



## **ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**

**Міжнародна науково-практична конференція  
11-12 березня 2024 року (онлайн)**

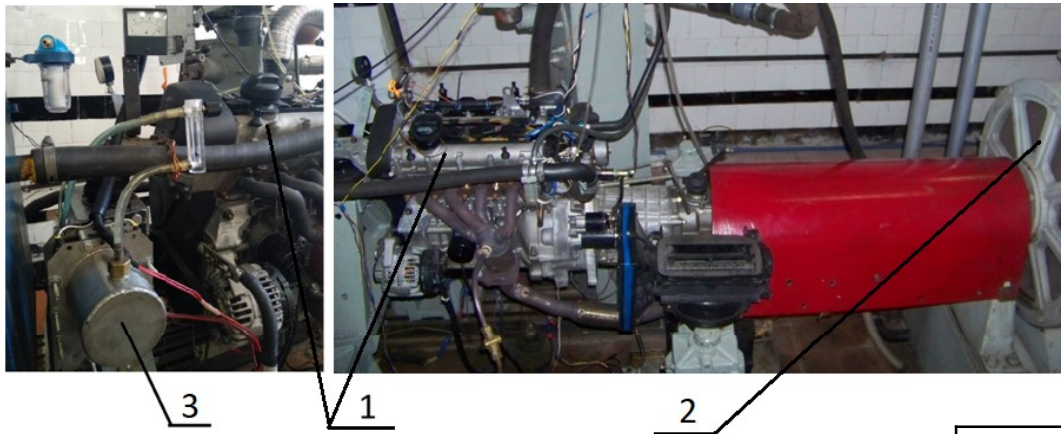
**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ТРАНСПОРТНИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК  
ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНАЦІЙ ТРАДИЦІЙНОГО  
ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ**

**доц. Цюман М.П.**

**КИЇВ - ХАРКІВ - 2024**

## Аналіз досліджень використання комбінованих (традиційних та альтернативних) палив

Двигун VW BBU обладнаний системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду з використанням термоелектричного генератора



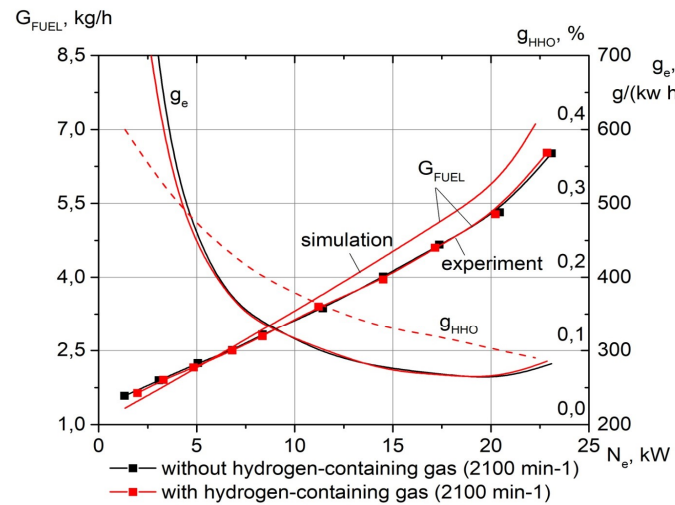
1 – двигун; 2 – електрична гальмівна машина; 3 – генератор водневмісного газу

Технічні параметри двигуна VW BBU

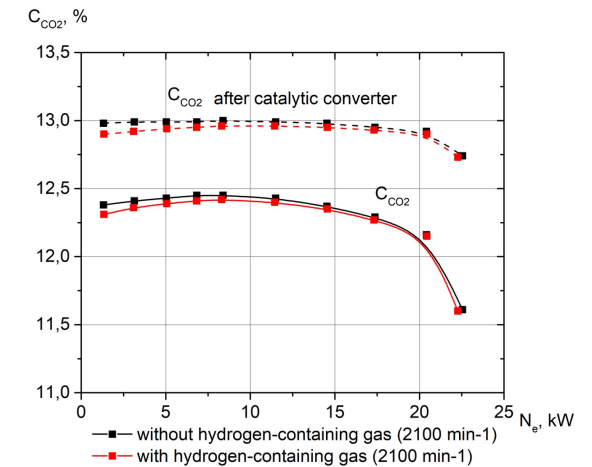
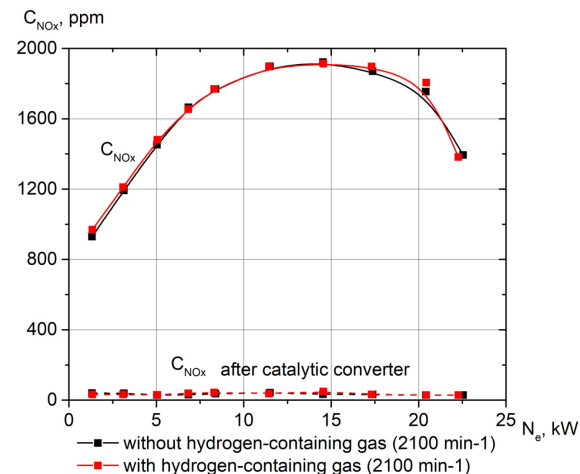
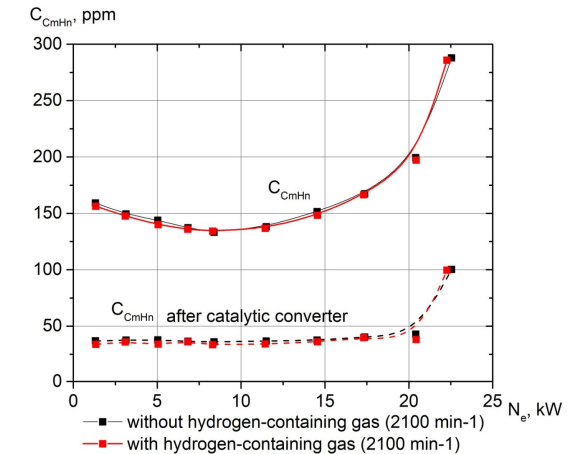
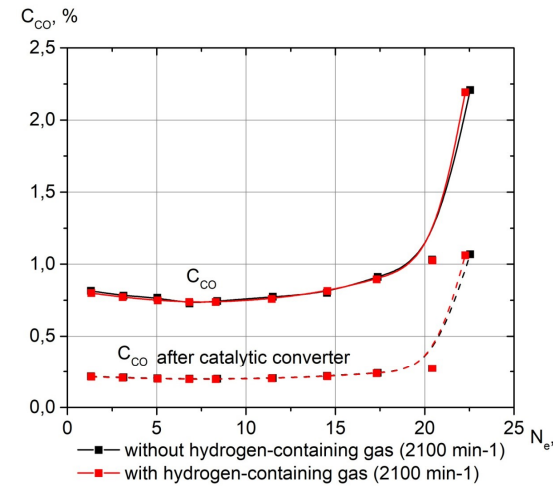
Найменування	Значення
Тип палива	бензин
Число / розташування циліндрів	4 / рядне
Робочий об'єм, л	1.39
Діаметр циліндра/ хід поршня, мм	76.5 / 75.6
Ступінь стисання	10.5
Потужність двигуна, кВт/ частота обертання, хв <sup>-1</sup>	55 / 5000
Крутний момент, Н·м / частота обертання, хв <sup>-1</sup>	126 / 3800
Число впускних / випускних клапанів на циліндр	2 / 2
Система очистки відпрацьованих газів	Трикомпонентний каталітичний нейтралізатор

