агрегатів.

Відомий спосіб підвищення тепловіддачі продуктів згорання палива, переважно побутових печей, який полягає в одержанні безпосередньо самих продуктів згорання шляхом спалювання палива в печі з наступним відбором у продуктів згорання тепла за допомогою розігріву ними нагрівальних елементів печі зі збільшенням довжини каналів для відводу продуктів згорання в димар, а основний потік продуктів згорання після його одержання розділяють, як мінімум, на два додаткових проміжних потоки шляхом установки на шляху основного потоку профільованого екрана з вікнами, переважно у

його периферійній зоні, і направляють отримані додаткові проміжні потоки продуктів згоряння через згадані вікна до стінок печі, після чого кожен додатковий проміжний потік продуктів згоряння розвертають і пропускають його по каналах уздовж стінок печі в її частині, розташованій в безпосередній близькості біля труби, потім розвертають додаткові проміжні потоки продуктів згоряння, переважно всі, як мінімум, один раз, назустріч один одному і додають кожному згаданому потоку обертальний рух, переважно по спіралі, потім перемішують додаткові проміжні обертові потоки продуктів згоряння між собою і направляють основний обертовий потік, що утворився, продуктів згоряння в димар [2].

Недоліком способу підвищення тепловіддачі продуктів згоряння палива є низька ефективність використання теплової енергії палива внаслідок необхідності підігріву інертного атмосферного азоту, який вносить з продуктами згоряння значну частину теплової енергії, яка погано піддається рекуперації.

В основу розробки поставлена задача удосконалення способу підвищення тепловіддачі продуктів згоряння палива за допомогою зменшення концентрації азоту і збільшення концентрації кисню в подаваному на горіння атмосферному повітрі, що збільшує ефективність використання енергії палива внаслідок збільшення повноти згоряння палива і зменшення виносу частини теплової енергії з димовими газами (патент).

Поставлена задача досягається тим, що в способі підвищення тепловіддачі продуктів згоряння палива, який полягає в одержанні безпосередньо самих продуктів згоряння шляхом спалювання палива в печі з наступним відбором у продуктів згоряння тепла за допомогою розігріву ними нагрівальних елементів печі, процес спалювання палива здійснюють у збідненому азотом повітрі з підвищеною концентрацією кисню [3].

Збільшення концентрації кисню в подаваному на горіння атмосферному повітрі збільшує повноту згоряння палива, що збільшує енергетичні показники нагрівального обладнання і зменшує частку екологічно шкідливих продуктів згоряння та пилу в димових газах.

Зменшення концентрації азоту в подаваному на горіння повітрі зменшує витрати теплової енергії на нагрівання інертного азоту, який вноситься з димовими газами та зменшує концентрацію окислів азоту в димових газах, що збільшує енергетичні показники нагрівального устаткування і поліпшує екологічні характеристики процесу спалювання палива.

На рис.3 наведено залежність ефективності нагрівального устаткування при зменшенні концентрації азоту.

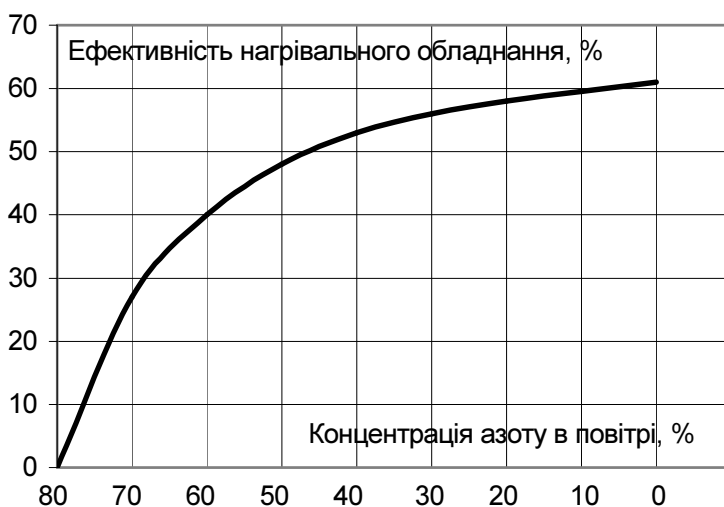


Рисунок 3 – Залежність ефективності нагрівального устаткування при зменшенні концентрації азоту

