



ІНСТИТУТ ГАЗУ НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ПРОГНОЗУВАННЯ СУЧАСНОГО ВИБОРУ ПАЛИВ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ЕНЕРГЕТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ ГІБРИДНОЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ



Б. С. Сорока, Д. І. Федоров, А. В. Либа



СТРУКТУРА ДОСЛІДЖЕННЯ

01

АНАЛІЗ СТАТИСТИКИ

Оцінка сучасного паливного балансу ЄС (електрогенерація та промисловість) за даними Eurostat.

ПРОГНОЗНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

02

Екстраполяція сценаріїв гібридного переходу та оцінка упущеного потенціалу декарбонізації.

03

ТЕРМОДИНАМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ

Керування температурним режимом печі за допомогою дозування пари (ШІ-двійник).

ВИСНОВКИ

04

Математичне підтвердження ефективності гібридного метано-водневого заміщення.

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ПАЛИВНОГО БАЛАНСУ

ДАНІ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ СТАТИСТИКИ (EUROSTAT, 1990–2024 РР.)

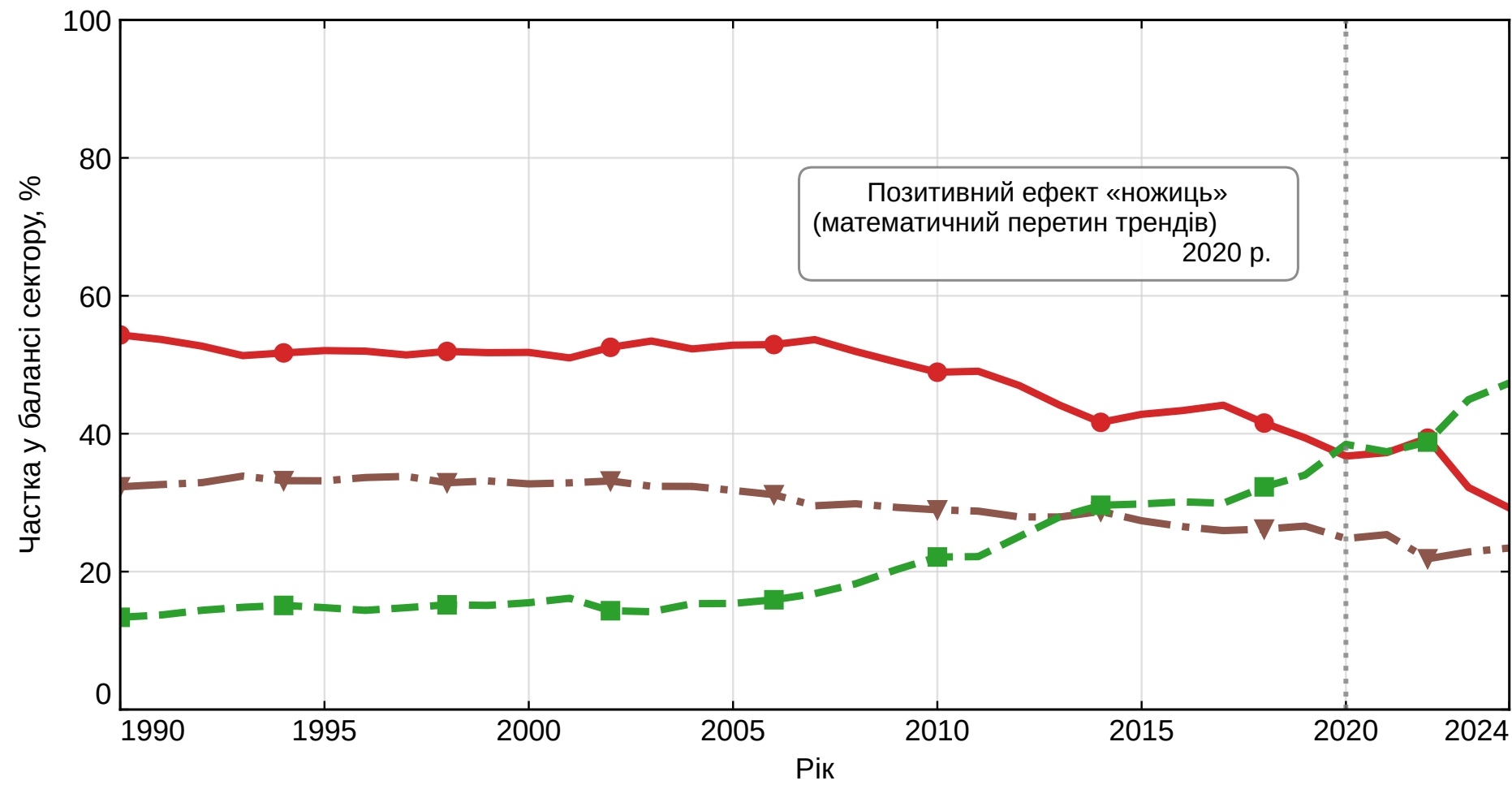
ДИСПРОПОРЦІЯ ТЕМПІВ ЗАМІЩЕННЯ

ЕЛЕКТРОГЕНЕРАЦІЯ

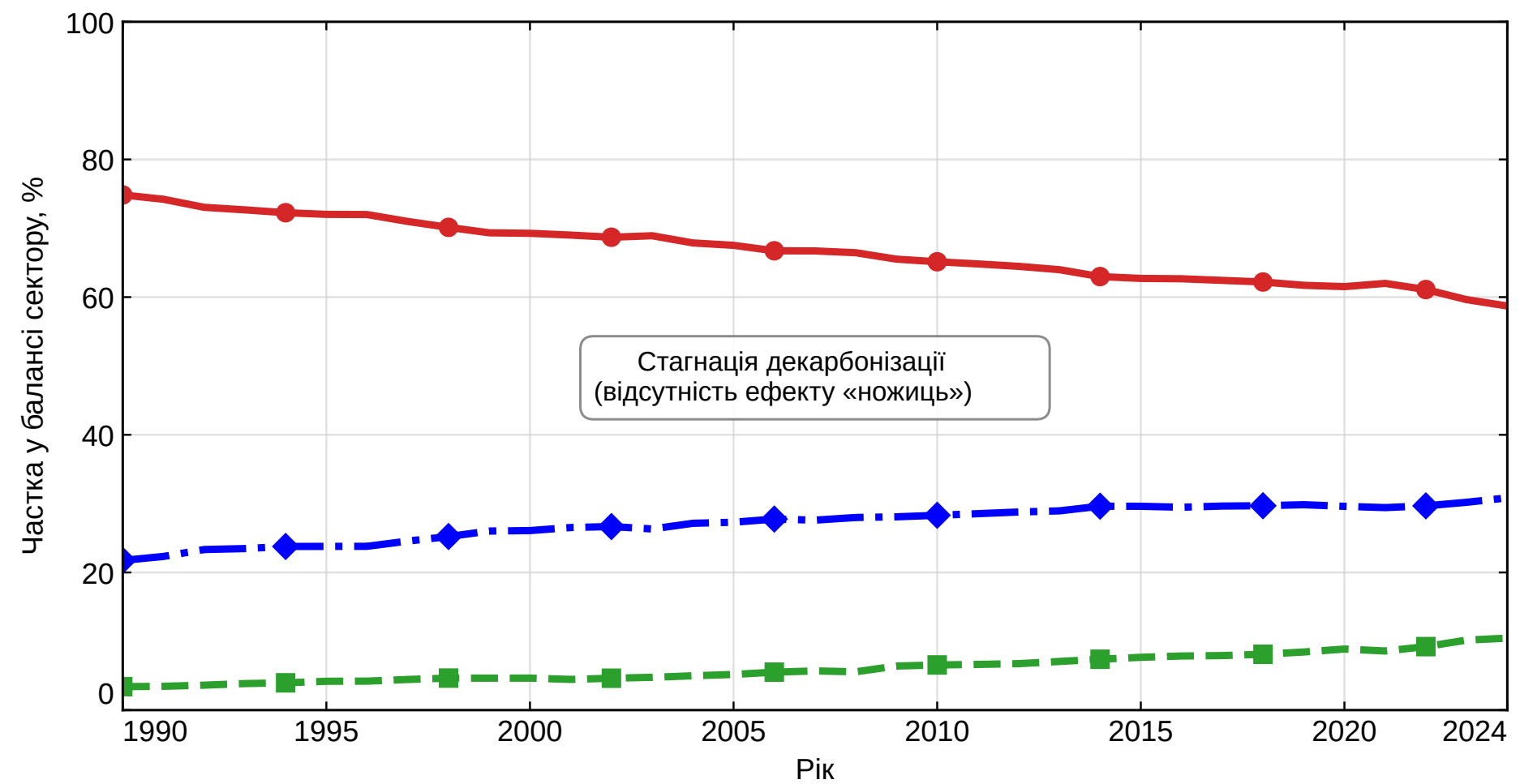
У 2020 році відбулася структурна інверсія паливного балансу, зафіксовано перетин трендів: частка відновлюваних джерел (ВДЕ) математично перевищила частку викопних палив

