

# ТЕМПЕРАТУРА ЗАЙМАННЯ ВУГІЛЛЯ. ПИТАННЯ АДДИТИВНОСТІ

*Юрій Ніколайчук*

*ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»,  
84116, м. Слов'янськ, вул. Г. Батюка, 19, Україна, nik.yurij@ukr.net*

Температура займання неокисненого вугілля ( $t_{зв}$ ) є технологічним параметром, що залежить від складу і ступеня упорядкування його органічної маси. Встановлено, що підвищення величини температури займання викликано зростанням в вугіллі вмісту загального ( $C^{daf}$ ) і ароматичного ( $C_{ар}$ ) вуглецю, а також ступеня ненасичення ( $\delta$ ) його структури. Відповідно, збільшення виходу летких речовин і зниження показника відбиття вітриніту і зниження ступеня ненасичення структури ОМВ, викликані підвищенням вмісту аліфатичного вуглецю, призводять до зниження температури займання вугілля.

Представляє практичний інтерес з'ясувати, чи є температура займання адитивним показником для сумішей вугілля чи ні. На першому етапі це питання досліджувалося для двокомпонентних сумішей, до складу яких входило вугілля різного ступеня метаморфізму в різному процентному співвідношенні.

Встановлено, що розрахункові значення температури займання вугільних сумішей (50:50) в тій чи іншій мірі відрізняються від експериментально визначених значень.

Аналіз результатів досліджень, дозволяє стверджувати щодо наявності систематичних відхилень фактичних значень від розрахункових за правилом адитивності в бік вугілля з меншою температурою займання.

Виявлена математична залежність впливу температур займання окремих компонентів на величину фактичної температури займання їх суміші (в співвідношенні 50:50):

$$t_{зв,сум,ф} = 2,35 + 0,14 \cdot t_{зв,1} + 0,86 \cdot t_{зв,2}, \quad (1)$$

де  $t_{зв,1}$  – температура займання компонента суміші з більшою величиною температури займання, °С;  $t_{зв,2}$  – температура займання компонента суміші з меншою величиною температури займання, °С.

Аналізуючи рівняння (1), можна прийти до висновку, що температура займання бінарної суміші (співвідношення 50:50) на 14 % визначається температурою займання вугілля з максимальною величиною температури займання і на 86 % температурою займання вугілля з мінімальною температурою займання.

Продовжуючи дослідження в цьому напрямку, нами були виконані визначення температур займання сумішей, до складу яких входило вугілля різного ступеня метаморфізму в різному процентному співвідношенні (0, 25, 50, 75 і 100 %).

Для вугілля, ближчому за стадіями метаморфізму (і відповідно за температурами займання), розбіжності між експериментальними і розрахунковими значеннями набагато менші, при цьому відсутні систематичні відхилення температури займання суміші в сторону значення, характерного для будь-якого з компонентів.

На наступному етапі була більш детально вивчена бінарна суміш, що найбільш різко відрізняються по температурі займання – вугілля марок Г і ПС. Отримані результати повністю узгоджуються з отриманими раніше результатами визначення температур займання двокомпонентних сумішей.

Для вирішення питання про те, наскільки вагомими є встановлені нами відхилення, необхідні дані щодо дисперсії визначення показника температури займання.

Для цього скористалися результатами, отриманими в ДП «УХІН» при розробці ДСТУ 7611:2014 «Вугілля кам'яне. Метод визначення окислення і ступеня окислення». У цьому документі збіжність результатів, отриманих при випробуванні однієї і тієї ж проби в одній лабораторії, оцінюється рівнем допустимих розбіжностей не більше 2 °С. Внаслідок того, що для визначення показника окиснення ( $\Delta t$ ) необхідні значення двох температур займання (вихідного і відновленого вугілля), помилки визначення яких накопичуються в помилку визначення показника окиснення, то в якості оцінки величини дисперсії  $\sigma$  показника температури займання правомірно взяти 1/2 від наведеного вище значення, а саме 1 °С. Відповідно до відомого правила сигм нормально розподілена випадкова величина  $x$  з великою ймовірністю  $P$  приймає значення, близькі до свого математичного сподівання  $M$ , зокрема:

$$P\{-2\sigma \leq x - M \leq 2\sigma\} = 0,9545. \quad (2)$$

Встановлено, що відхилення значень, розрахованих за правилом адитивності, від фактичних, систематично перевищують величину двох помилок визначення. Це свідчить про невідповідність таких відхилень.

