



ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

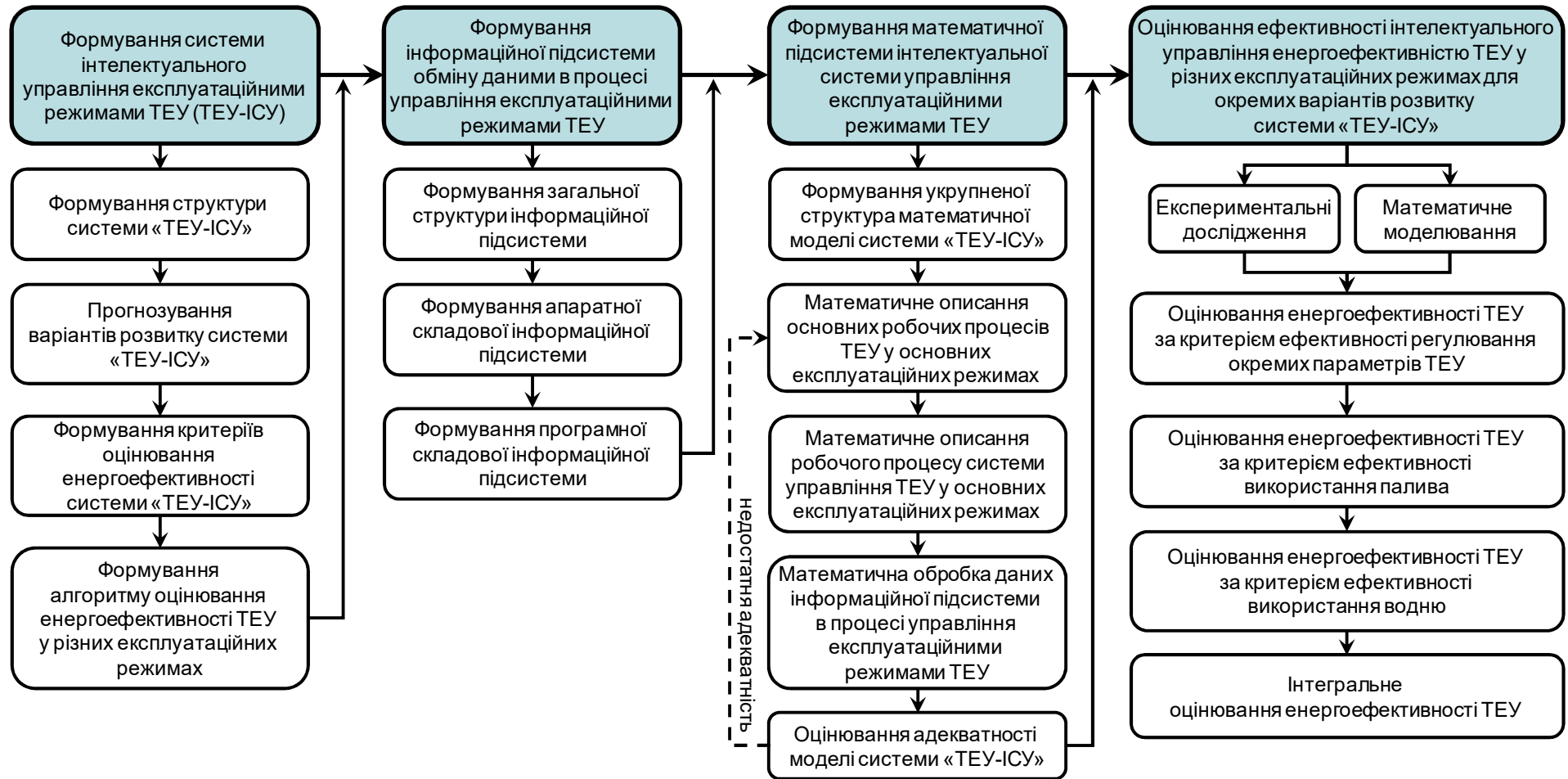
**Міжнародна науково-практична конференція
11-12 березня 2024 року (онлайн)**

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ РЕЖИМАМИ
ТРАНСПОРТНИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК**

