

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ



## 2. ТИПИ ДОСЛІДЖЕНИХ ПАЛИВ (СКЛАДИ)



## 3. ПЕРЕЛІК СКЛАДІВ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### ХІМІЧНІ СКЛАДИ ПРОДУКТІВ ГАЗИФІКАЦІЇ

CO (об. %)	H <sub>2</sub> (об. %)	CH <sub>4</sub> (об. %)	CO <sub>2</sub> (об. %)	N <sub>2</sub> (об. %)
табличні дані складу газів для всіх досліджених палив і газів				

### ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ: ФУНДАМЕНТАЛЬНІ РОЗРАХУНКИ



- Молекулярна маса ( $M_{CP}$ ) – молекулярна маса продуктів згоряння, кг/кмоль



- Нижча та вища теплоти згоряння ( $Q_l, Q_h$ ) – теплота згоряння продуктів згоряння, МДж/м<sup>3</sup> або МДж/кг



- Питомі викиди CO<sub>2</sub> ( $j_{CO_2}$ ) – кг CO<sub>2</sub>/кг палива або кг CO<sub>2</sub>/МДж



- Теоретична температура горіння ( $T_T$ ) – температура горіння продуктів згоряння, К

### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ



Експериментальні випробування



Хроматографічний аналіз складу газу



Визначення теплоти згоряння



Вимірювання температур



Статистична обробка та порівняльний аналіз

### ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ: ІНТЕРПОЛЯЦІЙНІ / ШІ-ОЦІНКИ



- Апроксимація залежностей між складом газів та теплофізичними характеристиками



- Регресійні моделі та машинне навчання



- Інтерполяційна оцінка теоретичної температури горіння ( $T_T$ ) для нових складів



- Порівняння результатів ШІ-оцінок з фундаментальними розрахунками



**МЕТА:**

Отримання достовірних теплофізичних характеристик продуктів згоряння для всіх складів та порівняння фундаментальних і ШІ-оцінок.

# 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

фундаментальні дослідження  
і ШІ (методи дослідження)

## ОСНОВНА ТЕРМІНОЛОГІЯ



**Дані** – спостереження або вимірювання для навчання та оцінювання моделей.



**Модель** – математичне подання залежності між вхідними та вихідною величиною.



**Цільова змінна** – величина, яку модель має передбачати.



**Вхідні змінні** – параметри, що використовуються моделлю для прогнозування виходів.



**Навчання** – налаштування параметрів моделі на основі даних для мінімізації похибки.



**Валідація / Тестування** – перевірка якості моделі на невідомих даних.



**Похибка** – кількісна оцінка відхилення прогнозу від факту

## МЕТОДИ, ЯКИМИ КОРИСТУЄТЬСЯ ШІ

### 1) ФУНДАМЕНТАЛЬНІ

- Фізико-математичне моделювання
- Термодинамічні та хімічні моделі
- Балансові моделі
- Механістичні моделі процесів
- Гібридні моделі

### 2) АПРОКСИМАЦІЙНІ

- Лінійна регресія та її модифікації
- Дерева рішень
- Метод опорних векторів
- Штучні нейронні мережі
- Гаусівські процеси
- $k$ -найближчих сусідів
- Методи зниження розмірності
- Інші методи машинного навчання

## ПРОЦЕС ЗАСТОСУВАННЯ ШІ



**Збір даних**

експериментальні та табличні дані



**Підготовка даних**

очищення, нормалізація, кодування ознак



**Вибір моделі та навчання**

побудова та налаштування моделі



**Валідація моделі**

перевірка якості на валідаційній вибірці



**Тестування та оцінка**

оцінка на тестовій вибірці, аналіз похибок



**Використання моделі**

прогнозування, оптимізація, підтримка рішень

## ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ШІ

- ✓ Висока точність прогнозування складних нелінійних залежностей
- ✓ Аналіз великих обсягів даних та виявлення прихованих закономірностей
- ✓ Адаптивність та здатність до навчання на нових даних
- ✓ Поєднання з фізичними знаннями для створення гібридних моделей
- ✓ Прискорення досліджень та підтримка прийняття інженерних рішень

## 5. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

Порівняння результатів фундаментальних розрахунків теплофізичних характеристик продуктів згоряння з підходами штучного інтелекту

Паливо	$M_{CP}$ , кг/кмоль			$T_T$ , К			LHV, кг			HHV, кг			$j_{CO_2}$ , кг/МДж (LHV)		
	фунд. розрах.	ШІ- модель	$\Delta$ , %	фунд. розрах.	ШІ- модель	$\Delta$ , %	фунд. розрах.	ШІ- модель	$\Delta$ , %	фунд. розрах.	ШІ- модель	$\Delta$ , %	фунд. розрах.	ШІ- модель	$\Delta$ , %
Природний газ (базове паливо)	16.04	16.03	-0.06	2224	2236	+0.54	50.02	50.10	+0.16	55.52	55.58	+0.11	0.056	0.056	0
продукти газифікації (ПГ):															
Пелети з деревини	26.52	26.50	-0.06	1925	1944	+0.99	5.60	5.61	+0.18	6.11	6.12	+0.13	0.110	0.111	+0.91
Тріска деревини	25.62	25.62	+0.01	1912	1912	+0.04	5.37	5.37	+0.04	5.89	5.84	-0.74	0.116	0.117	+0.86
Пелети з лузги соняшнику	24.15	24.15	0	2001	1998	-0.11	6.49	6.49	-0.06	7.12	7.06	-0.83	0.103	0.103	0
Пелети з міскантуса	25.48	25.48	0	1780	1777	-0.17	4.78	4.79	+0.15	5.41	5.37	-0.70	0.108	0.109	+0.93
Шкаралупа грецького горіха	25.07	25.01	-0.25	1897	1895	-0.10	4.86	4.99	+2.63	5.30	5.40	+1.91	0.111	0.111	0
Гума подрібнена	26.36	26.36	0	1829	1829	+0.05	5.52	5.52	-0.02	6.16	6.16	-0.13	0.081	0.080	-1.23
технологічні гази:															
Коксовий газ (COG)	10.59	10.50	-0.85	2275	2260	-0.66	17.55	17.70	+0.85	19.82	19.90	+0.40	0.044	0.045	+2.27
Коксо-доменний газ (КДГ)	18.27	18.20	-0.38	2166	2150	-0.74	12.07	12.20	+1.08	13.52	13.60	+0.59	0.058	0.060	+3.45
Доменний газ (ДГ)	28.94	28.80	-0.48	1741	1730	-0.63	3.90	3.95	+1.28	4.00	4.05	+1.25	0.200	0.205	+2.50