Їх значимість можна оцінити за критерієм Стюдента, відповідно до якого два вибірових середніх  $i$  значимо відрізняються один від одного, якщо виконується умова:

$$\frac{\bar{x} - \bar{y}}{s} > t_T, \quad (3)$$

де  $t_T$  – табличне значення критерію Стюдента, залежне від рівня значущості і кількості ступенів свободи.

З використанням цього критерію оцінили значимість відхилень від нуля різниць значень, розрахованих за правилом адитивності, від фактичних. Середнє значення становить 6,5 °С = 0. Табличне значення критерію Стюдента для рівня значущості 0,05 і кількості ступенів свободи  $n = 8$  (на одиницю менше кількості дослідів на бінарних сумішах) рівно 2,31, тобто значно менше відносини різниці порівнюваних середніх до вибіркової дисперсії. Це з довірчою ймовірністю 95% свідчить про значущість відхилень розрахункових і фактичних значень температури займання бінарних вугільних сумішей.

Отримані експериментальні дані можуть бути, на нашу думку, пояснені з наступних позицій. На підставі загальноновизнаних уявлень для початку процесу горіння необхідне підведення зовнішньої енергії. При цьому в сумішах в першу чергу займаються ті компоненти, для яких необхідно підвести мінімальну кількість енергії, тобто з меншою температурою займання. Кількість енергії що виділяється при загорянні цих компонентів з надлишком вистачає і для загоряння більш важкозаймистого компонента, що і призводить до займання суміші в цілому.

Результати дослідження, на нашу думку, мають практичне значення. Зокрема, при пилоподібному спалюванні вугілля на електростанціях для забезпечення необхідних властивостей палива широко застосовують паливні суміші, наприклад 90 % антрациту і 10 % газового вугілля. В якості пилувугільного палива в сучасних доменних печах використовується суміш з 70 % пісного і 30 % газового вугілля [9]. При отриманні, зберіганні і використанні таких сумішей необхідно враховувати можливість зниження їх температури займання в порівнянні з розрахованої за правилом адитивності. Це дозволить не тільки досягти заданих технологічних параметрів, а й забезпечити вибухопожежобезпеку роботи обладнання.

З урахуванням останніх тез становить науковий і практичний інтерес визначити фактичні значення температур займання вугільної суміші, до складу якої входять вугілля марки «Г» і антрацит, а також зіставити їх з розрахунковими, отриманими за правилом адитивності.

Внаслідок того, що верхня границя крупності пиловугільного палива, що подається на котли ТЕС або фурми доменних печей не повинна бути більше 0,075 мм, додатково визначали температуру займання вугільних сумішей, подрібнених до змісту 100 % класу менш 0,075 мм.

Встановлено, що температура займання суміші газового вугілля і антрациту знаходиться в такій же залежності, як і для коксівного вугілля, а саме: фактичне значення температури займання суміші відхиляється в сторону вугілля з меншою температурою займання.

Крім того, необхідно відзначити, що внаслідок того, що додаткове подрібнення вугілля призвело до зростання його реакції поверхні, значення фактичної температури займання суміші вугілля в подрібненні менше 0,075 мм ще сильніше відхиляються в сторону вугілля з меншою температурою займання, в порівнянні з подрібненням менш 0,2 мм.

З огляду на викладене, представляє науковий і практичний інтерес прогнозування температури займання суміші, в яку входить понад 2-х компонентів. Далі в роботі наведені результати дослідження щодо визначення температур займання вугільної суміші, що складається з 3-х і більше компонентів.

