



УДК 662.61 (075.8)

ВПЛИВ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЗГОРЯННЯ МЕТАНОЛУ

М. В. Амброжевич, М. А. Шевченко, М. А. Шляхова
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», м. Харків

Актуальність. По мірі вдосконалення технології перетворення природного газу на основі метану в метанол CH_3OH зростає роль останнього як палива майбутнього, оскільки метанол має незаперечну перевагу перед метаном в аспектах транспортування, зберігання, безпеки використання кінцевим споживачем, заправки транспортних засобів і т.д. Перевага метанолу як палива перед традиційними паливами – рідкими продуктами перегонки нафти – його дешевизна та екологічність.

Метою даного дослідження стало отримання кількісних характеристик впливу на температуру продуктів згоряння (ПЗ) метанолу наступних факторів: агрегатного стану метанолу, коефіцієнта надлишку окиснювача – повітря, вологості повітря, вмісту води в самому метанолі, термічної дисоціації продуктів згоряння, початкової температури (ступеня підігріву) повітря.

В рамках дослідження на основі рівнянь термохімії було розроблено математичну модель процесу згоряння метанолу, що враховує всі вище перелічені фактори.

Результати розрахунку та їх аналіз наведено нижче.

Теплотворну здатність метанолу в залежності від агрегатного стану самого метанолу і води в ПЗ було розраховано згідно [1].

Таблиця 1 – Теплотворна здатність метанолу за стандартних умов*

$$Q = -\Delta H_{\text{сгор}}^0, \text{ МДж/кмоль}$$

Агрегатний стан метанолу	Агрегатний стан води у продуктах згоряння	
	Газоподібний (водяна пара)	Рідкий (конденсат)
рідкий	639,05	727,07
газоподібний	676,21	764,23

* – стандартні умови: $T^0 = 298,16 \text{ К}$, $p^0 = 1,01325 \text{ бар}$.

Залежно від агрегатного стану тепловий ефект може відрізнятись на 19,6%. Всі подальші розрахунки температури ПЗ T_2 будемо проводити стосовно нижчої теплоти згоряння рідкого метанолу $\Delta H_{\text{сгор}}^0 = -639,05 \text{ МДж/кмоль}$.

У практичній теорії горіння розрізняють три основні види температури: адіабатну (без дисоціації та зовнішніх втрат теплоти), теоретичну (з термічною дисоціацією, без теплових втрат), дійсну (з дисоціацією та тепловтратами у навколишнє середовище).

Зі зростанням надлишку окиснювача α температура ПЗ падає. З підвищенням початкової температури окиснювача-повітря температура ПЗ



зростає. На рис 1. представлений розрахунок адіабатної температури ПЗ при $\alpha = 1 \dots 4,5$ залежно від початкової температури $T_1 = 298,16\text{K}, 500\text{K}, 700\text{K}, 1000\text{K}$.

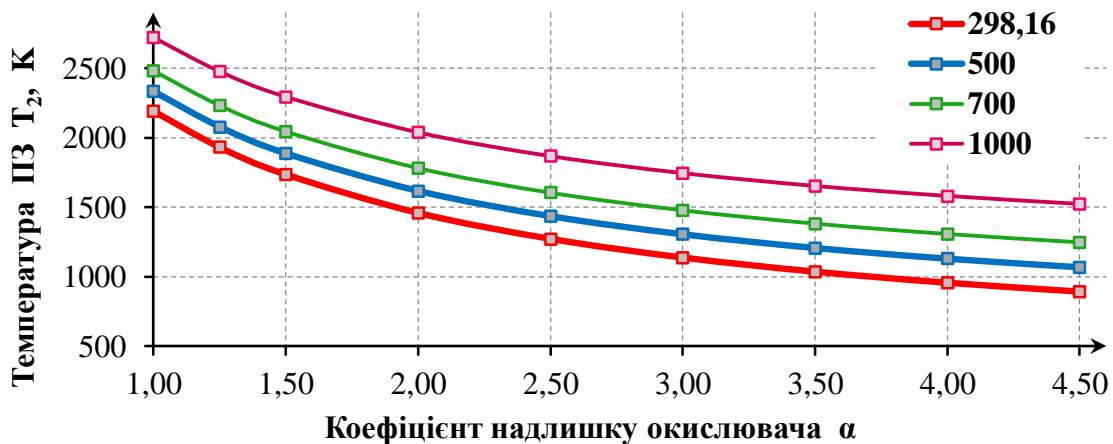


Рис. 1 – Адіабатна температура ПЗ метанолу при $\alpha = 1 \dots 4,5$ залежно від початкової температури $T_1 = 298,16\text{K}; 500\text{K}; 700\text{K}; 1000\text{K}$