# Аналіз досліджень використання комбінованих (традиційних та альтернативних) палив

Залежності годинної та питомої витрат палива від навантаження та частоти обертання колінчастого вала двигуна з різною величиною добавки водневмісного газу

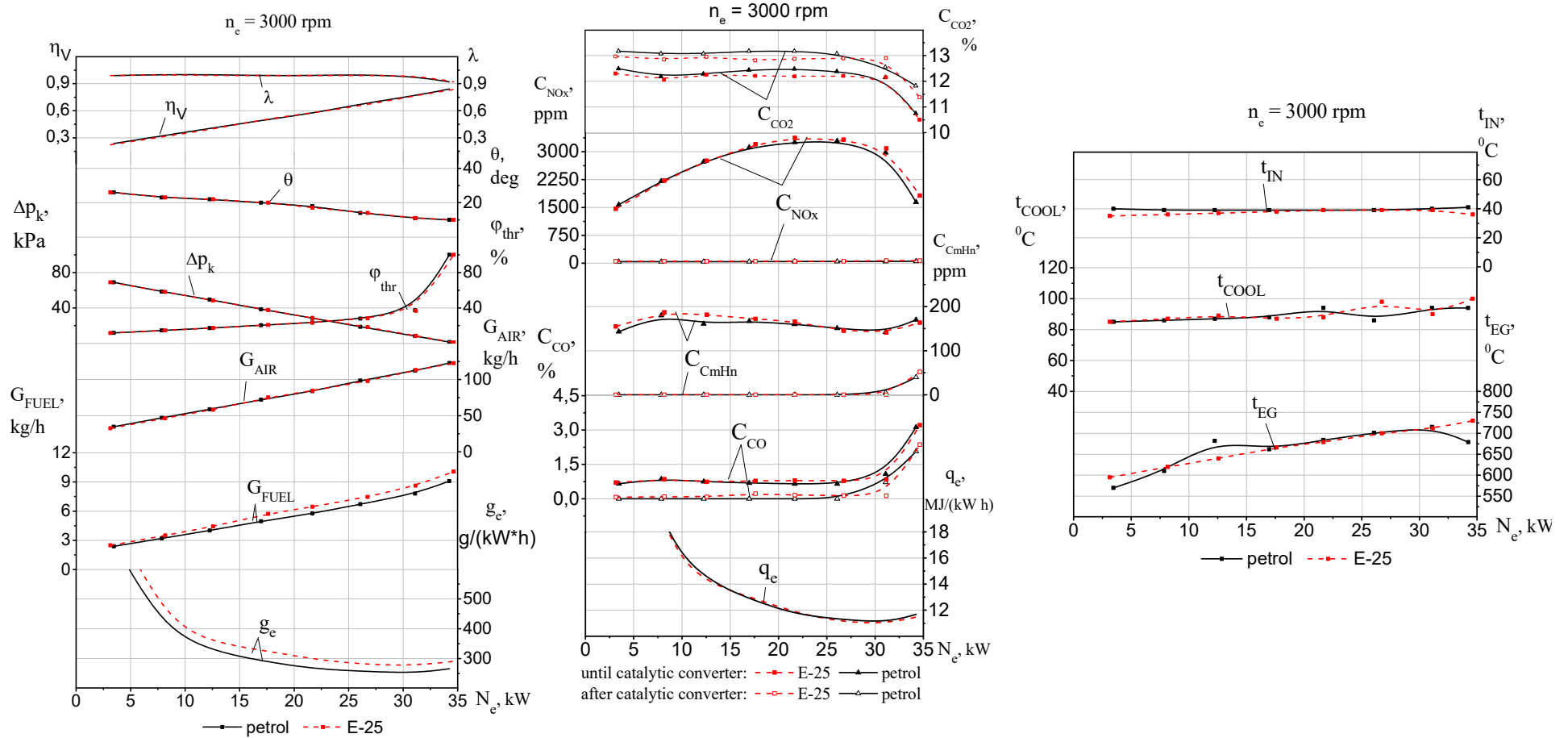


Залежності концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах від навантаження двигуна з різною величиною добавки водневмісного газу



# Аналіз досліджень використання комбінованих (традиційних та альтернативних) палив

## Результати стендових досліджень двигуна VW BVY при живленні бензином і паливом E-25



## **Аналіз досліджень використання комбінованих (традиційних та альтернативних) палив**

Загальні висновки на основі відомих досліджень використання біоетанолу у суміші з бензином у різних співвідношеннях:

- використання етанолу у суміші з бензином призводить до практично пропорційного його вмісту зростання годинної витрати палива;
- має місце ефект зниження температури свіжого заряду внаслідок підвищеної теплоти випаровування етанолу, що спричиняє додаткові ефекти, зокрема, підвищення наповнення циліндрів та порушення сумішоутворення в окремих випадках;
- ефективність використання сумішей етанолу з бензином різного складу залежить також від типу системи живлення (карбюраторна, впорскування).