ПРОМИСЛОВИЙ СЕКТОР

У цьому секторі структурна зміна балансу гальмується. Незважаючи на повільний спад споживання викопних палив, темпи впровадження альтернатив є недостатніми для перетину трендів



● Викопне паливо (вкл. природний газ) ■ Відновлювані джерела (ВДЕ)
▲ Атомна енергетика



● Викопне паливо (вкл. природний газ) ■ Відновлювані джерела (ВДЕ)
◆ Електроенергія

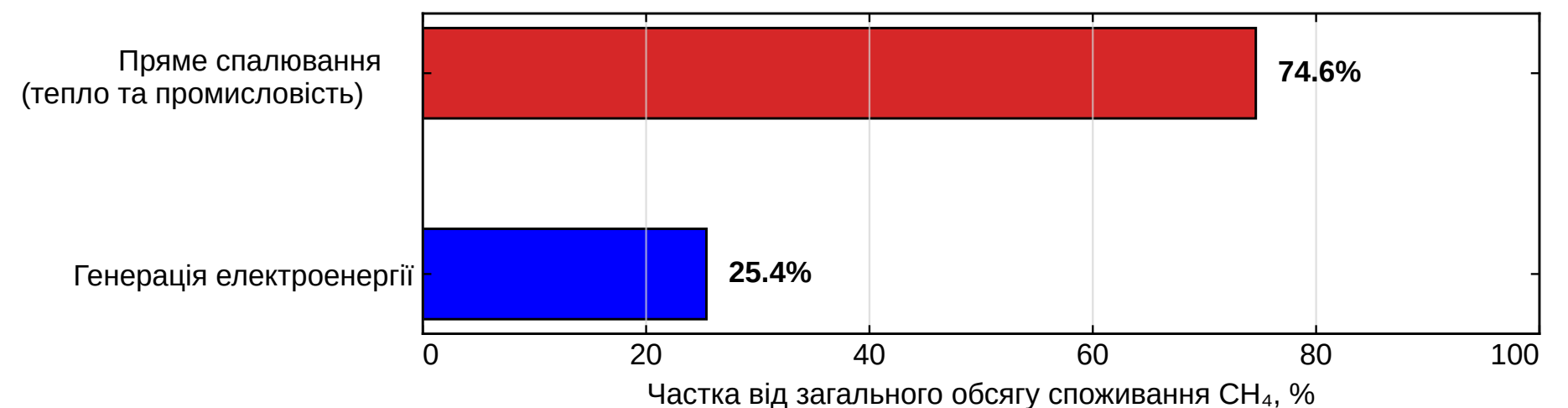
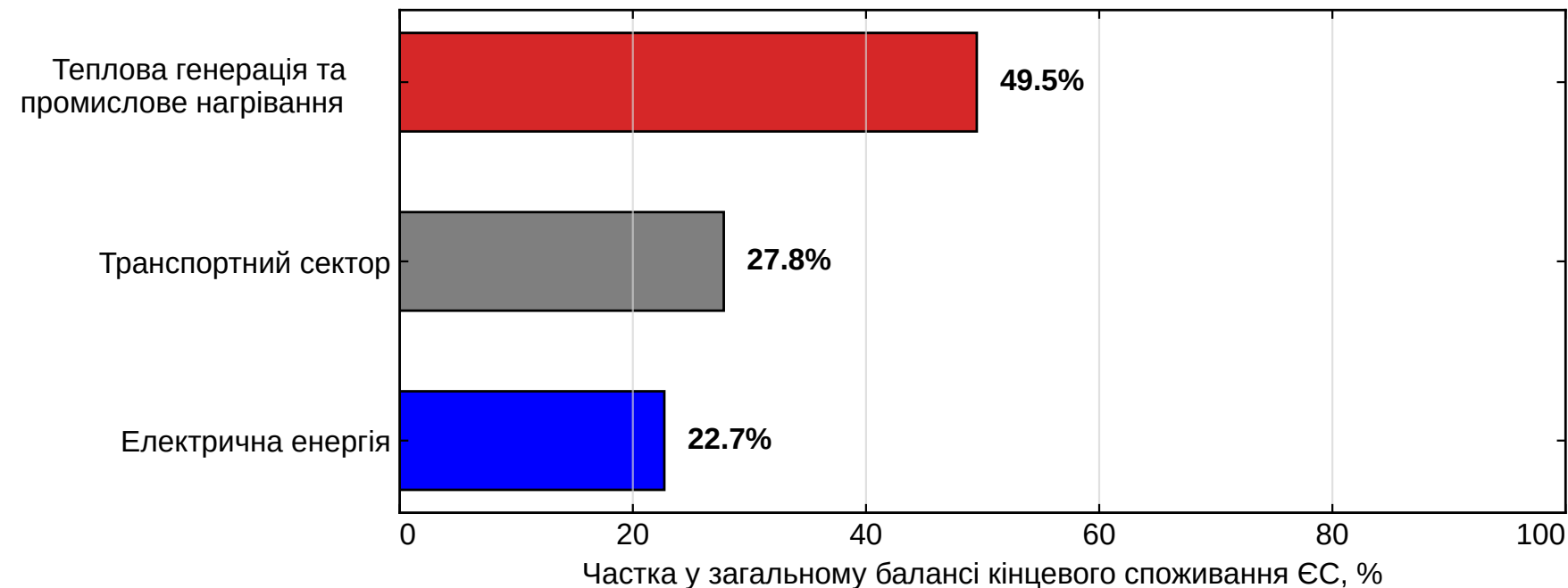
ДОМІНАНТНА РОЛЬ ПРОМИСЛОВОГО НАГРІВУ

СТРУКТУРА СПОЖИВАННЯ ВИКОПНОГО ПАЛИВА

Електрична енергія становить лише **~23% балансу**.
Теплова генерація та високотемпературне нагрівання поглинають **~50%** первинної енергії.

СТРУКТУРА СПОЖИВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ (CH₄)

До **75%** усього обсягу газу спалюється безпосередньо в системах опалення та промислових печах, а не на електростанціях.



**Дані повних енергобалансів за 2022-2023 рр.*



ПРОГНОЗНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ СЦЕНАРІЇВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ ШІ