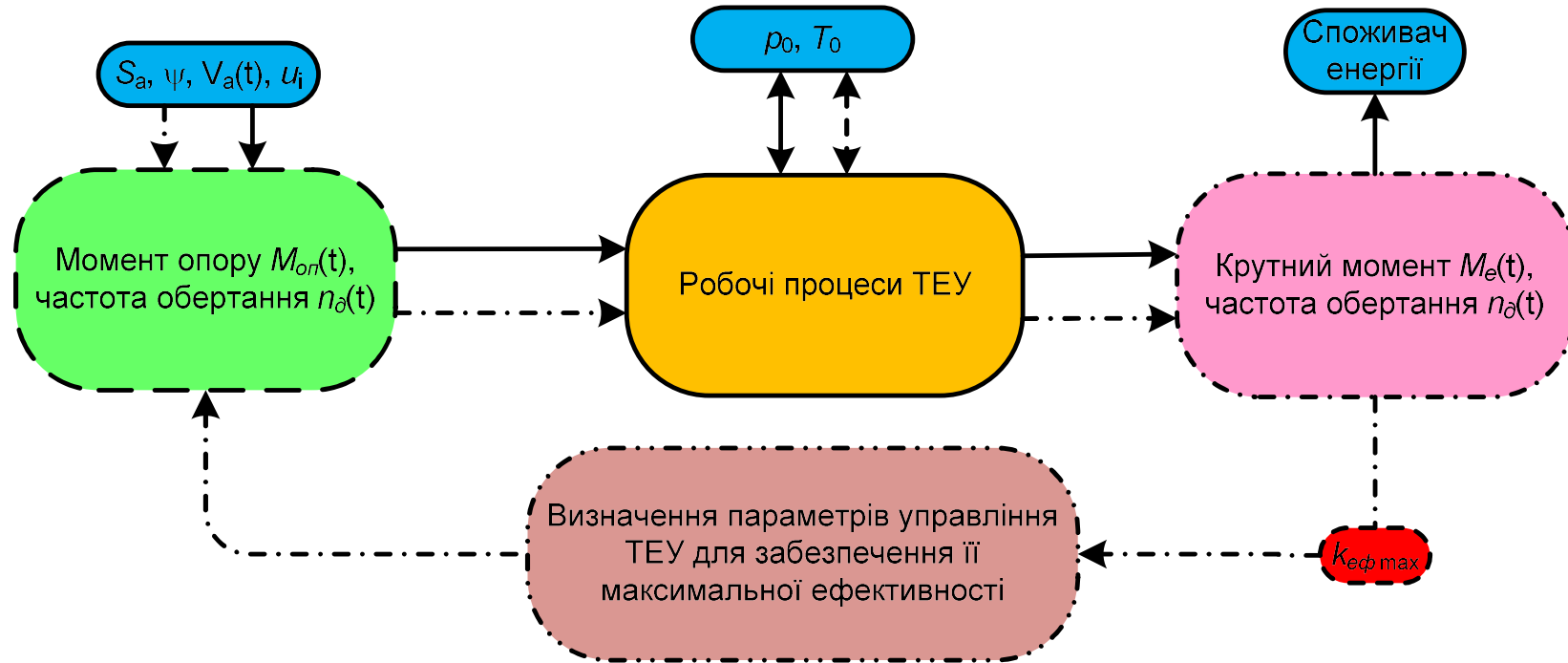
доц. Цюман М.П.