Загальні висновки на основі відомих досліджень використання додавання кисневодневмісного газу, отриманого електролізом водних розчинів лугів на борту транспортного засобу, до свіжого заряду :

- додавання водневмісного газу в невеликих кількостях спричиняє ефект поліпшення процесу згоряння основного палива, що підвищує показники енергоефективності, якщо не враховувати витрати на отримання цього газу;
- установка для електролізу на борту автомобіля споживає певну кількість електричної енергії з мережі електрообладнання транспортного засобу, що створює додаткове навантаження на колінчастому валу;
- для компенсації витрат на виробництво водневмісного газу необхідне використання компенсаційних джерел енергії, найбільш доцільними з яких є рекуперативні.

## Мета та постановка завдання

Метою дослідження є порівняння ефективності поліпшення показників енергоефективності транспортних енергоустановок використанням комбінацій традиційного та альтернативних палив, зокрема, бензину, етанолу та водневмісного газу.

Для досягнення поставленої мети виконується:

- уточнення математичної моделі робочого процесу транспортної енергоустановки з двигуном з іскровим запалювання;
- математичне моделювання показників енергоефективності в залежності від кількості доданого етанолу чи водневмісного газу.

## Уточнення математичної моделі робочого процесу транспортної енергоустановки з двигуном з іскровим запалювання

Для дослідження впливу додавання етанолу чи водневмісного газу на показники енергоефективності транспортної енергоустановки використана математична модель робочого процесу двигуна внутрішнього згоряння за методом об'ємного балансу, уточнена окремими залежностями, що визначають склад робочого тіла та продуктів згоряння, а також параметри процесу згоряння з урахуванням вмісту водневмісного газу та біоетанолу.

Інтегральне рівняння кількості свіжого заряду, що надходить в циліндр в процесі впуску, кг

$$M_{C3} = \int_{\varphi_{В.ВП}}^{\varphi_{З.ВП}} w_{C3i} \cdot \mu_{ВПi} \cdot \frac{p_{C3i}}{T_{C3i} \cdot R_{C3}} d\tau$$

Масові частки вуглецю ( $g_C$ ), водню ( $g_H$ ) та кисню ( $g_O$ ) у суміші основного палива та водневмісного газу

$$g_C = g_{пал} \cdot \left( g_C^{бенз} \cdot (1 - g_{ет}) + g_C^{ет} \cdot g_{ет} \right)$$

$$g_H = \frac{g_{HNO}}{9} +$$

$$+ g_{пал} \cdot \left( g_H^{бенз} \cdot (1 - g_{ет}) + g_H^{ет} \cdot g_{ет} \right)$$

$$g_O = \frac{8 \cdot g_{HNO}}{9} +$$

$$+ g_{пал} \cdot \left( g_O^{бенз} \cdot (1 - g_{ет}) + g_O^{ет} \cdot g_{ет} \right)$$

Газова стала свіжого заряду, Дж/(кг·К)

$$R_{C3} = \frac{8314}{1 + \alpha \cdot l_0} \times$$

$$\times \left( g_{пал} \cdot \left( \frac{1 - g_{ет}}{\mu_{бенз}} + \frac{g_{ет}}{\mu_{ет}} \right) + \frac{g_{HNO}}{\mu_{HNO}} + \frac{\alpha \cdot l_0}{\mu_{пов}} \right)$$

Годинна витрата водневмісного газу, кг/год

$$G_{HNO} = \frac{60 \cdot p_0 \cdot q_{HNO}}{R_{HNO} \cdot T_0 \cdot 10^3}$$

Поточна частка виділеної теплоти в процесі згоряння

$$x_i = 1 - e^{-6.908 \cdot \left( \frac{\varphi_i - (360 - \theta)}{\varphi_z(n_d, \eta_v, g_{ет}, g_{HNO})} \right)^{m(n_d, \eta_v, g_{ет}, g_{HNO}) + 1}}$$

## Уточнення математичної моделі робочого процесу транспортної енергоустановки з двигуном з іскровим запалювання

На основі концентрацій шкідливих речовин визначаються масові викиди цих речовин ( $G_{CO}$ ,  $G_{CmHn}$ ,  $G_{NOx}$  та  $G_{CO2}$ ), які враховують елементарний склад та витрату палива, кг/год:

$$G_{CO} = \frac{C_{CO}}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot M_{ПЗ}^{сух}$$

$$G_{CmHn} = \frac{C_{CmHn}}{10^6} \cdot \mu_{CmHn} \cdot M_{ПЗ}^{сух}$$

$$G_{NO_x} = \frac{C_{NO_x}}{10^6} \cdot \mu_{NO_x} \cdot M_{ПЗ}^{вол}$$

$$G_{CO2} = \frac{C_{CO2}}{100} \cdot \mu_{CO2} \cdot M_{ПЗ}^{сух}$$

Кількість сухих та вологих продуктів згоряння за годину, кмоль/год

$$M_{ПЗ}^{сух} = \frac{1}{1+k_{п}} \times \left( \left( \frac{g_C}{12} + k_{п} \cdot \left( \frac{g_C}{4} + \frac{g_H}{2} - \frac{g_O}{16} \right) \right) \times \right. \\ \left. \times (G_{пал} + G_{HHO}) + \frac{0,79 + 0,37 \cdot k_{п}}{\mu_{пов}} \cdot G_{пов} \right)$$

$$M_{ПЗ}^{вол} = \left( \left( \frac{g_C}{12} + \frac{g_H}{2} \right) \cdot (G_{пал} + G_{HHO}) + \frac{0,79}{\mu_{пов}} \cdot G_{пов} \right)$$