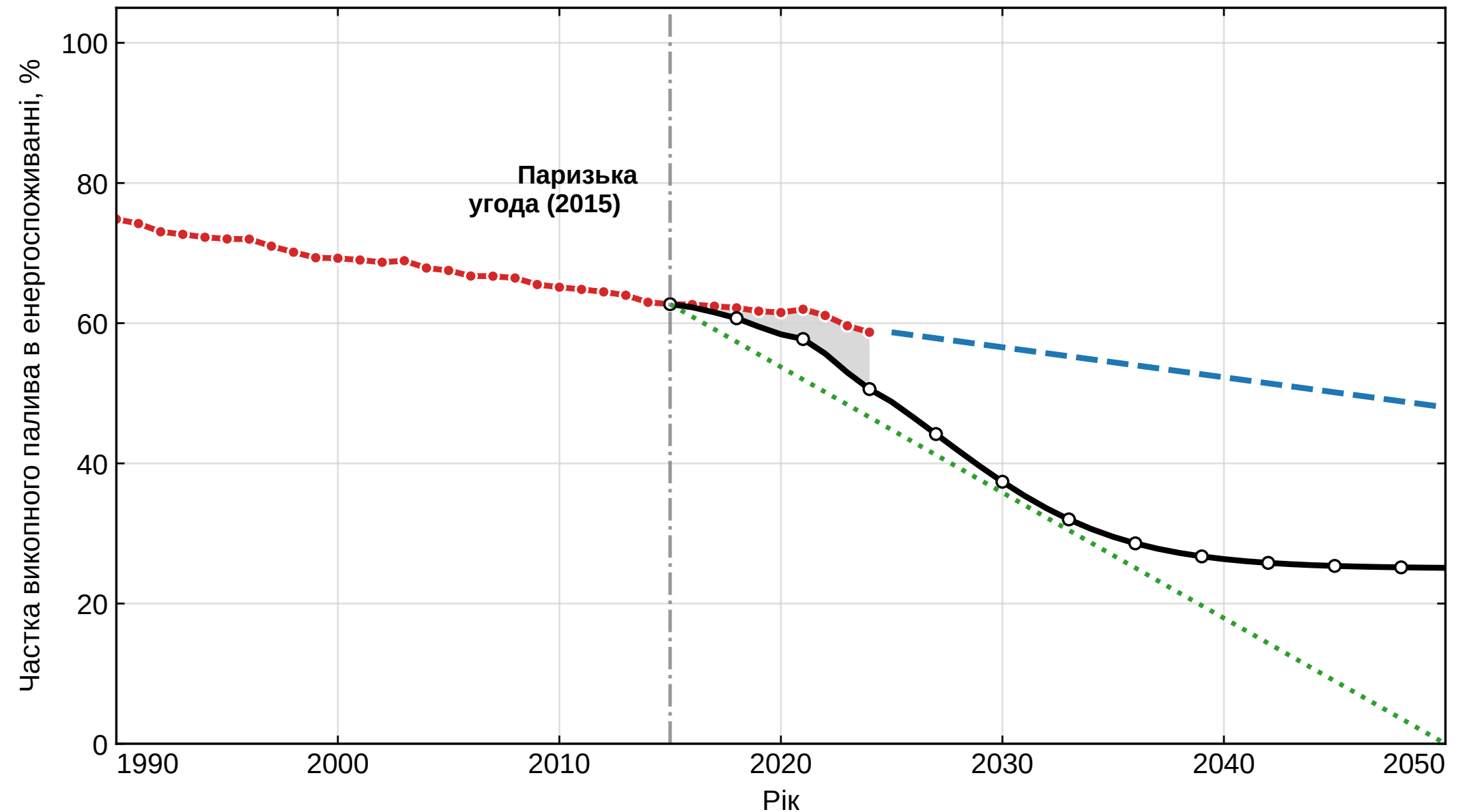
ПРЕДИКТИВНЕ ШІ-МОДЕЛЮВАННЯ: ПРОГНОЗ ПАЛИВНОГО БАЛАНСУ

УПУЩЕНИЙ КЛІМАТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Сіра зона показує кліматичні втрати через очікування повної відмови від викопних палив замість старту гібридного переходу в 2015 році.

ФАКТОРИ ШІ-ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ

Модель не є лінійною. Вона математично враховує час на інфраструктурний ретрофіт печей, жорсткі межі пожежо-вибухової безпеки та реальні макроекономічні шоки (кризи 2020/2022 рр.).



■ Упущений екологічний потенціал (до 2024 р.)