КИЇВ - ХАРКІВ - 2024

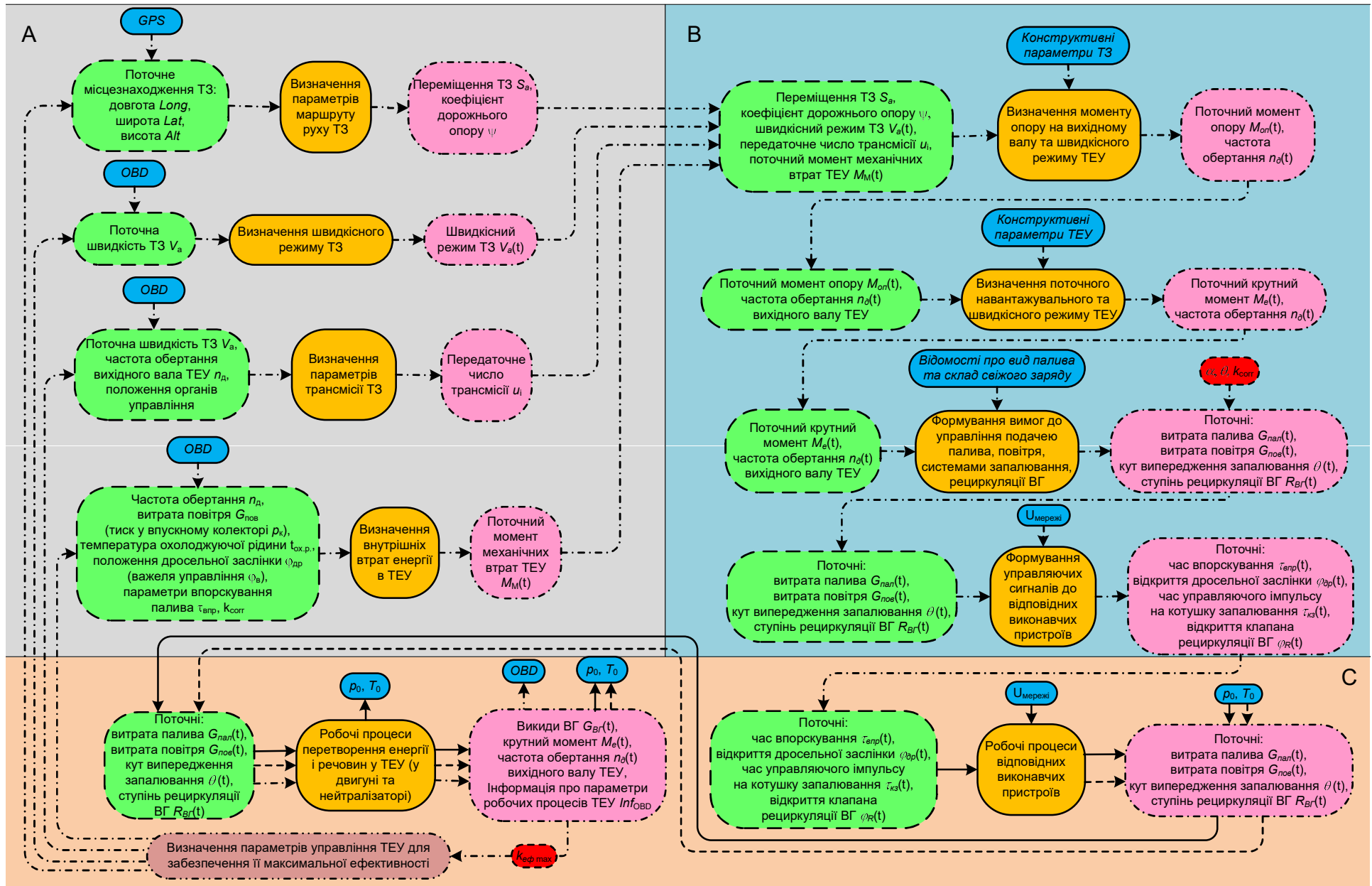
Системний підхід до управління експлуатаційними режимами ТЕУ



Загальна структура системи «ТЕУ-ІСУ»



Деталізована структура системи «ТЕУ-ІСУ»



Сукупність варіантів реалізації окремих параметрів системи «ТЕУ-ІСУ»