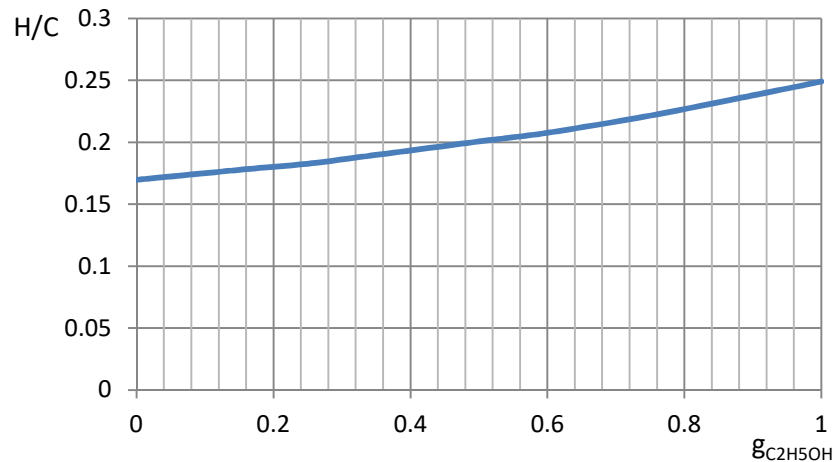
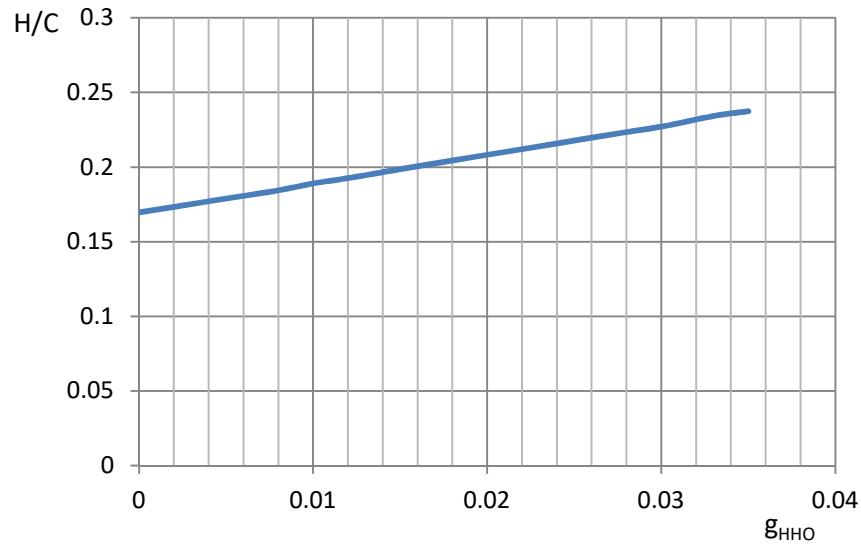
Відношення кількості  $CO$  до кількості  $H_2$  у продуктах неповного згоряння може бути визначено із залежності:

$$k_{п} = 1,6306 \cdot \frac{g_H}{g_C} + 0,1788$$

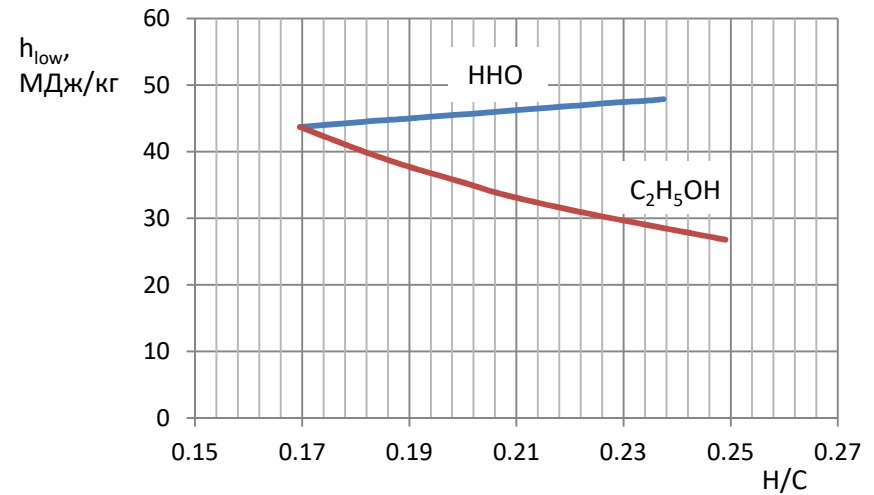


# Математичне моделювання показників енергоефективності в залежності від кількості доданого етанолу чи водневмісного газу

Залежність воднево-вуглецевого співвідношення палива в залежності від добавки водневмісного газу та вмісту етанолу

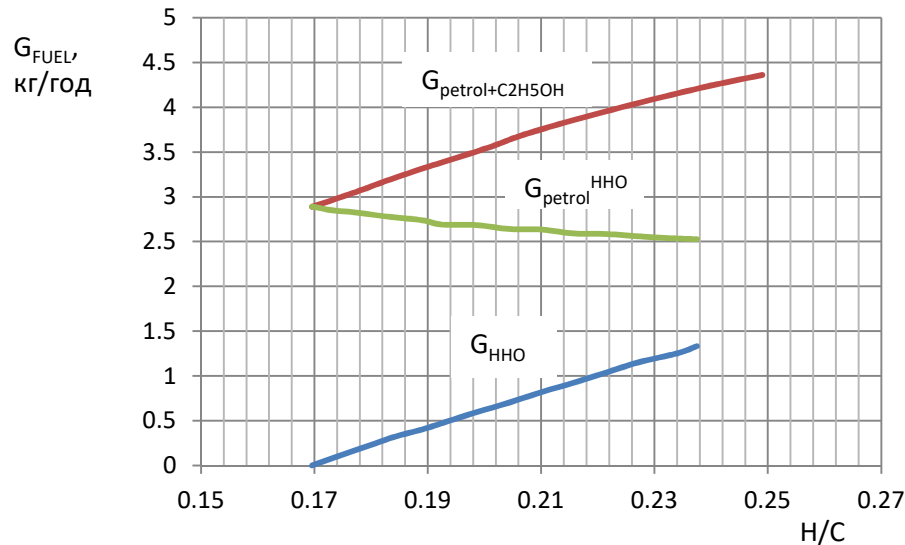


Залежність нижчої теплоти згоряння палива від воднево-вуглецевого співвідношення за його зміни різними способами

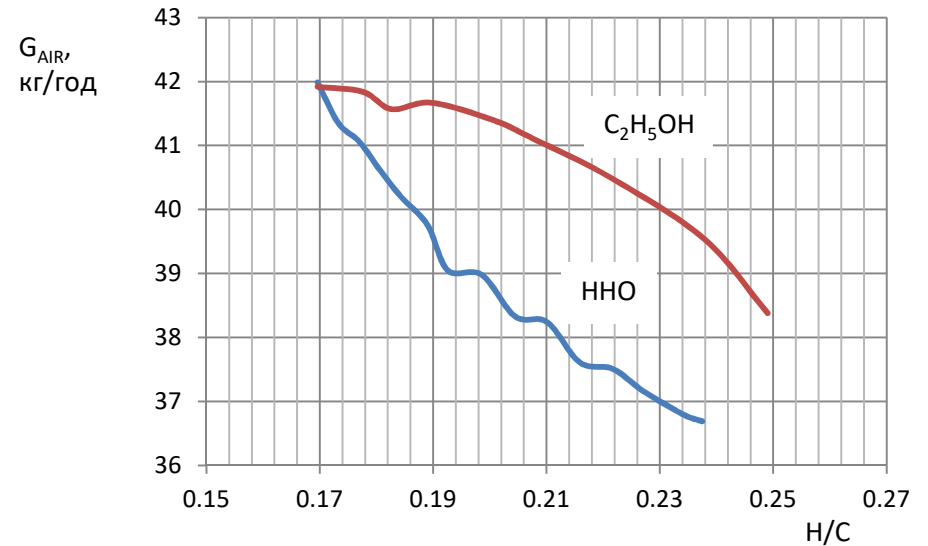


# Математичне моделювання показників енергоефективності в залежності від кількості доданого етанолу чи водневмісного газу