●-● Фактичне споживання викопного палива (Eurostat)

— Екстраполяція стагнації (сценарій BAU)

—○ ШІ-оптимізований сценарій гібридного заміщення

●-● Теоретична межа повної декарбонізації

ТЕРМОДИНАМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ

МАТЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА КОМПЛЕКСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧІ



ТЕРМОДИНАМІЧНА СУПЕРЕЧНІСТЬ ГІБРИДНОГО ЗАМІЩЕННЯ

ЕКОЛОГІЧНА МЕТА

Заміщення CH_4 на H_2 (містке паливо) критично необхідне для усунення емісії CO_2 .

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ БАР'ЄР

Водень спричиняє стрімке зростання теоретичної температури горіння (T_1).

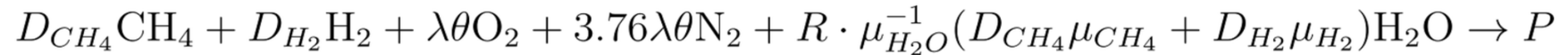
НАСЛІДОК

Зростання T_1 призводить до інтенсивного окислення атмосферного азоту (термічні NO_x за механізмом Зельдовича).

РІШЕННЯ (ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА)

Багатокритеріальне ШІ-керування дозуванням водяної пари безпосередньо у корінь факела.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ЛОГІКА КЕРУВАННЯ



де P - продукти згоряння;

D_{H_2} та D_{CH_4} - об'ємні частки водню та метану відповідно ($D_{CH_4} + D_{H_2} = 1$);

$\theta = 1.5 D_{CH_4} + 0.5$ - стехіометрична потреба в кисні;

μ_{CH_4} , μ_{H_2} та μ_{H_2O} - молярні маси метану, водню та води відповідно;

$R = m_{H_2O} / m_f$ - відносний масовий потік пари по відношенню до сумарної масової витрати палива (m_f).

ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ

Гібридне паливо (CH_4/H_2)
Коефіцієнт повітря (λ)

ШІ-ДВІЙНИК

Вирішення оберненої
задачі.
Ціль: $T_1 = 2226 \text{ K (const)}$

КЕРУЮЧИЙ ВПЛИВ

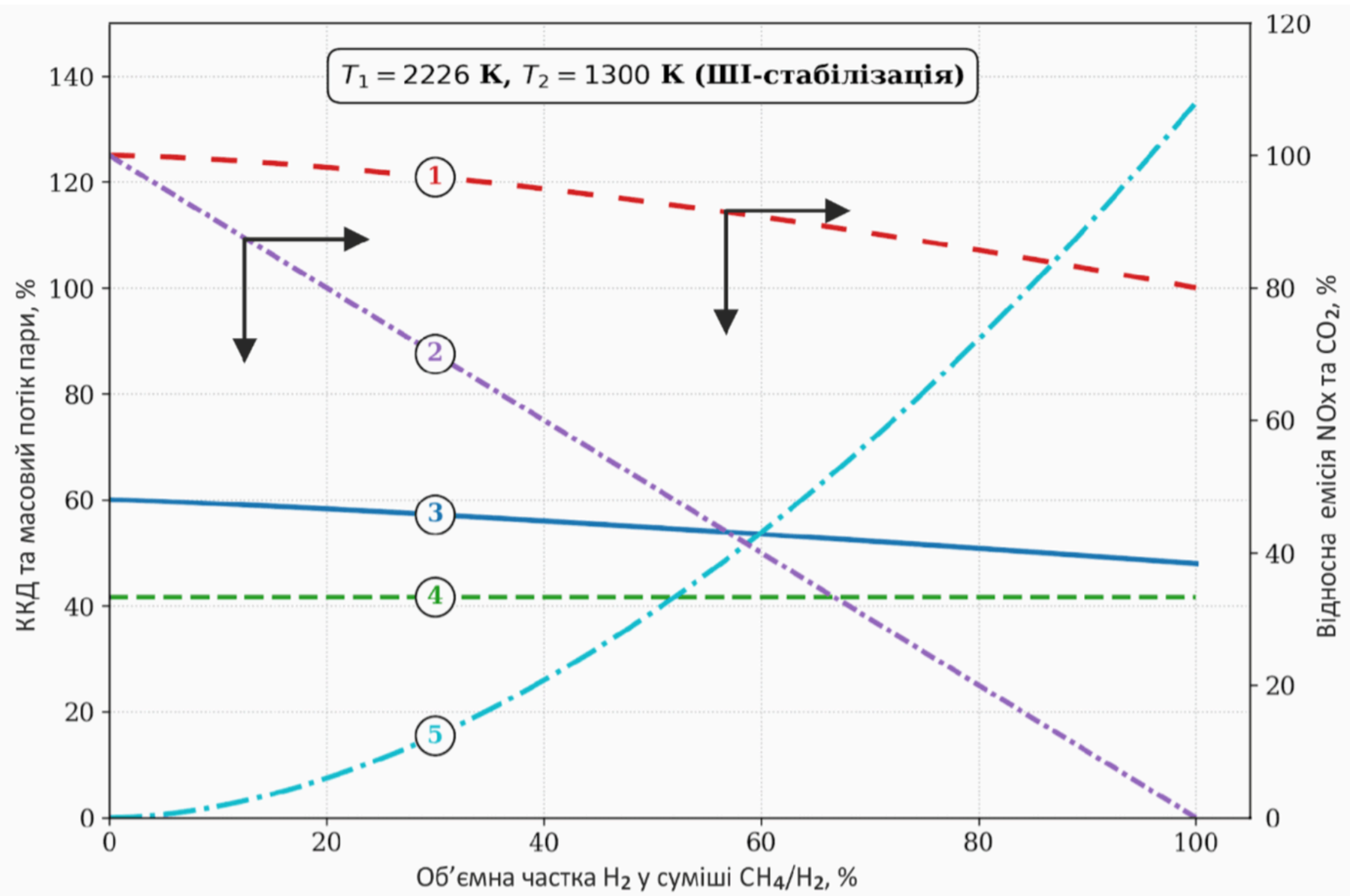
Розрахунок масового
потіку пари (R)