Транспортна енергетична установка							Інтелектуальна система управління											
1. Вид палива (енергії)	2. Спосіб подачі палива	3. Спосіб подачі повітря	4. Система рециркуляції ВГ	5. Система рекуперації енергії	6. Система зміни складу свіжого заряду	7. Система очистки ВГ	8. Управління подачею палива	9. Управління тиском подачі палива	10. Коригування подачі палива	11. Управління подачею повітря	12. Управління тиском наддуву	13. Управління розмірами впускного трубопроводу	14. Управління фазами газорозподілу	15. Управління складом паливоповітряної суміші	16. Управління моментом початку згорання	17. Управління системою рециркуляції ВГ		
1.1. Бензин	2.1. У впускний трубопровід	3.1. Без примусового нагнітання	4.1. Тільки через фазу перекриття клапанів	5.1. Немає	6.1. Немає	7.1. Немає	8.1. На основі тиску у впускному колекторі та частоти обертання колінчастого вала	9.1. Без управління	10.1.3а температурним режимом	11.1. Немає	12.1. Немає	13.1. Немає	14.1. Немає	15.1. Максимізація ККД за гомогенної суміші	16.1. Залежно від режиму роботи ТЕУ	17.1. Немає		
1.2. Етанол				5.2. Рекуперація теплової енергії охолоджуючої рідини					10.2. За тиском у впускному колекторі				14.2. Гідромеханічне управління моментом закриття клапану за частотою обертання					
1.3. Суміш бензину з етанолом				5.3. Рекуперація теплової енергії моторної оливи					10.3. За положенням дросельної заслінки (важеля управління)				14.3. Електрокероване двоступінчасте управління поворотом розподільного вала за режимом роботи					
1.4. ЗНГ	2.2. У циліндр	3.2. Газотурбінний наддув	4.2. Через додатковий електрокерований клапан	5.4. Рекуперація теплової енергії ВГ для забезпечення температурного режиму ТЕУ	6.2. Додавання водневмісного газу	7.2. Трикомпонентний нейтралізатор	8.2. На основі витрати повітря та частоти обертання колінчастого вала	9.2. На основі витрати повітря	10.4. За частотою обертання	11.2. Безпосереднє дроселювання	12.2. Перепуском ВГ через обхідний канал турбіни	13.2. Різні геометричні параметри для двох швидкісних діапазонів	14.4. Електрокероване безступінчасте управління поворотом розподільного вала за режимом роботи	15.3. Максимізація середнього ефективного тиску за гомогенної суміші	17.2. Залежно від режиму роботи ТЕУ для мінімізації викидів NOx			
1.5. Дизельне паливо				5.5. Термоелектрична рекуперація теплової енергії охолоджуючої рідини												10.5. За атмосферним тиском	15.4. Максимізація середнього ефективного тиску за гетерогенної (нерівномірної) суміші	
1.6. РМЕ				5.6. Термоелектрична рекуперація теплової енергії ВГ												10.6. За вмістом кисню у ВГ	15.5. Максимізація ефективності системи очистки ВГ за гетерогенної суміші	
1.7. Суміш дизельного палива з РМЕ	2.3. Комбіновано	3.3. Нагнітач з механічним приводом	4.3. Через додатковий електрокерований клапан з додатковим охолодженням ВГ	5.7. Комбінована	6.3. Додавання кисневмісного газу	7.3. Нейтралізатор з накопиченням NOx	8.3. На основі положення дросельної заслінки (важеля управління) та частоти обертання колінчастого вала	9.3. На основі тиску у впускному колекторі	10.7. За складом палива	11.3. Електрокероване дроселювання	12.3. Поворотом направляючих лопаток турбіни	13.3. Різні геометричні параметри для трьох швидкісних діапазонів	14.5. Електрокероване ступінчасте управління зміною профіля кулачка за режимом роботи	15.6. Максимізація ефективності системи очистки ВГ за гетерогенної (нерівномірної) суміші	16.2. Залежно від режиму роботи ТЕУ за межею детонації (жорсткості роботи)	17.3. Залежно від режиму роботи ТЕУ для мінімізації витрати палива		
1.8. СПГ				5.8. Комбінована													10.8. Комбіноване	15.7. Комбіноване
1.9. Водень				5.9. Комбінована													10.9. Комбіноване	15.8. Комбіноване
1.10. Електрична енергія	2.3. Комбіновано	3.4. Комбінований	4.5. Комбінована	5.10. Комбінована	6.4. Комбінована	7.4. Нейтралізатор NOx з додаванням розчину сечовини	8.4. Комбіноване	9.4. 3 постійним тиском	10.8. Комбіноване	11.4. Зміною робочого об'єму	12.4. Використанням керуючого золотника потоку ВГ	13.4. Комбінований	14.6. Комбіноване	15.9. Комбіноване	16.3. Комбінований	17.4. Комбіноване		
1.11. Комбіноване				5.11. Комбінована													10.11. Комбіноване	15.11. Комбіноване

У перспективі розвитку ТЕУ можна очікувати:

-ТЕУ з комбінованим використанням базового палива (наприклад, бензину або суміші бензину з етанолом, або етанолу), водню та електричної енергії,

- комбінованою подачею палива,

- комбінацією різних способів рекуперації енергії

(комбінації варіантів: $(1.1+1.9+1.10)-2.3-3.1-4.2-(5.2+5.3+5.6)-6.2-(7.2+7.3)$;
 $(1.3+1.9+1.10)-2.3-3.1-4.2-(5.2+5.3+5.6)-6.2-(7.2+7.3)$; $(1.2+1.9+1.10)-2.3-3.1-4.2-$
 $(5.2+5.3+5.6)-6.2-(7.2+7.3)$; тощо).

