**Згурський Володимир Олександрович. РОЗВИТОК МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ РАДІАЦІЙНОГО ТЕПЛООБМІНУ В НИЗЬКОЕМІСІЙНИХ ТОПКАХ : Дис... канд. наук: 05.14.06 - 2007.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Згурський В.O. Розвиток методу розрахунку радіаційного теплообміну в низькоемісійних топках.**–Рукопис.  Дисертація на здобуття ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06. – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Інститут газу НАН України, Київ, 2007.  Розроблено метод розрахунку радіаційного теплообміну в топкових системах на основі процедур Монте-Карло (МК-метод). Комплекс математичних моделей має універсальний характер і дозволяє враховувати складну геометрію топок і процеси низькоемісійного спалювання природного газу. Селективність випромінювання продуктів згоряння враховується за допомогою моделі зваженої суми сірих газів (Х. Хоттеля). Уперше запропоновано для МК-методу використовувати однорідні координати та матричне представлення геометричних перетворень. Процес горіння метану розглядався за спрощеним механізмом проф. Б. Сороки.  Проведено аналіз шляхів підвищення продуктивності нагрівальних печей на металургійному комбінаті DUNAFERR (Угорщина). Доведена можливість 15% збільшення їхньої продуктивності із забезпеченням технологічних вимог щодо рівномірності температур у слябі на виході з печі.  Проведено розрахунок котельної топки з пальником типу FIRB двоступінчастого горіння з рециркуляцією продуктів горіння для водогрійного котла “HOST Boiler”, США. Рекомендована оптимальна геометрія пальникової системи та значення коефіцієнту надлишку первинного повітря p0.75...0.8, яке забезпечує найменший вихід NOх при експлуатації топки.  Виконано кількісний розрахунок радіаційного теплообміну та теплосприйняття секції для котлів типу ДКВР (6.5/13 і 10/13), ГМ–50, БКЗ–75 при фундаментальній постановці задачі. Проведено аналіз впливу рециркуляції на ефективність використання палива і зниження викидів NOx для котла ТВГ–8.  Визначено, що метод Монте-Карло є дієвим засобом розрахунку як інтегрального (осередненого), так і локального теплового стану котельної топки та окремих її вузлів. | |
| |  | | --- | | **1**. Визначено, що метод Монте-Карло (МК-метод) є найбільш дієвим засобом розрахунку як інтегрального (або усередненого для топки), так і локального теплового стану котельної топки та окремих її вузлів, який дає можливість врахувати конструкцію топки і режими її експлуатації, в т.ч. викликані екологічними потребами (зміна складу палива, окислювача, введення додаткових компонентів: рециркулюючих продуктів згоряння, пари тощо).  **2.** Розвинуто удосконалений МК-метод розрахунку радіаційного теплообміну в нескінченому шарі селективного випромінююче-поглинаючого газу із заміною шару елементами кінцевих розмірів з бічними дзеркальними стінками – як засіб для визначення конкретних процедур реалізації методу. МК-метод тестувався шляхом зіставлення з результатами, отриманими із використанням таких відомих методів: багаторазових відбиттів; інтегро-експоненціальних E-функцій; наближеного методу ефективних потоків.  **3.** Виявлено вплив на вірогідність, точність розрахунків та час розрахунків найважливіших параметрів моделювання:  репрезентативного об'єму розрахункового простору;  розмірів зон, з яких складається топковий простір;  відносної залишкової енергії променів при їхніх багаторазових відбиттях;  кількості ітераційних процедур;  кількості розрахункових зон та числа променів, що виходять із зони, та видані рекомендації щодо чисельних значень кожного з параметрів для практичної реалізації МК-методу.  **4.** Розроблено МК-метод для розрахунку топок, з урахуванням селективності випромінювання продуктів згоряння, які заповнюють топковий простір, шляхом використання моделі випромінювання реального газового середовища у вигляді зваженої суми сірих газів з ваговими коефіцієнтами, які залежать тільки від температури зони – випромінювача.  **5.** Розроблено універсальні математичні моделі із застосуванням процедур Монте-Карло та комп'ютерну програму розрахунку радіаційного теплообміну в паливовикористовуючому обладнанні, що працює на вуглеводневому паливі. Надані рекомендації щодо вибору визначальних характеристик: кількість променів в кожній зоні 105–107, відносна залишкова енергія 0.005. Отримані значення є оптимальними за критерієм “точність/ час розрахунку”.  **6.