РОЗВ'ЯЗАННЯ ОБЕРНЕНОЇ ЗАДАЧІ ШІ-ДВІЙНИКОМ (РЕЖИМНІ ПАРАМЕТРИ)

Склад палива (H ₂)	Масовий потік пари (R)	Ентальпійний ККД (η_H)	Ексергетичний ККД (η_{eff})
0% (Чистий CH ₄)	0%	60.1%	41.6% (Цикл Карно)
40% (Сумішеве паливо)	22%	57.8%	41.6%
80% (Сумішеве паливо)	90%	52.4%	41.6%
100% (Чистий H ₂)	135%	48.2%	41.6%

* Завдяки штучному утриманню температур T_1 та T_2 (за допомогою розрахованого потоку R), зниження традиційного ентальпійного ККД повністю компенсується збереженням незмінного ексергетичного ККД ідеальної теплової машини.

КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІДЕАЛЬНОЇ ПЕЧІ



- 1 - відносна емісія термічних NO_x ;
- 2 - відносна емісія CO_2 ;
- 3 - ентальпійний ККД (η_H);
- 4 - ексергетичний (ефективний) ККД (η_{eff}) за ідеальним прямим циклом Карно при характеристичних температурах $T_1 = 2226\text{K}$ та $T_2 = 1300\text{K}$;
- 5 - відносний масовий потік пари (R).

ПІДСУМКИ



- ✓ Повна відмова від вуглеводнів у високотемпературних промислових процесах у короткостроковій перспективі стикається з критичними технологічними бар'єрами.
- ✓ Результати статистичного та предиктивного моделювання свідчать про доцільність структурної трансформації галузі шляхом впровадження гібридних газових сумішей (CH_4/H_2).
- ✓ Алгоритмічне керування баластною парою успішно розв'язує проблему зростання NO_x при збереженні ексергетичної ефективності.
- ✓ Термодинамічний розрахунок доводить, що зниження традиційного ентальпійного ККД компенсується збереженням стабільного ексергетичного ККД на рівні ідеального циклу Карно.



ІНСТИТУТ ГАЗУ НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

THANK
You!



Б. С. Сорока, Д. І. Федоров, А. В. Либа