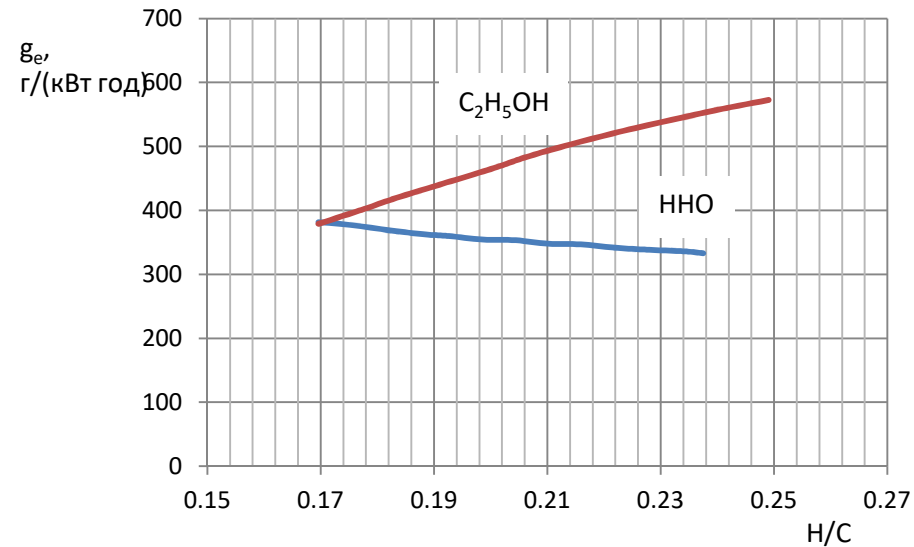
Залежність витрати палива від воднево-вуглецевого співвідношення



Залежність витрати повітря від воднево-вуглецевого співвідношення палива

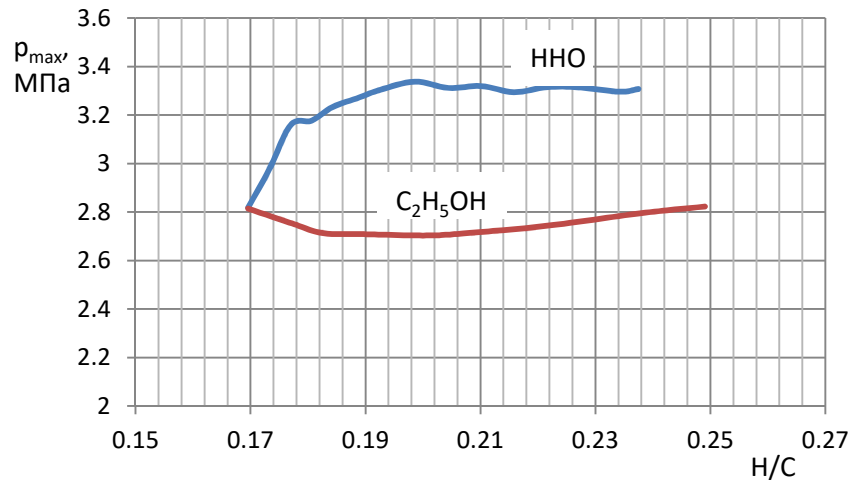


Залежність питомої ефективної витрати палива від воднево-вуглецевого співвідношення

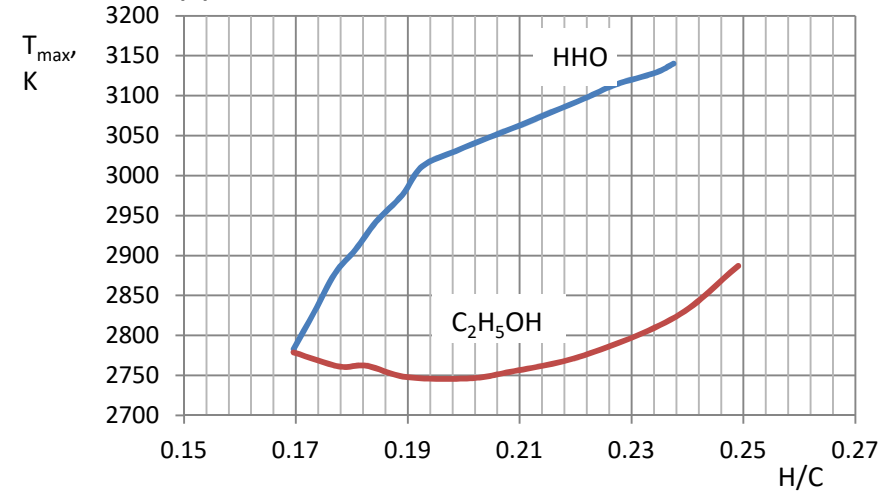


# Математичне моделювання показників енергоефективності в залежності від кількості доданого етанолу чи водневмісного газу