Реалізація способу підвищення тепловіддачі продуктів згоряння палива здійснюється в такий спосіб. Використовуване для горіння атмосферне повітря піддають сепарації за допомогою молекулярних сит, що збільшує концентрацію кисню при одночасному зниженні концентрації азоту. Ефективність застосування кисню як окислювача при спалюванні палив визначається насамперед підвищенням температури згоряння палив (рис.1).

Одним з факторів, які найбільш помітно впливають на підвищення ефективності використання палив при їхньому спалюванні зі зниженою концентрацією азоту є зменшення обсягу продуктів згорання в порівнянні зі спалюванням у повітрі. У скільки разів зменшується обсяг продуктів згорання, у стільки ж разів підвищується ефективність використання палива (при однаковій температурі газів при спалюванні з невідігрітим повітрям), і для традиційних палив обсяг димових газів знижується приблизно в 2-3 рази.

На сьогодні використання кисню в технологіях опалення стало можливим завдяки промислому видобутку кисню за використання мембранних технологій, які забезпечують сепарацію повітря та видобуток кисню вартістю 30-35 грн/м³ за рахунок власної тяги приладів опалення навіть без використання електричних компресорів, що видається економічно доцільним насамперед для індивідуального опалення особливо за надмірної вартості природного газу.

Висновки. Таким чином, використання способу підвищення тепловіддачі продуктів згорання палива внаслідок зменшення концентрації азоту і збільшення концентрації кисню в подаваному на горіння атмосферному повітрі дійсно збільшує ефективність використання енергії палива внаслідок збільшення повноти згорання палива і зменшення виносу частини теплової енергії з димовими газами та поліпшує екологічні характеристики приладів опалення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карп И.Н. Продукты сгорания природного газа при высоких температурах / Карп И.Н., Сорока Б.С., Дашевский Л.Н., Семерница С.Д. – Киев : Техника, 1997. – 380с.
2. Патент № 2446360 Российская Федерация, МПК⁷ F24B5/0, F24B7/00. Способ повышения теплоотдачи продуктов сгорания топлива бытовых печей / Ферингер А.П.; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью „Завод Ферингер и К.” – № 2010142429/03; заявл. 19.10.10; опубл. 27.03. 12, Бюл. № 18.
3. Патент № 94757 Україна, МПК F24B 5/00, F24B 7/00. Спосіб підвищення тепловіддачі продуктів згорання палива / Пабат А.І., Кирєєв В.П., Гречин К.О.; заявник і власник патенту Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № U 201407316; заявл. 01.07. 14; опубл. 25.11.14, Бюл. № 22.

Надійшла до редколегії 05.03.2015.

УДК 666.1.031.2/.6:66.042.882.2

АГЕЕВ К.В., аспірант
ДЕНИСОВА А.Е., д.т.н., професор

Одесский национальный политехнический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕКУПЕРАТОРОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Введение. Наибольшие перспективы для промышленной энергетики имеют вихревые теплообменники с активными гидрогазодинамическими режимами (циклонные и вихревые), анализ эффективности которых показывает, что указанные устройства по критерию энергетической эффективности значительно превосходят теплообменники других типов [1]. Следует отметить, что в современных работах по теории вихрей [2, 3] предложены различные модели вихревых процессов, имеющих ряд неточностей из-за несогласованности подхода к результатам исследований. Поэтому необходим комплексный подход к изучению гидрогазодинамических процессов теплообмена в аппаратах с вихревыми спиральными структурами потоков. Наиболее перспективным с точки зрения практического применения теории вихрей является экспериментальное и