У всіх випадках у розрахунках повітря представлялося сумішшю п'яти основних газів: азоту N_2 , кисню O_2 , аргону Ar , вуглекислого газу CO_2 та водяної пари H_2O . Кількість перших чотирьох компонентів у складі повітря відповідали стандартній атмосфері для сухого повітря. Кількість водяної пари (вологівміст d) при всіх температурах призначалося рівним 10 г водяної пари на 1 кг сухого повітря ($d = 10\text{ г/кг}$), що відповідає відносній вологості $\varphi = 50\%$ для температури 20°C .

Вплив вологості повітря d на адіабатну температуру ПЗ у теплових розрахунках зазвичай не враховується.

При високих початкових температурах, високій відносній вологості φ та значних коефіцієнтах надлишку окислювача α цей фактор може відчутно впливати на величину адіабатної температури ПЗ. З графіка рис. 2 видно, що зростання вологовмісту d поряд зі збільшенням коефіцієнта надлишку окислювача α помітно знижує адіабатну температуру ПЗ.

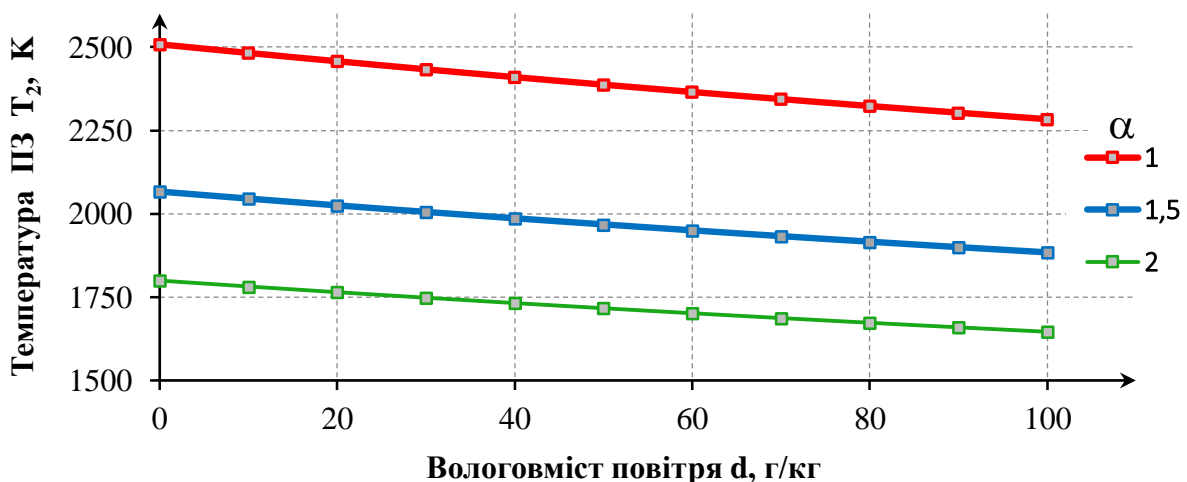


Рис. 2 – Вплив вологовмісту повітря d на адіабатну температуру ПЗ метанолу при тиску $p = 1\text{ бар}$, початковій температурі повітря $T_1 = 700\text{K}$ та коефіцієнтах надлишку окиснювача відповідно $\alpha = 1; 1,5; 2$



Метанол гігроскопічний, може розчиняти воду у будь-якій пропорції. На рис. 3 представлений розрахунок адіабатної температури згоряння суміші метанолу з водою при коефіцієнтах надлишку окиснювача в діапазоні $\alpha = 1 \dots 1,35$. Масова частка води в суміші змінювалася від 0 до 20%. Окиснювач-повітря має той же компонентний склад, що і в пункті 1.

