

© М. П. Цюман, канд. техн. наук, доцент,  
в. о. завідувача кафедри,  
ORCID: 0000-0003-2537-8010,  
e-mail: tsuman@ukr.net  
(Національний транспортний університет)

© Mykola Tsiuman, Associate Professor,  
Acting Head of Department,  
ORCID: 0000-0003-2537-8010,  
e-mail: tsuman@ukr.net  
(National Transport University)

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМАХ

### ENERGY EFFICIENCY CONTROL SYSTEM FOR VEHICULAR POWER PLANTS IN OPERATING MODES

**Анотація.** Висвітлено формування структури системи управління та критеріїв оцінювання енергоефективності транспортної енергоустановки (ТЕУ) в експлуатаційних режимах. Розроблено системний підхід до управління експлуатаційними режимами ТЕУ, який передбачає загальне формування системи інтелектуального управління (ІСУ) експлуатаційними режимами ТЕУ, формування інформаційної підсистеми обміну даними в процесі управління експлуатаційними режимами ТЕУ, формування математичної підсистеми інтелектуальної системи управління експлуатаційними режимами ТЕУ, оцінювання ефективності інтелектуального управління енергоефективністю ТЕУ в різних експлуатаційних режимах для окремих варіантів розвитку системи «ТЕУ-ІСУ». Сформовано структуру системи «ТЕУ-ІСУ», під час функціонування якої процеси умовно розподілені між трьома підсистемами: інформаційною, математичною та фізичною. Система забезпечує визначення параметрів управління робочими процесами ТЕУ для забезпечення її максимальної ефективності у відповідних експлуатаційних режимах у результаті досягнення максимального значення критерію енергоефективності ТЕУ. Оцінено закономірності зміни окремих та загального інтегральних критеріїв ТЕУ БОГДАН-21114 з двигуном 4Ч 8,2/7,56 в експлуатаційних режимах, які відповідають міським умовам. Представлений підхід дає можливість досліджувати ефективність застосування різних способів впливу на робочий процес ТЕУ, зокрема застосуванням альтернативних палив та добавок до традиційних палив у експлуатаційних режимах за визначеним критерієм енергоефективності.

**Ключові слова:** транспортна енергоустановка, енергоефективність, система управління, експлуатаційні режими, системний підхід, структура системи, критерій енергоефективності, транспортний засіб.

**Abstract.** The article is devoted to the development of a control system structure and evaluation criteria for the energy efficiency of a vehicular power plant (VPP) in operating modes. A systematic approach to managing the vehicular power plant operating modes has been developed, which includes the overall formation of an intelligent control system (ICS) for vehicular power plant operating modes, the formation of an information subsystem for data exchange during vehicular power plant operating modes management, the formation of a mathematical subsystem of the intelligent control system for vehicular power plant operating modes, and the evaluation of the effectiveness of intelligent management of vehicular power plant energy efficiency in various operating modes for specific scenarios of the "VPP-ICS" system development. The structure of the "VPP-ICS" system has been formed, within which the processes are conditionally distributed among three subsystems: informational, mathematical, and physical. The system ensures the determination of control parameters for vehicular power plant operating processes to maximize its efficiency in corresponding operating modes by achieving the maximum value of the vehicular power plant energy efficiency criterion. The patterns of changes in individual and overall integral criteria of the vehicular power plant of the BOGDAN-21114 with a 4FS 8.2/7.56 engine in operating modes corresponding to urban conditions have been evaluated. The proposed approach enables the investigation of the effectiveness of various methods for influencing the vehicular power plant operating process, including the use of alternative fuels and additives to conventional fuels, in operating modes based on the specified energy efficiency criterion.

**Keywords:** vehicular power plant, energy efficiency, control system, operating modes, systematic approach, system structure, energy efficiency criterion, vehicle.