У середньостроковій перспективі ІСУ враховуватиме:

- комбіноване використання базового палива, водню та електричної енергії в ТЕУ

- визначатиме стратегії управління подачею палива, повітря, тиском наддуву, розмірами впускного трубопроводу, фазами газорозподілу, складом паливоповітряної суміші, моментом початку згоряння, рециркуляцією ВГ в залежності від співвідношення використовуваних палив комбінуванням різних варіантів за основними характеристиками підсистеми «ІСУ»

Критерії оцінювання енергоефективності системи «ТЕУ-ІСУ»

Окремий критерій ефективності безпосереднього перетворення енергії палива у корисну роботу (ефективний ККД)

$$\eta_e = \frac{3,6 \cdot N_e}{G_{\text{пал}} \cdot h_{\text{н}}}$$

Груповий критерій ефективності

$$\eta = \eta_e \cdot \eta_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \eta_{\text{н}_\text{д}} \cdot \eta_\alpha \cdot \eta_{\text{CO}} \cdot \eta_{\text{CO}_2} \cdot \eta_{\text{NO}_2} \cdot \eta_{\text{C}_\text{мH}_\text{н}}$$

Окремі критерії ефективності управління параметрами ТЕУ (ступінь досягнення визначеного швидкісного режиму роботи ТЕУ, ефективність регулювання коефіцієнта надміру повітря)

$$\eta_{\text{н}_\text{д}} = \left(1 - \frac{|n_{\text{д}} - n_{\text{д}}^{\text{н}}|}{n_{\text{д}}^{\text{н}}} \right) \cdot \frac{u_{\text{тр}}^{\text{н}}}{u_{\text{тр}}}$$

Загальний критерій ефективності ТЕУ

$$k_{\text{еф}} = \frac{\int \eta(t) dt + \int \eta^{\text{xx}}(t) dt}{\int dt}$$

$$\eta_\alpha = 1 - \frac{|\alpha - \alpha^{\text{н}}|}{\alpha^{\text{н}}}$$

Окремий критерій енергоефективності за походженням енергії (частка відносного еквівалентного викиду H_2O у загальних відносних еквівалентних викидах ВГ)

$$\eta_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_{\text{H}_2\text{O}}}{G_{\text{CO}} \cdot h_{\text{CO}} + G_{\text{CO}_2} \cdot h_{\text{CO}_2} + G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_{\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{NO}_2} \cdot h_{\text{NO}_2} + G_{\text{C}_\text{мH}_\text{н}} \cdot h_{\text{н}} + G_{\text{пал}} \cdot \Delta h_{\text{а}}}$$

Окремі критерії безпечності викидів ТЕУ (відносні еквівалентні показники безпечності викидів оксиду вуглецю, діоксиду вуглецю, діоксиду азоту, вуглеводнів)

$$\eta_{\text{CO}} = 1 - \frac{G_{\text{CO}} \cdot h_{\text{CO}}}{G_{\text{CO}} \cdot h_{\text{CO}} + G_{\text{CO}_2} \cdot h_{\text{CO}_2} + G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_{\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{NO}_2} \cdot h_{\text{NO}_2} + G_{\text{C}_\text{мH}_\text{н}} \cdot h_{\text{н}} + G_{\text{пал}} \cdot \Delta h_{\text{а}}}$$

$$\eta_{\text{CO}_2} = 1 - \frac{G_{\text{CO}_2} \cdot h_{\text{CO}_2}}{G_{\text{CO}} \cdot h_{\text{CO}} + G_{\text{CO}_2} \cdot h_{\text{CO}_2} + G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_{\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{NO}_2} \cdot h_{\text{NO}_2} + G_{\text{C}_\text{мH}_\text{н}} \cdot h_{\text{н}} + G_{\text{пал}} \cdot \Delta h_{\text{а}}}$$

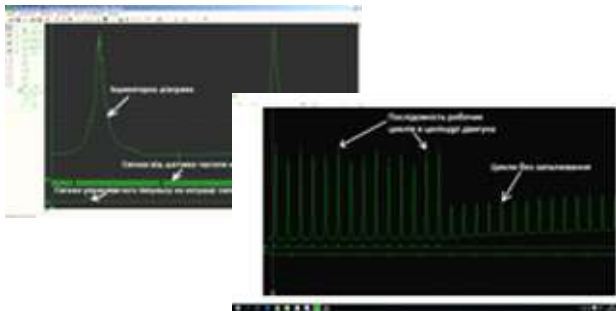
$$\eta_{\text{C}_\text{мH}_\text{н}} = 1 - \frac{G_{\text{C}_\text{мH}_\text{н}} \cdot h_{\text{н}}}{G_{\text{CO}} \cdot h_{\text{CO}} + G_{\text{CO}_2} \cdot h_{\text{CO}_2} + G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_{\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{NO}_2} \cdot h_{\text{NO}_2} + G_{\text{C}_\text{мH}_\text{н}} \cdot h_{\text{н}} + G_{\text{пал}} \cdot \Delta h_{\text{а}}}$$

$$\eta_{\text{NO}_2} = 1 + \frac{G_{\text{NO}_2} \cdot h_{\text{NO}_2}}{G_{\text{CO}} \cdot h_{\text{CO}} + G_{\text{CO}_2} \cdot h_{\text{CO}_2} + G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_{\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{NO}_2} \cdot h_{\text{NO}_2} + G_{\text{C}_\text{мH}_\text{н}} \cdot h_{\text{н}} + G_{\text{пал}} \cdot \Delta h_{\text{а}}}$$