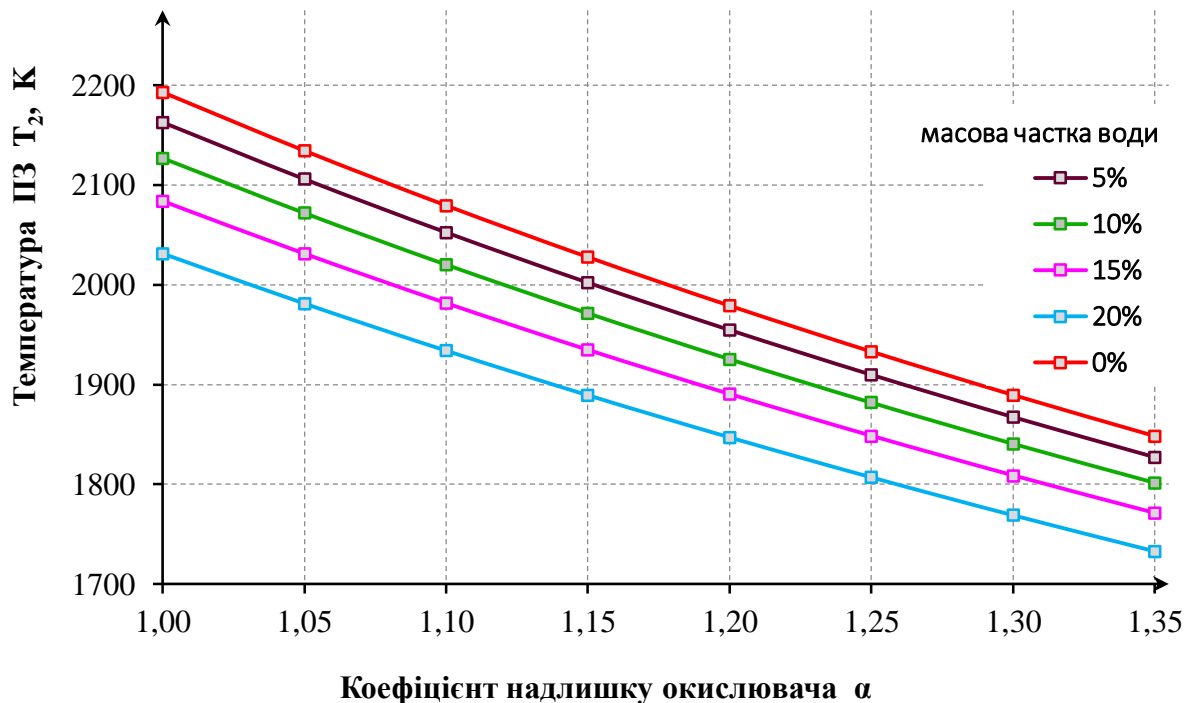


Рис. 3 – Адіабатна температура ПЗ залежно від масової частки води в СН₄О

Термічна дисоціація знижує температуру ПЗ. Ступінь дисоціації β залежить від температури та тиску суміші, причому зростання температури збільшує ступінь дисоціації, а зростання тиску – навпаки, знижує. На графіку рис. 4 зіставлені адіабатна (пунктирна) та теоретична (суцільна лінія) температури ПЗ при тиску газової суміші 10 бар. Добре видно, що ефект термічної дисоціації починає проявлятися при температурах вище 1700 К, що відповідає коефіцієнту надлишку окислювача $\alpha < 1,25 \dots 1,75$. Розрахунок добре узгоджується з практичною теорією горіння, яка стверджує, що помітна термічна дисоціація CO_2 починається при температурах вище 1500°C, а H_2O – вище 1600°C. При температурах вище 2200°C дисоціації піддаються й інші гази, внаслідок чого продукти згоряння вуглеводневого палива містять 11 компонентів: $CO_2, CO, H_2O, H_2, N_2, O_2, OH, H, O, N, NO$.

Теоретична температура була розрахована згідно з методикою, викладеною в роботах [2] і [3]. Ступінь дисоціації, що є параметром стану і однозначно залежить для кожного компонента газової суміші від температури і парціального тиску компонента, враховувалася неявно через зростання питомої ізобарної теплоємності компонентів газової суміші, що також є функцією температури і тиску.

При демонстрації результатів розрахунку свідомо було взято тиск, відмінний від атмосферного.