#### Вступ

У сучасних умовах розвитку показники енергоефективності засобів автомобільного транспорту є найбільш важливими. Ці показники великою мірою визначаються ефективністю роботи енергетичної установки

транспортного засобу, яка значно змінюється в умовах експлуатації відносно конструктивно закладених показників унаслідок зміни теплового режиму, режимів роботи, якості палива, умов руху автомобіля, технічного стану тощо. Тому забезпечення високої ефективності

транспортної енергоустановки (ТЕУ) в умовах експлуатації є найважливішим перспективним напрямом розвитку автомобільних транспортних засобів та автомобільного транспорту в цілому. Одним із можливих шляхів досягнення цієї мети є використання інтелектуальних систем управління транспортними енергоустановками. Такі системи можуть здійснювати поточний аналіз показників ефективності енергоустановки в процесі експлуатації, на основі чого можливо приймати рішення щодо доцільності подальшої експлуатації, використання тих чи інших палив, добавок до палив, оптимального управління окремими параметрами, режимами руху, необхідності відновлення технічного стану тощо.

Енергоефективність ТЕУ значною мірою залежить від здатності їхніх систем управління адаптуватися до змінних умов роботи та параметрів ТЕУ, які в процесі експлуатації можуть якісно змінюватися. Забезпечити таку адаптивність можуть інтелектуальні системи управління (ІСУ), які в процесі експлуатації ТЕУ «навчаються» відповідно до поточних умов та передбачають відповідну гнучкість алгоритмів управління чи значень базових параметрів. Формування ІСУ передбачає врахування впливу на показники об'єкта управління великої кількості внутрішніх та зовнішніх параметрів. Для вирішення такого завдання найбільш ефективним може бути системний підхід.

У галузі проблем ТЕУ та транспорту системний підхід застосовувався у роботах багатьох відомих вчених: Гутаревича Ю. Ф., Головчука А. Ф., Матейчика В. П., Лісовала А. А., Канила П. М., Грицука І. В., Воронкова О. І., Клименка О. А., Симоненка Р. В. та інших [1-9].

*Метою роботи* є формування структури системи управління та критеріїв оцінювання енергоефективності транспортної енергоустановки в експлуатаційних режимах.

### **Основна частина**

Системний підхід до управління експлуатаційними режимами ТЕУ охоплює такі етапи (рис. 1):

1) загальне формування системи інтелектуального управління експлуатаційними режимами ТЕУ, під час якого формуються структура системи, що описує основні процеси її функціонування та обміну даними в процесах управління, основні структурні ознаки та способи практичної реалізації цих ознак, комбінування яких дозволить прогнозувати різні варіанти розвитку системи «ТЕУ-ІСУ», критерії оцінювання енергоефективності та алгоритм такого оцінювання у різних експлуатаційних режимах ТЕУ, які дозволять здійснювати аналіз розвитку системи «ТЕУ-ІСУ»;

2) формування інформаційної підсистеми обміну даними в процесі управління експлуатаційними режимами ТЕУ, під час якого формується інформаційна підсистема, яка забезпечить наповнення ІСУ поточними даними, отриманими під час моніторингу основних робочих процесів ТЕУ. Зокрема сформовані апаратна та програмна складові інформаційної підсистеми;

3) формування математичної підсистеми інтелектуальної системи управління експлуатаційними режимами ТЕУ, під час якого формується математична модель системи «ТЕУ-ІСУ» як сукупності трьох підмоделей: моделі робочих процесів ТЕУ у основних експлуатаційних режимах, моделі робочих процесів системи управління ТЕУ у основних експлуатаційних режимах та моделі математичної обробки даних інформаційної підсистеми в процесі управління експлуатаційними режимами ТЕУ. Оцінювання адекватності моделі системи «ТЕУ-ІСУ» необхідне для визначення достовірності даних математичної підсистеми ІСУ.