### ПОЗНАЧЕННЯ:

$M_{CP}$  — молекулярна маса продуктів згоряння, кг/кмоль

$T_T$  — теоретична температура горіння, К

LHV — нижча теплота згоряння, кг

HHV — вища теплота згоряння, кг

$j_{CO_2}$  — питомі викиди  $CO_2$ , кг  $CO_2$ /МДж (на LHV)

$\Delta$ , % — відносне відхилення ШІ-моделі від фундаменту



### ПОРІВНЯННЯ ВІДНОСНО ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Питомі викиди  $j_{CO_2}$  (кг  $CO_2$ /МДж, LHV) у % відносно природного газу (100 %).

- >100 % — вищі викиди  $CO_2$ .
- <100 % — нижчі викиди  $CO_2$ .



### ПРО ПІДХОДИ

- Фундаментальні розрахунки** — фізико-математичні моделі (термодинамічні та хімічні).
- ШІ-моделі** — ансамбль методів (лінійна регресія, Random Forest, Gradient Boosting, SVM, ANN, Gaussian Process та ін.).



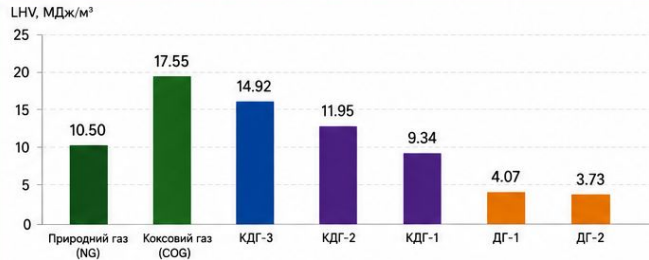
### КЛЮЧОВІ ВИСНОВКИ

- ШІ-моделі забезпечують високу точність для всіх показників.
- Найбільші відхилення для  $j_{CO_2}$  у коксо-доменного газу (+3.45 %) та шкаралупи горіху (+2.63 %).
- Серед альтернативи найближчі до природного газу за  $j_{CO_2}$  — пелети з лузги соняшнику.

## 6. ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПАЛИВ

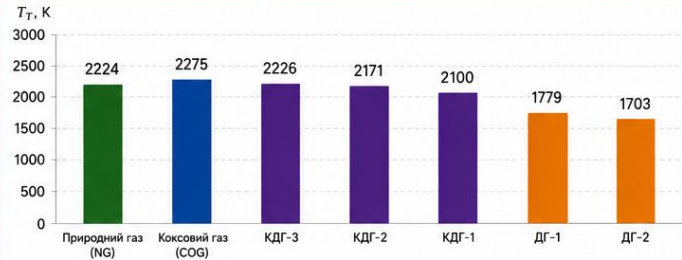
Порівняння основних теплофізичних характеристик досліджених палив з природним газом, а також між коксовим та коксо-доменним газами.

### 1) ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ (Нижча теплота згоряння, LHV)



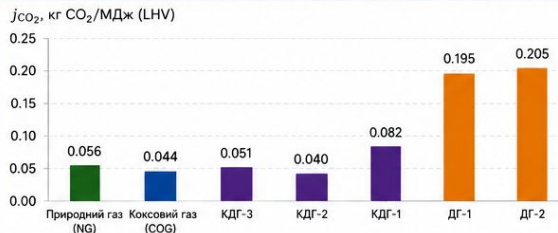
Природний газ має найвищу теплоту згоряння.  
Коксовий газ — найближчий за енергетичним потенціалом серед промислових газів.

### 2) ТЕМПЕРАТУРА ГОРІННЯ (Теоретична температура полум'я, T<sub>T</sub>)



Коксовий газ забезпечує найвищу теоретичну температуру горіння.  
Температура доменного газу — найнижча.

### 3) ПИТОМИЙ ВИКИД CO<sub>2</sub> (j<sub>CO2</sub>)



Коксовий газ має найнижчий питомий викид CO<sub>2</sub>.  
Доменний газ — найвищий.

### 4) ПОРІВНЯННЯ КОКСОВОГО, КОКСО-ДОМЕННОГО ТА ДОМЕННОГО ГАЗІВ



Коксовий газ має найвищу теплоту згоряння.



Коксовий газ забезпечує найвищу теоретичну температуру горіння.



Коксовий газ має найнижчий питомий викид CO<sub>2</sub>.



#### ВИСНОВОК:

Природний газ демонструє найкращі теплофізичні характеристики та екологічні показники.  
Серед альтернативних палив до нього найближчими за параметрами є коксовий газ, а також пелети з лузги соняшнику та тріска деревини.