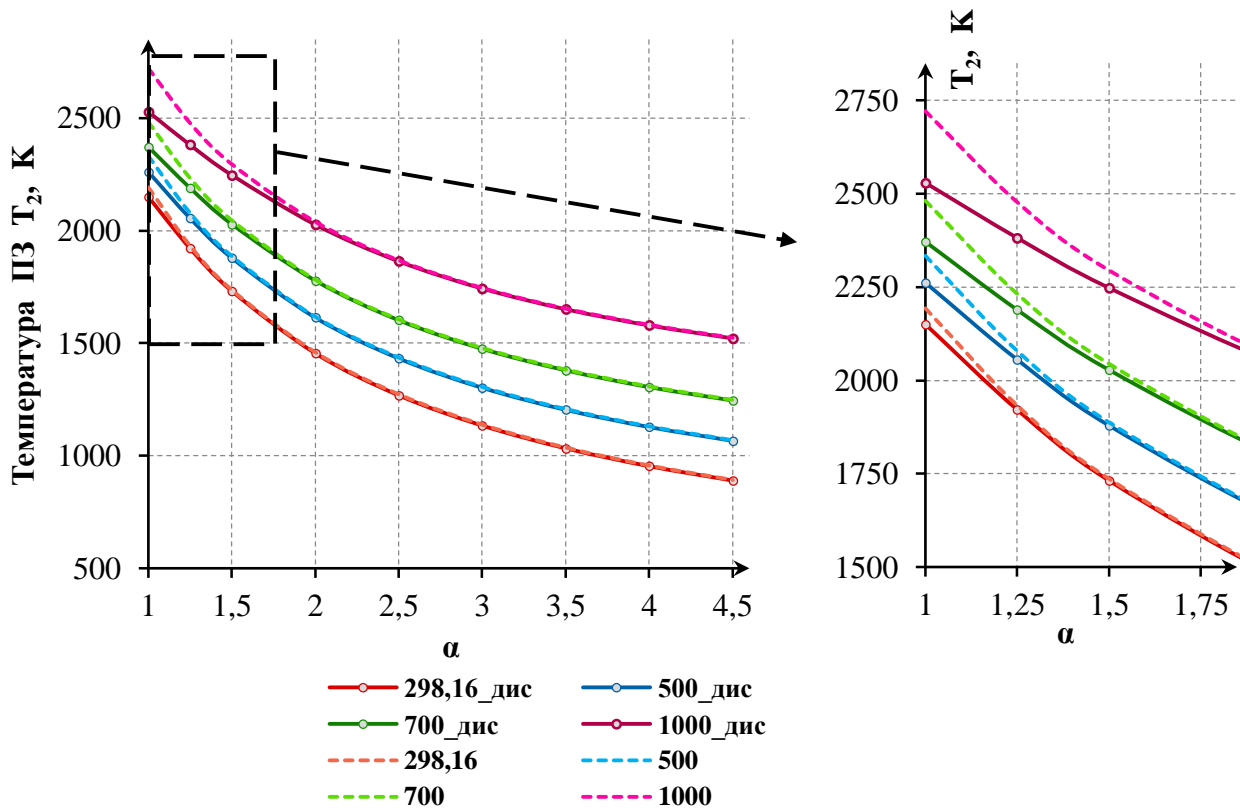


Рис. 4 – Зіставлення адіабатної та теоретичної температури ПЗ метанолу при тиску $p = 10$ бар і чотирьох різних початкових температурах окиснювача-повітря $T_1 = 298,16\text{K}; 500\text{K}; 700\text{K}; 1000\text{K}$

Результати роботи: в ході дослідження впливу перелічених вище факторів впливу на значення адіабатної та теоретичної температури ПЗ метанолу у повітрі була відпрацьована методика розрахунку, що дозволяє розраховувати температуру ПЗ при комплексному впливі усіх цих факторів. Тобто визначати адіабатну та теоретичну температуру ПЗ як функцію коефіцієнта надлишку окиснювача α , вологості повітря d або φ , початкової температури T_1 та тиску p окиснювача-повітря, агрегатного стану метанолу, кількості вологи у метанолі.

Перелік використаної літератури

1. Исаев, С.И. Курс химической термодинамики [Текст] / С. И. Исаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1986. – 272 с.
2. Амброжевич, М. В. Влияние давления и эффекта термической диссоциации на удельную изобарную теплоемкость продуктов сгорания [Текст] / М. В. Амброжевич, М. А. Шевченко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тез. доп. XXVI міжн. наук. – практ. конф. MicroCAD-2018, 16 – 18 травня 2018 р.: у 4 ч. Ч. I.– Харьков, 2018. – С. 226.
3. Kislov, O. V., Ambrozhevich, M. V., Shevchenko, M. A. Development of a method to improve the calculation accuracy of specific fuel consumption for performance modeling of air-breathing engines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. №2 (8 (110)), P. 23–30. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229515>