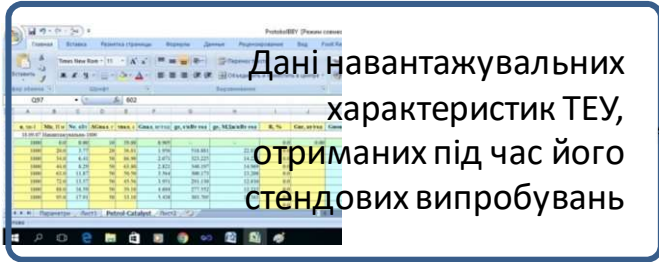
Алгоритм оцінювання енергоефективності ТЕУ у різних експлуатаційних режимах в процесі уточнення математичної моделі системи

Вхідні дані

Оцифрований сигнал тиску в циліндрах двигуна ТЕУ



Дані навантажувальних характеристик ТЕУ, отриманих під час його стендових випробувань

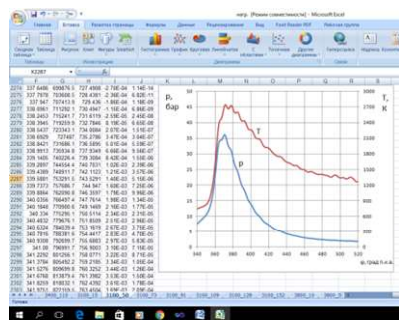


Дані бортової системи OBD, отримані під час стендових та експлуатаційних досліджень ТЕУ

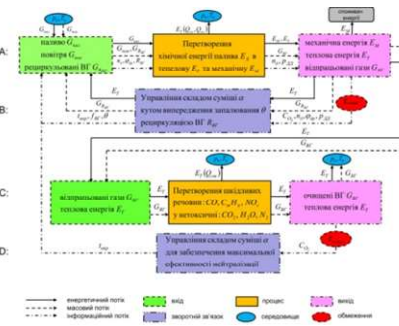


Обробка і моделювання

Масив параметрів стану робочого тіла в циліндрі

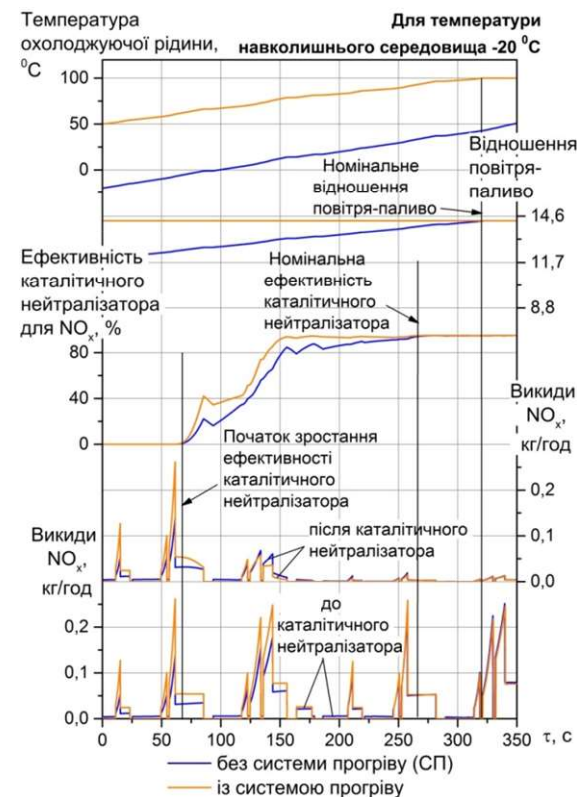


Математична модель системи «ТЕУ-ІСУ» (оцінювання адекватності)



Вихідний результат

Показники енергоефективності ТЕУ в їздовому циклі (оцінювання адекватності моделювання)



Алгоритм оцінювання енергоефективності ТЕУ у різних експлуатаційних режимах в процесі функціонування системи "ТЕУ-ІСУ"