4) оцінювання ефективності інтелектуального управління енергоефективністю ТЕУ в різних експлуатаційних режимах для окремих варіантів розвитку системи «ТЕУ-ІСУ», під час якого оцінюється ефективність на основі результатів експериментальних досліджень та математичного моделювання з використанням встановлених окремих критеріїв, зокрема ефективності регулювання окремих параметрів ТЕУ, використання палива та водню (як компонента палива), а також інтегральне оцінювання енергоефективності ТЕУ.

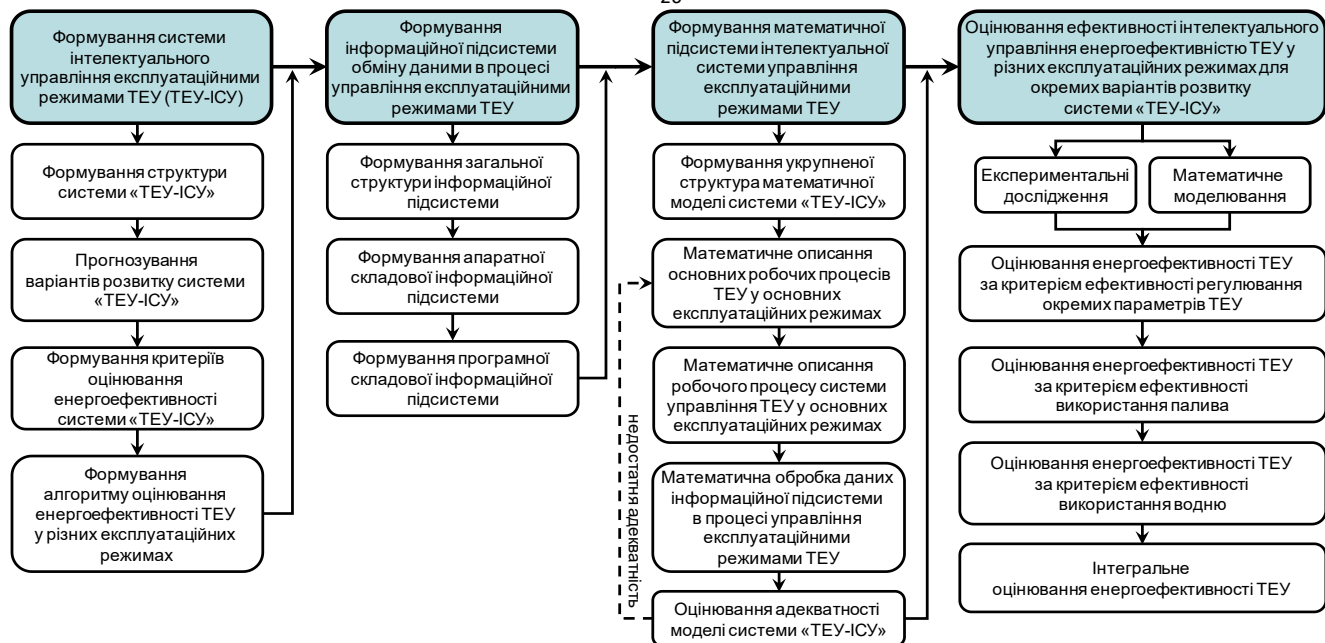


Рис. 1. Системний підхід до управління експлуатаційними режимами ТЕУ

Загальна структура системи «ТЕУ-ІСУ» може бути сформована на основі принципу, закладеного в сучасні електронні системи управління ТЕУ, а саме забезпечення необхідного крутного моменту та з урахуванням можливостей ІСУ. Застосовуючи загальні принципи аналізу систем, представимо загальну структуру системи «ТЕУ-ІСУ» (рис. 2).