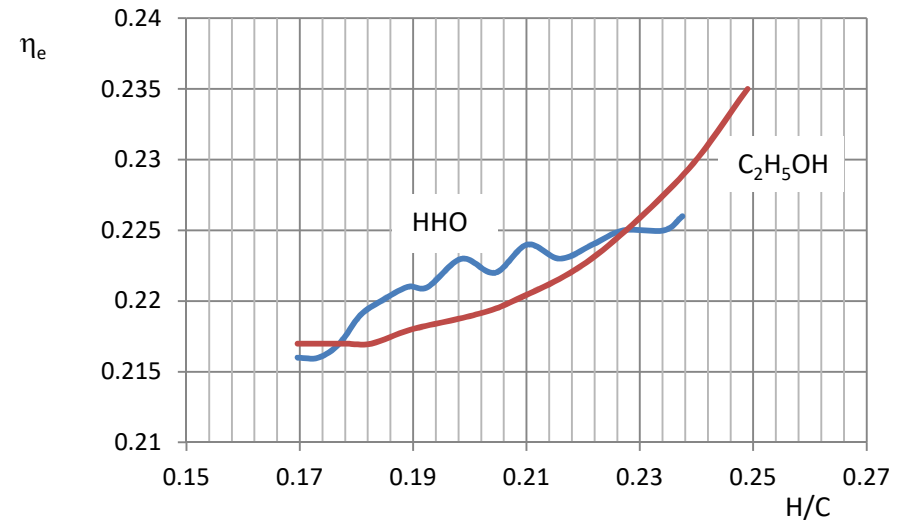
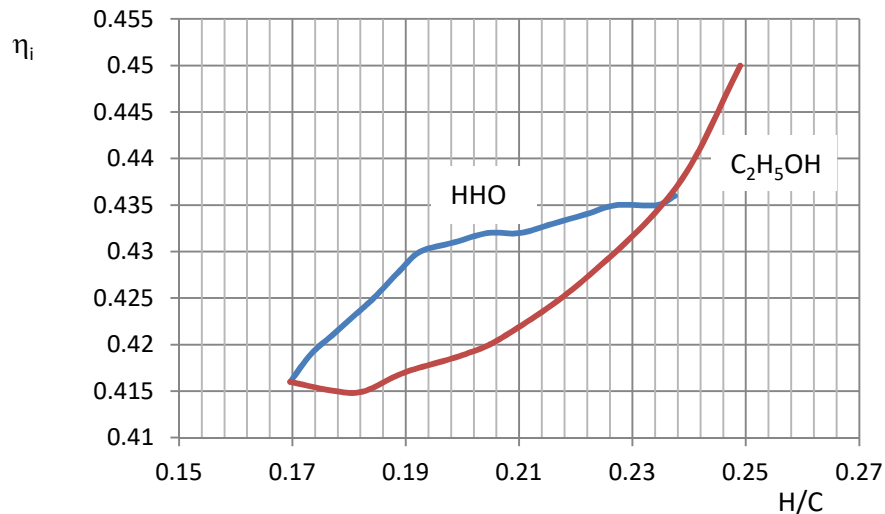
Залежність максимального тиску в циліндрі від воднево-вуглецевого співвідношення палива



Залежність максимальної температури в циліндрі від воднево-вуглецевого співвідношення палива

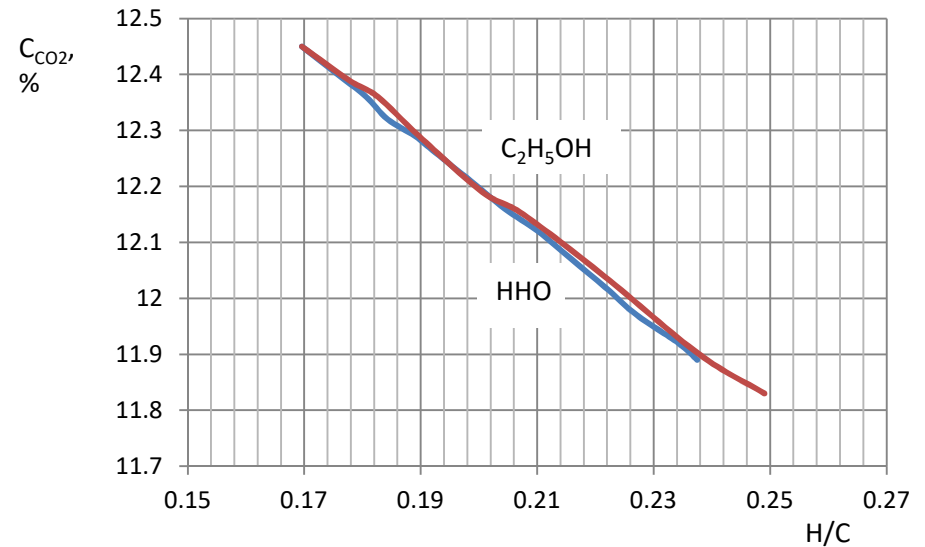
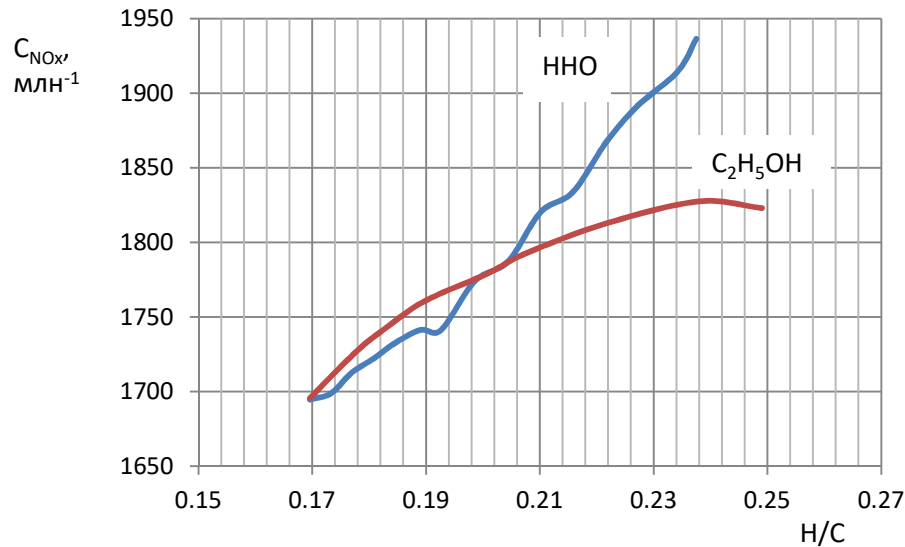
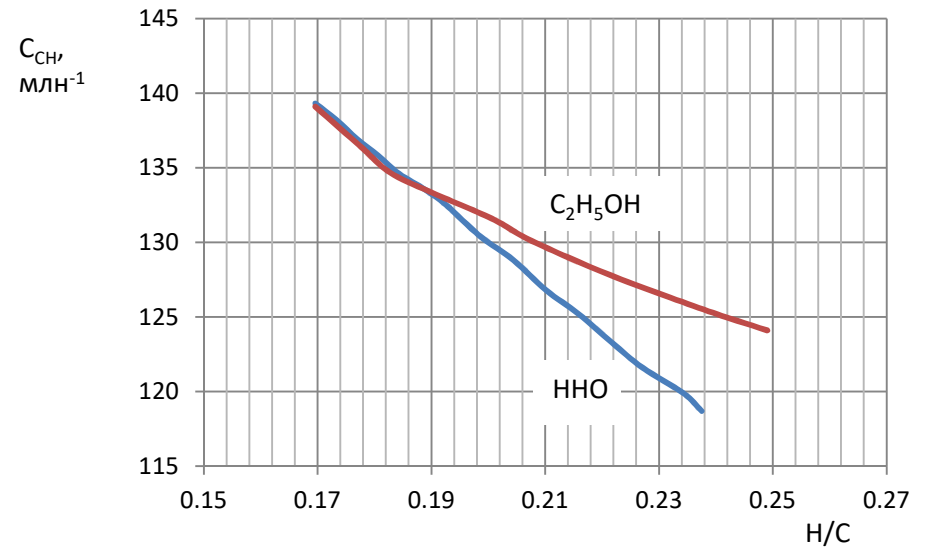
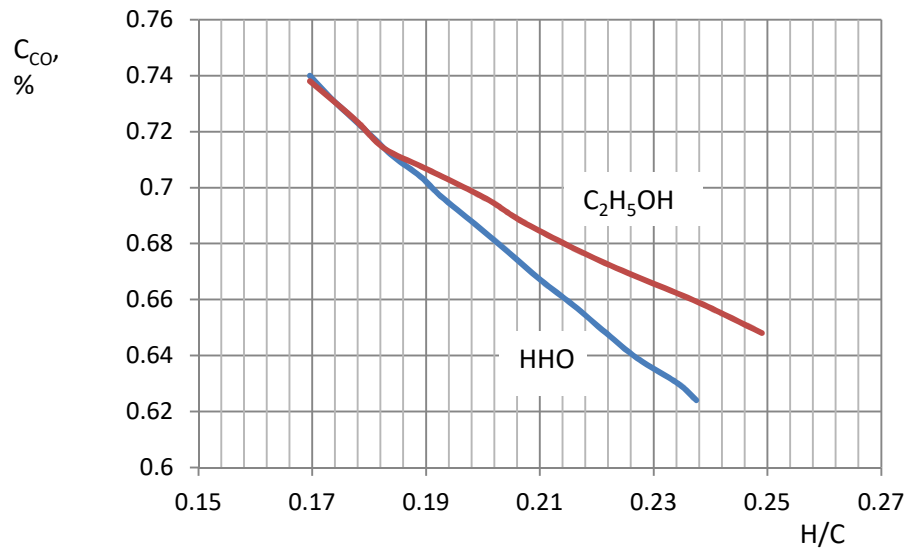