Для приготування дослідних вугільних сумішей використовували: високолеткий вугільний компонент зі зниженою температурою займання (ЦВФ «Добропільська», марка «Г»); низьколеткий вугільний компонент з підвищеною температурою займання (Rosahontas, марка «ПС»), а також суміш (50:50) вугілля середньої стадії метаморфізму (ЦВФ «Дуванська», марка «Ж» і ЗФ «Свято-Варваринська», марка «К»), що характеризується проміжними значеннями виходу летких речовин і температури займання.

Для побудови поліноміальної моделі використали симплексно-решітчастим методом планування експерименту, що надійно зарекомендували себе для вирішення практичних завдань. Зокрема, даний метод був успішно застосований для оптимізації сировинної бази Маріупольського коксохімічного заводу.

Для прогнозу температур займання трикомпонентних сумішей було розроблено рівняння, що дозволяє за даними процентної участі вугільних компонентів з мінімальним, проміжним і максимальним значенням температури займання, прогнозувати температуру займання всієї суміші:

$$t_{зв,сум,ф} = 41,054 \cdot x_1 + 40,8216 \cdot x_{12} + 40,5244 \cdot x_2 - 3699,65, \quad (4)$$

де  $x_1$  – участь в суміші компонента з максимальною температурою займання, %;  $x_{12}$  – участь в суміші компонента з проміжною температурою займання, %;  $x^2$  – участь в суміші компонента з мінімальною температурою займання, %.

Коефіцієнт детермінації розробленої залежності становить 91,0 %, а середнє квадратичне відхилення дорівнює 4,6 °С.

Цікавим є зіставити значення температур займання трикомпонентних сумішей різного компонентного складу, розрахованих за правилом адитивності і за рівнянням (4). З цією метою склали 21 варіант модельних трикомпонентних сумішей, до складу яких входили досліджене нами вугілля в різному процентному співвідношенні з кроком в 20 %.

Ця графічна залежність описується рівнянням (5), коефіцієнт детермінації якого дорівнює 98,54 %:

$$t_{зв,сум,ф} = 1,2139 \cdot t_{зв,сум,ад} - 90,949, \quad (5)$$

де  $t_{зв,сум,ф}$  – фактична температура займання трикомпонентної вугільної суміші, розрахована за рівнянням (4), °С;  $t_{зв,сум,ад}$  – температура займання трикомпонентної вугільної суміші, розрахована за правилом адитивності, °С.

Аналіз математичної залежності (5), свідчить про те, що фактична температура займання трикомпонентних вугільних сумішей, як у випадку з двокомпонентними, відхиляється в бік вугілля з меншою температурою займання.

На нашу думку, рівняння (5) можна використовувати при прогнозі температури займання багатокомпонентних сумішей, за умови, що відомі температури займання вугільних компонентів, що входять в досліджені суміші.

Для перевірки висловленого припущення були складені 4 варіанти багатокомпонентних вугільних сумішей з відомими значеннями температур займання вугілля що входять до їх складу.

На підставі виконаних досліджень можна стверджувати, що фактичні температури займання вугільних сумішей менші їх середньозважених значень, розрахованих по адитивності і досить близькі зі значеннями, отриманими за рівнянням (5).

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони дозволяють прогнозувати температури займання реальних виробничих шихт коксохімічних підприємств, що містять в своєму складі принципово ті ж марки вугілля, які були використані нами при проведенні досліджень. Це має велике значення з точки зору, як технології, так і пожежної безпеки.

На підставі виконаних досліджень можна сформулювати такі основні висновки:

1. Визначено температури займання бінарних, трьох та багатокомпонентних вугільних сумішей, до складу яких входить вугілля різного ступеня метаморфізму в різному процентному співвідношенні.
2. Встановлено наявність систематичних відхилень фактичних значень температур займання сумішей від розрахованих за правилом адитивності в сторону вугілля з меншою температурою займання. Методами математичної статистики доказано, що ці відхилення носять значимий невипадковий характер.
3. Виявлені математичні залежності, що дозволяють за даними значень температур займання окремих компонентів прогнозувати величину температури займання їх суміші.
4. Висловлено припущення, що в сумішах, в першу чергу, займається компонент з меншою температурою займання, а енергія, що виділилася при цьому витрачається на загоряння більш важко займистого компонента, що призводить до займання суміші в цілому.