** Виконано оцінку фундаментальних значень кутових коефіцієнтів випромінювання між плоскими й циліндричними поверхнями різного взаємного розташування. Підтверджено та уточнено значення більшості кутових коефіцієнтів із числа табульованих у відомих літературних джерелах, в включаючи у порівнянні з наближенням другого порядку (для системи двох прямокутників), а також виявлено геометричні системи, для яких були опубліковані помилкові значення та розрахункові вирази. Для останніх випадків винайдені коректні значення кутових коефіцієнтів.  **7.** Шляхом порівняння результатів розрахунку теплообміну за допомогою МК-процедур з зональним методом Х. Хоттеля і потоковим методом для випадків печей та топок (H. Kremer, E. Scholand, А.С. Невський) доведено, що МК-метод доцільно використовувати для розрахунку локальних та осереднених характеристик котлів та печей з урахуванням геометрії топок і режимів їхньої роботи, складу палива й окислювача, їхнього співвідношення. При цьому результати виконаних розрахунків є більш точними та надійними, ніж такі, що представлені в літературних джерелах.  **8.** Тільки використання методу Монте-Карло дозволило виконати наведені нижче прикладні розробки з удосконалення теплових агрегатів:  **8.1.** З метою визначення можливостей підвищення продуктивності печі при забезпеченні допустимої за технологією температурної нерівномірності слябів на виході з печі проведено моделювання нагріву слябів у металургійній штовхальній печі стану “1700” на металургійному комбінаті “DUNAFERR” (Угорщина). Для цього вирішена сполучена тримірна задача внутрішнього та зовнішнього радіаційного–конвективного теплообміну. На основі ретельного аналізу температурних полів в слябах та з урахуванням обмежень по рівномірності їхнього нагріву встановлено, що граничне збільшення продуктивності печі складає 15%.  **8.2.** Виконано кількісний розрахунок локального та загального теплосприйняття кожної із секцій для котлів поширених конструкцій: ДКВР (6.5/13 і 10/13), ГМ-50, БКЗ-75, а також для водогрійного теплофікаційного котла ТВГ-8 із двосвітними екранами, при фундаментальній постановці задачі теплообміну (заданим є температурний розподіл в топці). Встановлено, що навіть за умови рівномірного температурного розподілу поперек топки локальне теплосприйняття в перерізах топки визначається суттєвою нерівномірністю.  **8.3.** Для котла ТВГ–8 проведено розрахунок розподілу температур та теплових потоків по висоті топки, ККД топки і концентрації NOx ([NOx]) при використанні рециркуляції продуктів згоряння. Проведено порівняння та підтверджено експериментальними даними І.Я. Сігала, М. Flamme, нормативами США розрахункові залежності зменшення [NOx] в залежності від кратності рециркуляції.  **9.** Для проведення теплотехнічних та екологічних розрахунків низькоемісійних “low-NOx” пальникових систем двоступінчастого горіння типу FIRB (GTI, США) запропоновані математичні моделі окремих складових процесу спалювання газу, включаючи аеродинаміку, тепломасопереніс та макрокінетику горіння та утворення NOx. Розроблено комп’ютерну програму, що дозволяє проводити чисельний аналіз впливу геометричних і експлуатаційних параметрів пальникового пристрою на його вихідні характеристики, енергетичні: ККД, рівномірність теплообміну, температурний розподіл, та екологічні – викиди NOx. На цій основі оптимізовані конструктивні вузли пальників та теплотехнічні показники котла “Host Boiler” (США), обладнаного пальниковим пристроєм типу FIRB. Результати моделювання, які підтверджені експериментальними даними, прийняті для використання інститутом GTI.  **10.** Встановлено, що система двоступінчастого спалювання природного газу в сполученні із внутрішньою рециркуляцією продуктів згоряння, яку зокрема реалізовано в пальникових системах FIRB, забезпечує низькоемісійне згоряння палива в котлоагрегатах.  З використанням чисельного аналізу та математичної моделі (п.9) показано, що вплив коефіцієнта надлишку повітря p та кратності рециркуляції носить екстремальний характер – за виходом NOх: мінімум виходу NOх відповідає оптимальному значенню коефіцієнта надлишку первинного повітря p,opt= 0.75–0.8, яке залежить від теплової потужності, кратності рециркуляції, підігріву первинного повітря та температури приймальних поверхонь, а також від геометричних характеристик топки та пальникового пристрою.  **Перелік умовних позначень**  *А*– поглинаюча спроможність;*Fi* – площа поверхневої зони *і*; *r* – кратність рециркуляції;*рi* – парціальний тиск компонента *i*; *Q* – тепловий потік; *q* – питомий тепловий потік; *Т* – температура; – коефіцієнт надлишку повітря; – ефективна довжина променю; – випромінююча спроможність газу; – ККД; – відносна залишкова енергія; 0 – стала Стефана–Больцмана; МК – Монте-Карло. | |