Залежність індикаторного та ефективного ККД двигуна від воднево-вуглецевого співвідношення палива



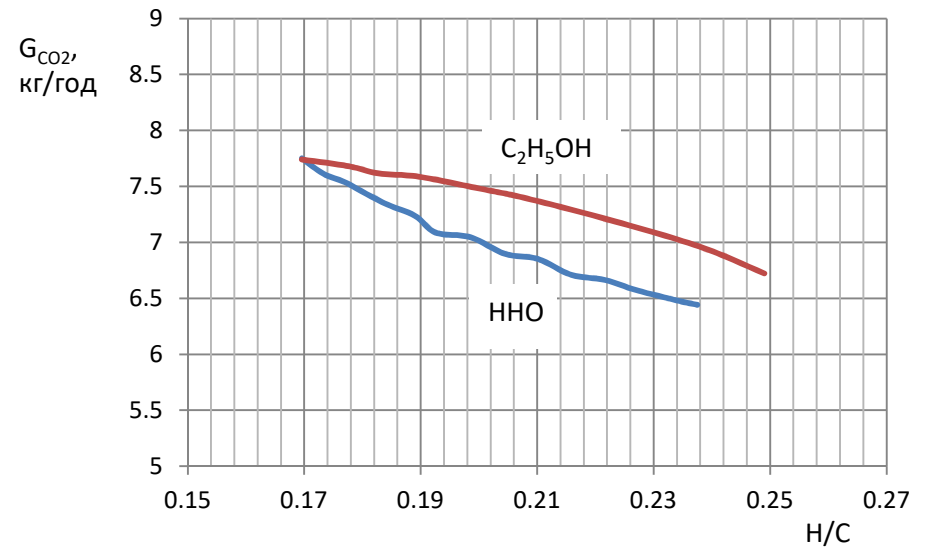
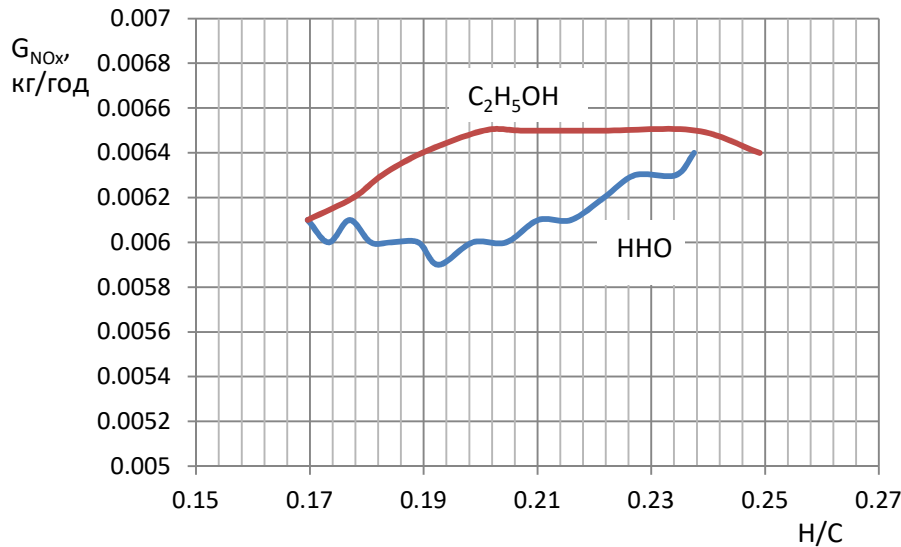
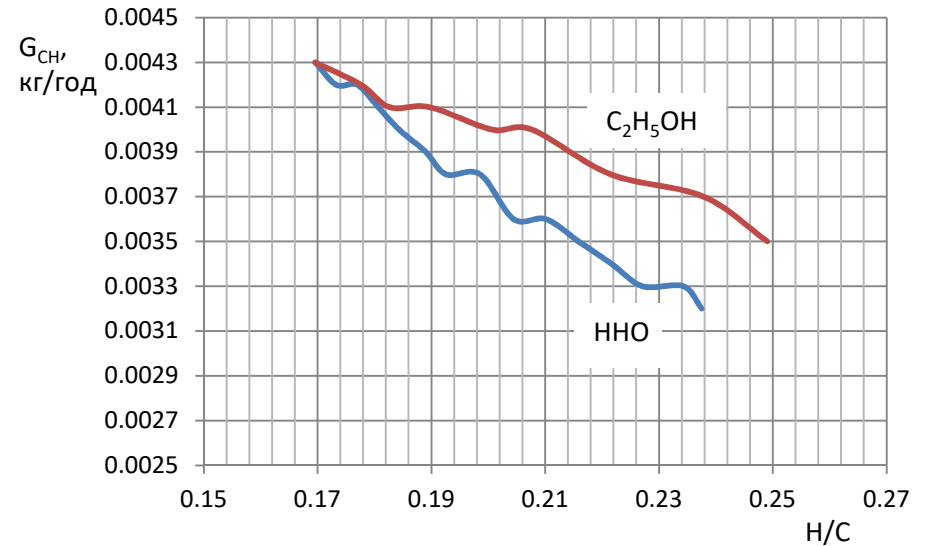
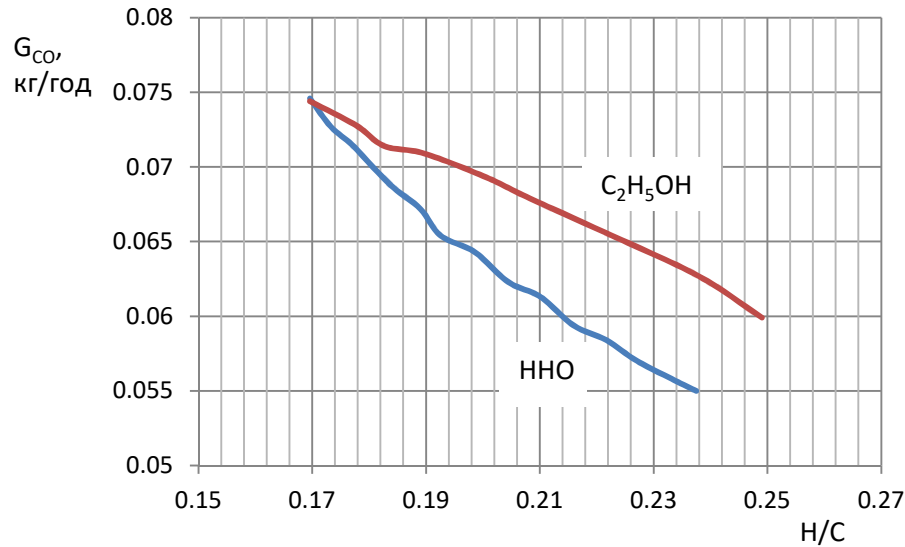
# Математичне моделювання показників енергоефективності в залежності від кількості доданого етанолу чи водневмісного газу