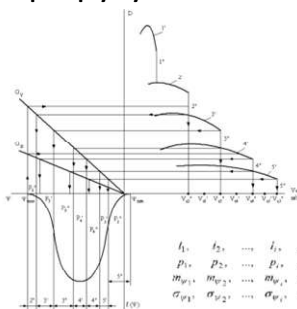
Вхідні дані

Дані бортової системи OBD, отримані під час експлуатаційних досліджень ТЕУ

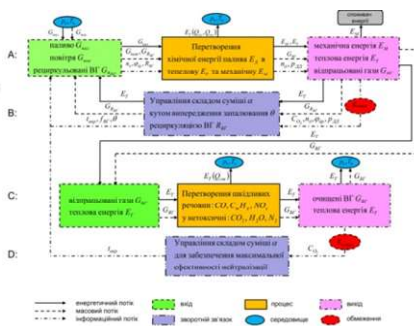
AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB
Температура охолоджувальної рідини	Системне навантаження	Давлення масла	Скористі в режимі холостого ходу	Скористі в режимі повної навантаження	Життєвий цикл двигона	Температура масла	Коефіцієнт тертя	Угол оборотів	Скористі на холостому ходу	Потужність двигона	Життєвий цикл двигона	Потужність двигона	Фактичне навантаження	Давлення масла	Давлення масла
1	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	2.5	0	13.95	1300	0.215	10000011	6.72
2	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	2.5	0	13.75	1300	0.215	10000011	6.72
3	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	1.5	0	13.95	1300	0.215	10000011	6.72
4	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	2.5	0	13.95	1300	0.215	10000011	6.72
5	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	1.5	0	13.95	1300	0.215	10000011	6.72
6	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	2.5	0	13.95	1300	0.215	10000011	6.72
7	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	3	0	13.75	1300	0.215	10000011	6.72
8	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	1	0	13.85	1300	0.215	10000011	6.72
9	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	1.5	0	13.85	1300	0.215	10000011	6.72
10	23	14.70	0	1400	1300	105	105	1.002031	2.5	0	13.85	1300	0.215	10000011	6.72
11	23	14.70	0	1400	1300	104	104	1.002031	2.5	0	13.75	1300	0.215	10000011	6.72
12	23	14.70	0	1400	1300	104	104	1.002031	1.5	0	13.85	1300	0.215	10000011	6.72
13	23	14.70	0	1400	1300	104	104	1.002031	1	0	13.85	1300	0.215	10000011	6.72
14	24	14.70	0	1360	1300	104	104	1.002031	1.6	0	13.85	1370	0.215	10000011	6.68
15	24	14.70	0	1400	1300	104	104	1.002031	1	0	13.75	1370	0.215	10000011	6.64
16	24	14.70	0	1400	1300	103	103	1.002031	1	0	13.85	1370	0.215	10000011	6.68
17	24	14.70	0	1360	1300	103	103	1.002031	1.5	0	13.85	1370	0.215	10000011	6.68
18	24	14.70	0	1400	1300	103	103	1.002031	1.6	0	13.75	1370	0.195	10000011	6.58
19	24	14.70	0	1400	1300	102	102	1.002031	1.5	0	13.75	1370	0.195	10000011	6.54
20	24	14.70	0	1400	1300	102	102	1.002031	1	0	13.75	1370	0.195	10000011	6.54
21	24	14.70	0	1360	1370	102	102	1.002031	2.5	0	13.85	1370	0.195	10000011	6.68
22	24	14.70	0	1360	1370	102	102	1.002031	2.6	0	13.75	1370	0.195	10000011	6.68
23	24	14.70	0	1400	1300	102	102	1.002031	1.5	0	13.75	1370	0.195	10000011	6.58
24	24	14.70	0	1400	1300	102	102	1.002031	1.5	0	13.75	1370	0.195	10000011	6.54
25	24	14.70	0	1400	1300	102	102	1.002031	1	0	13.75	1370	0.195	10000011	6.52
26	24	14.70	0	1400	1300	101	101	1.002031	1	0	13.95	1370	0.195	10000011	6.48
27	24	14.70	0	1360	1370	101	101	1.002031	2.6	0	13.85	1370	0.195	10000011	6.56
28	24	14.70	0	1400	1300	101	101	1.002031	1	0	13.85	1370	0.195	10000011	6.54
29	24	14.70	0	1400	1300	101	101	1.002031	1	0	13.85	1370	0.195	10000011	6.54
30	24	14.70	0	1400	1300	101	101	1.002031	1	0	13.85	1370	0.195	10000011	6.54

