**П'яних Костянтин Євгенович. Математичне моделювання низькоемісійного спалювання природного газу та вдосконалення пальникових пристроїв на цій основі: дис... канд. техн. наук: 05.14.06 / НАН України; Інститут газу. - К., 2004**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **П’яних К.Є. Математичне моделювання низькоемісійного спалювання природного газу та вдосконалення пальникових пристроїв на цій основі. Рукопис.**  **Дисертація на здобуття ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.14.06. – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.- Національна академія наук України, Київ, 2004.**  **Розроблена комплексна модель процесу низькоемісійного спалювання природного газу, заснованого на сполученні двостадійного спалювання і рециркуляції продуктів згоряння. Модель включає опис фізичних складових – процесів переносу: аеродинаміки, масо- та теплообміну, а також механізми хімічної кінетики горіння та утворення оксидів азоту. Рух в пальниковому пристрої моделюється з використанням закономірностей розвитку турбулентних неізотермічних струменів у супутньому та перехресному обмеженому потоках в рамках модифікованої теорії Прандтля і концепції Бусінеска; процес змішування схематизується з використанням чарунок ідеального перемішування (PSR) та ідеального витіснення, що чередуються. Радіаційний теплообмін розраховується моделі Х.Хоттеля - зваженої суми сірих газів, конвективний теплообмін – з використанням критеріальних залежностей. Процес горіння описано з використанням reduced механізму, запропонованого Б. Сорокою. Розрахунок утворення оксидів азоту враховує термічні (за Зельдовичем-Боумену) та швидкі (prompt - по де Соєте) складові NОx.**  **Систематичні чисельні розрахунки, проведені з використанням комп’ютерної програми, дозволили провести аналіз впливу конструктивно-геометричних та режимних параметрів пальникових пристроїв на їх енергетичні та екологічні характеристики з метою забезпечення максимальної ефективності використання палива та мінімуму [NОx]. Розроблені та прийняті розробниками рекомендації щодо внесення змін в конструкцію пальникових пристроїв типу FIRB для жаротрубних котлів та радіаційних труб.**  **Ключові слова: пальниковий пристрій, оксиди азоту, двостадійне спалювання, природний газ, математична модель, кінетика горіння, рециркуляція, теплообмін, турбулентний струмінь, оптимізація.** | |
| |  | | --- | | 1. Розроблено (на прикладі пальників типу FIRB) комплексну математичну модель процесу спалювання природного газу в низькоемісійних пальникових пристроях різного призначення. В розробленому математичному комплексі об’єднано моделі процесів переносу (аеродинаміка, масо- та теплопереніс), термодинаміки та кінетики горіння, моделі утворення токсичних речовин (перш за все оксидів азоту NOx).  2. Створено комп’ютерну програму розрахунку топкового процесу при двостадійному спалюванні природного газу за умов рециркуляції продуктів незавершеного згоряння.  3. Достовірність комплексної моделі та комп’ютерної програми підтверджена порівнянням з літературними даними та результатами експериментів по кожній складовій моделі. Забезпечено задовільне співпадання розрахункових та експериментальних даних щодо енергетичного ККД топок, розподілу температур та теплових потоків на поверхнях, а також за рівнем [NOx] на виході з пальникових пристроїв. Похибка при співставленні даних по температурі та тепловим потокам не перевищила 9...18%. Для радіаційних труб розбіжність розрахункових та експериментальних даних щодо нерівномірності температурного поля по довжині стінок не перевищила 70С.  4. З використанням розробленої програми виконано аналіз впливу конструктивних та режимних параметрів пальникових пристроїв, які є об’єктом дослідження, на їхній енергетичний ККД, викиди NOx, величини та рівномірність температур і теплових потоків вздовж випромінюючих та приймальних поверхонь та інш.  5. Показано, що вплив на вихід NOx коефіцієнту надлишку повітря bр на першій стадії згоряння має екстремальний характер. Винайдено оптимальне значення 0,7<bр<0,8 в залежності від рівня робочих температур паливовикористовуючих агрегатів та кратності рециркуляції.</b  6. Показано, що вплив кратності рециркуляції на утворення оксидів азоту в пальниках двостадійного спалювання природного газу також має екстремум (мінімум), який залежить від коефіцієнту надлишку повітря bр на першій стадії згоряння і температури рециркулюючих продуктів згоряння.  7. Доведена можливість оптимізації режимних та конструктивно-геометричних параметрів жаротрубного котла та радіаційної труби за теплотехнічними і екологічними показниками, що підтверджено з високою точністю за результатами промислових випробувань. Оптимізація жаротрубного котла дозволила знизити [NOx] на виході з нього до 15 ppm.  8. Комплексна математична модель та створена на її основі комп’ютерна програма використовуються авторитетним науково-технічним центром США – Інститутом газової технології GTI при удосконаленні та оптимізації екологічно чистих пальникових пристроїв нового покоління (FIRB). Інститут GTI спільно з Інститутом газу НАН України використав моделі та програми при розробці конструкцій жаротрубних котлів та радіаційних труб, а також виборі режимних параметрів експлуатації цих пристроїв.  9. Розроблена в ході виконання роботи методика розрахунку розвитку струменю в зношуючому потоці була використана при створенні системи живлення дизельних двигунів ЯМЗ-236 та ЯМЗ-238, які працюють на суміші газ-дизельне паливо (Військовий інститут керівного інженерного складу НАО, м.Київ, Україна) та при розробці лінії випарювання табачного екстракту на підприємстві компанії “Japan Tobacco International” - “J.T.I.-Елец” (Росія).  **Перелік умовних позначень**  А- поглинаюча спроможність;*а*- коефіцієнт турбулентної структури струменю; b – товщина шару змішування; d - діаметр каналу; Ea – енергія активації; f – молярна доля компоненту; І – ентальпія; К - константа рівноваги хімічних реакцій; - константа швидкості реакції; kp- кількість сопел подачі первинної суміші; Lр,c – довжина потенційного ядра; M - молекулярна маса суміші; - масовий потік; Р – сумарний тиск; р – парціальний тиск компонента; Q - тепловий потік; q – питомий тепловий потік;r - радіус каналу; R – газова стала (кДж/(г-мольК)); Rd – газова стала (барл/(г-мольК)); Т – температура; – відношення швидкостей; w – швидкість; [Х] - концентрація компоненту Х; Y(х) – координата*у*границі струменю; a- кут між струменем та зношуючим потоком; b - коефіцієнт надлишку повітря;- ефективна довжина проміню; e - випромінююча спроможність газу;- приведена оптична характеристика системи “газ-стінка”; r - густина; s0 – стала Стефана–Больцмана; t - час; x- рекомендовані значення величини;  ***Індекси:***  conv – конвективний; ex – значення параметру на виході агрегату; f – зношуючий потік; g – газ; ig – спалахування (початок горіння); ins – вставка (поверхня); jet – струмінь; m – максимальне значення параметру; mix – основний потік; n – n-на складова випромінювання; p – первинна суміш; r – рециркуляція; rad – радіаційний; rec – рециркуляційний стакан; s– труба вторинного повітря; surf – поверхня; Т – стосується температури; w – стосується швидкості; t – зовнішня теплообмінна поверхня; S– сума складових. | |