Залежності концентрацій CO, CH, NOx та CO2 у продуктах згоряння двигуна від воднево-вуглецевого співвідношення палива



# Математичне моделювання показників енергоефективності в залежності від кількості доданого етанолу чи водневмісного газу

Залежності масових викидів CO, CH, NOx та CO2 з ВГ двигуна від воднево-вуглецевого співвідношення палива



## Висновки

1. За результатами дослідження встановлено, що використання комбінацій традиційного бензину та добавок альтернативних палив, таких як, водневмісний газ або етанол, дозволяє одночасно поліпшити енергоефективність та знизити викиди основних шкідливих речовин та вуглекислого газу транспортної енергоустановки. При цьому отриманий ефект поліпшення вказаних показників буде залежати від виду та величини альтернативної добавки.
2. З метою теоретичного дослідження впливу складу комбінованого палива на показники енергоефективності та екологічної безпеки транспортної енергетичної установки уточнено математичну модель робочого процесу, реалізовану на основі методу об'ємного балансу. Для врахування змінного складу палива уточнено залежності, які описують газову сталу, теплоємність свіжого заряду, фізико-хімічні властивості палива та параметри його згоряння, склад продуктів згоряння.
3. За результатами теоретичного дослідження встановлено, що добавка водневмісного газу від генератора з номінальною продуктивністю 50 л/хв забезпечує збільшення воднево-вуглецевого відношення палива з 0,17 до 0,24, що дозволяє підвищити енергоефективність на 4,2 % та знизити викиди CO<sub>2</sub> на 15,6 %. Добавка етанолу до бензину від 0 до 100 % збільшує відношення Н/С з 0,17 до 0,25. При цьому, енергоефективність підвищується на 8,8 % а викиди CO<sub>2</sub> знижуються на 13 %.
4. Результати експериментальних досліджень добавки водневмісного газу від генератора з номінальною продуктивністю 3 л/хв свідчать про зниження витрати палива до 3,5 % в режимі малого навантаження та несуттєвої зміни концентрацій шкідливих речовин у ВГ, що в цілому підтверджує результати теоретичного дослідження. Похибка моделювання при цьому складає близько 7,4%.
5. Результати експериментальних досліджень добавки етанолу до бензину у кількості 25 % по масі свідчать про збільшення абсолютної витрати палива на 10,8–10,9% та практично незмінну енергоефективність. Концентрації основних шкідливих речовин після нейтралізатора практично мало відрізняються для палива E25 та бензину. Це також в цілому підтверджує теоретичні результати для такої величини добавки етанолу, що відповідає Н/С на рівні 0,185. Похибка моделювання в цьому випадку складає 3,3-3,6 %.
6. Отже результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень доводять можливість одночасного поліпшення показників енергоефективності та екологічної безпеки транспортної енергоустановки при використанні альтернативних добавок до традиційного палива, які збільшують воднево-вуглецеве відношення палива. Однак, використання таких добавок повинно забезпечуватись можливостями системи управління двигуном корегувати подачу палива та системи енергозабезпечення генерувати необхідну кількість водневмісного газу. Визначення таких можливостей систем енергоустановки виходить за рамки даної статті та може бути предметом окремого дослідження.