Обробка і моделювання

Масив параметрів про поточні характеристики маршруту ТЗ



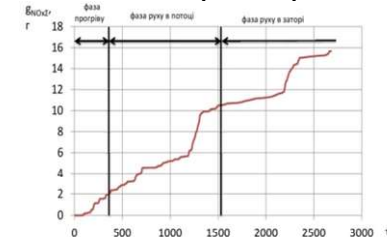
Математична модель системи «ТЕУ-ІСУ»



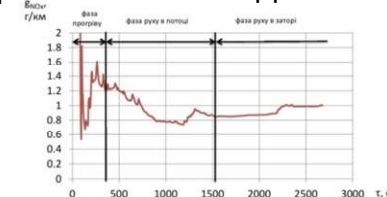
Вихідний результат

Показники енергоефективності ТЕУ на реальному маршруті

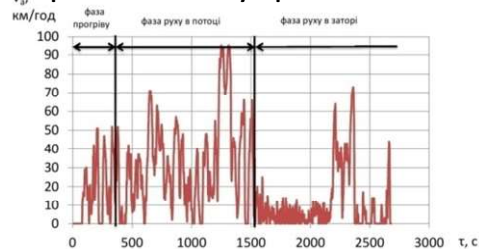
Ефективність перетворення енергії



Ефективність походження енергії

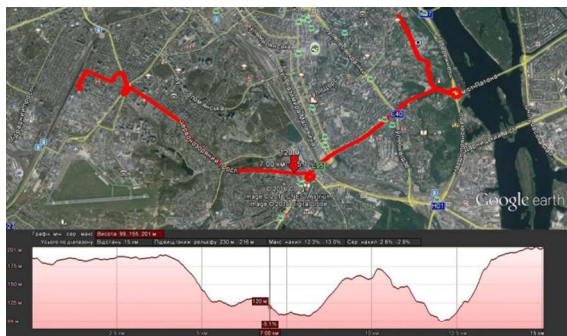


Ефективність управління ТЕУ



Безпечність викидів ВГ

Дані супутникової системи GPS, про поточні швидкість та місцезнаходження ТЗ



Висновки

1. На основі застосування методів системного аналізу розроблено загальну послідовність основних етапів та операцій, які передбачає системний підхід до управління експлуатаційними режимами ТЕУ, яка відрізняється від відомої структури системного аналізу наявністю етапів, які враховують формування як математичної, так і інформаційної підсистем ІСУ та дозволяє здійснювати побудову інтелектуальних систем управління ТЕУ на основі математичного аналізу актуальних параметрів зовнішнього середовища, отриманих за допомогою розширеної інформаційної підсистеми.

2. У відповідності до розробленого системного підходу запропоновано узагальнену структуру системи «ТЕУ-ІСУ», яка містить основні процеси, вхідні та вихідні дані, зв'язки із зовнішнім середовищем, обмеження та зворотні зв'язки для управління основними процесами системи «ТЕУ-ІСУ» та дозволяє здійснювати визначення основних параметрів управління виконавчими пристроями для управління робочими процесами ТЕУ з урахуванням досягнення максимального рівня енергоефективності системи.

3. З використанням системних методів здійснено прогнозування перспективних варіантів розвитку системи «ТЕУ-ІСУ» на основі сукупності варіантів реалізації окремих параметрів системи «ТЕУ-ІСУ».

4. З метою комплексного оцінювання показників енергоефективності окремих варіантів реалізації системи «ТЕУ-ІСУ» у різних експлуатаційних режимах розроблено критерії оцінювання енергоефективності. Запропоновано здійснювати оцінювання енергоефективності за окремими, груповими критеріями та інтегральним критерієм.

5. Для застосування запропонованих критеріїв енергоефективності ТЕУ розроблено алгоритм оцінювання енергоефективності ТЕУ у різних експлуатаційних режимах, який передбачає два етапи: в умовах стандартизованих їздових циклів з метою уточнення математичної моделі системи та під час руху ТЗ в умовах дійсного маршруту, які базуються на математичній моделі системи «ТЕУ-ІСУ» та інформаційній підсистемі, що забезпечує збір необхідних даних про умови і режими роботи ТЕУ.

Розроблений алгоритм оцінювання енергоефективності ТЕУ у різних експлуатаційних режимах дозволить здійснювати дослідження енергоефективності різних варіантів розвитку системи «ТЕУ-ІСУ» та визначати доцільні варіанти для поліпшення енергоефективності ТЕУ за запропонованими критеріями.