Вхідними величинами системи «ТЕУ-ІСУ» є поточні значення моменту опору  $M_{оп}(t)$  на вихідному валу ТЕУ та частоти обертання вихідного валу  $n_d(t)$ . Ці значення обумовлені дією факторів зовнішнього середовища: вибраним маршрутом руху ТЗ, що визначає його переміщення  $S_a$  та значення коефіцієнта дорожнього опору  $\psi$ , швидкісного режиму  $V_a(t)$  ТЗ, встановленим передаточним числом трансмісії  $u_i$  та внутрішніми втратами енергії в ТЕУ. В результаті здійснення робочих процесів ТЕУ, з урахуванням параметрів стану навколишнього середовища, на вихідному валу ТЕУ розвивається крутний момент  $M_e(t)$  за частоти обертання  $n_d(t)$ , які складають механічну енергію, що надходить ТЗ.

Зворотний зв'язок забезпечує визначення параметрів управління робочими процесами ТЕУ для забезпечення її максимальної ефективності (ефективності перетворення енергії, ефективності управління) у відповідних експлуатаційних режимах завдяки досягненню максимального значення критерію ефективності ТЕУ  $k_{ef}$ .

На основі загальної структури системи «ТЕУ-ІСУ» розроблено деталізовану структуру. Процеси, що відбуваються під час функціонування системи, умовно розподілено між трьома підсистемами: інформаційною (А), математичною (В) та фізичною (С) (рис. 3, 4, 5).

Процеси інформаційної підсистеми А системи «ТЕУ-ІСУ» (рис. 3) полягають в отриманні необхідних поточних параметрів руху ТЗ та робочих процесів ТЕУ, необхідних для подальшої обробки у математичній підсистемі з метою встановлення управлінських параметрів виконавчими пристроями ТЕУ для досягнення на вихідному валу необхідного крутного моменту за відповідної частоти обертання та максимального рівня енергоефективності.

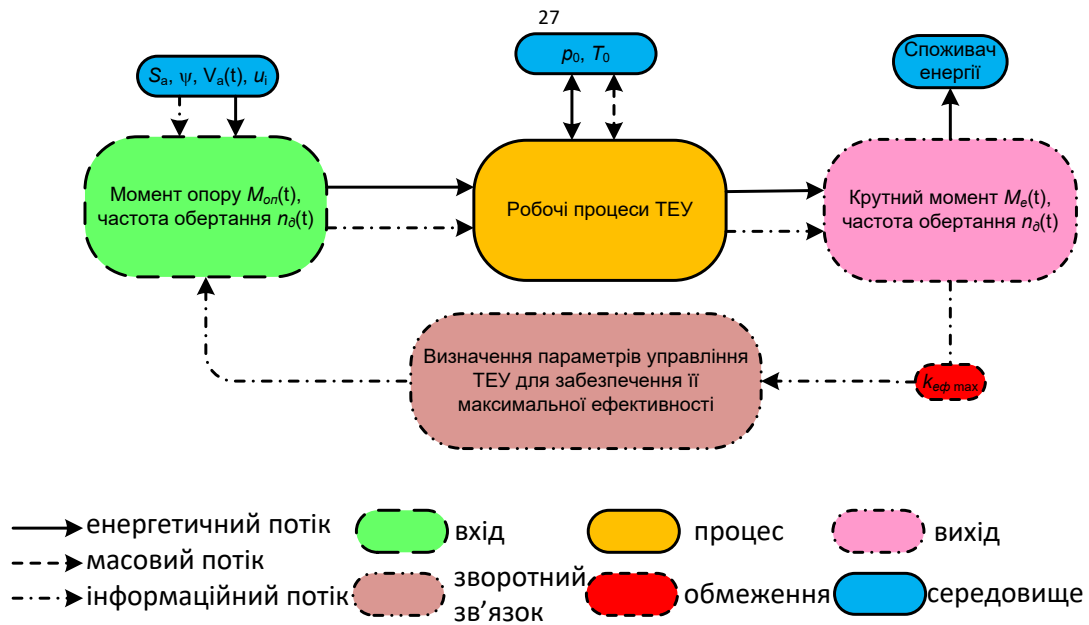


Рис. 2. Загальна структура системи «ТЕУ-ІСУ»

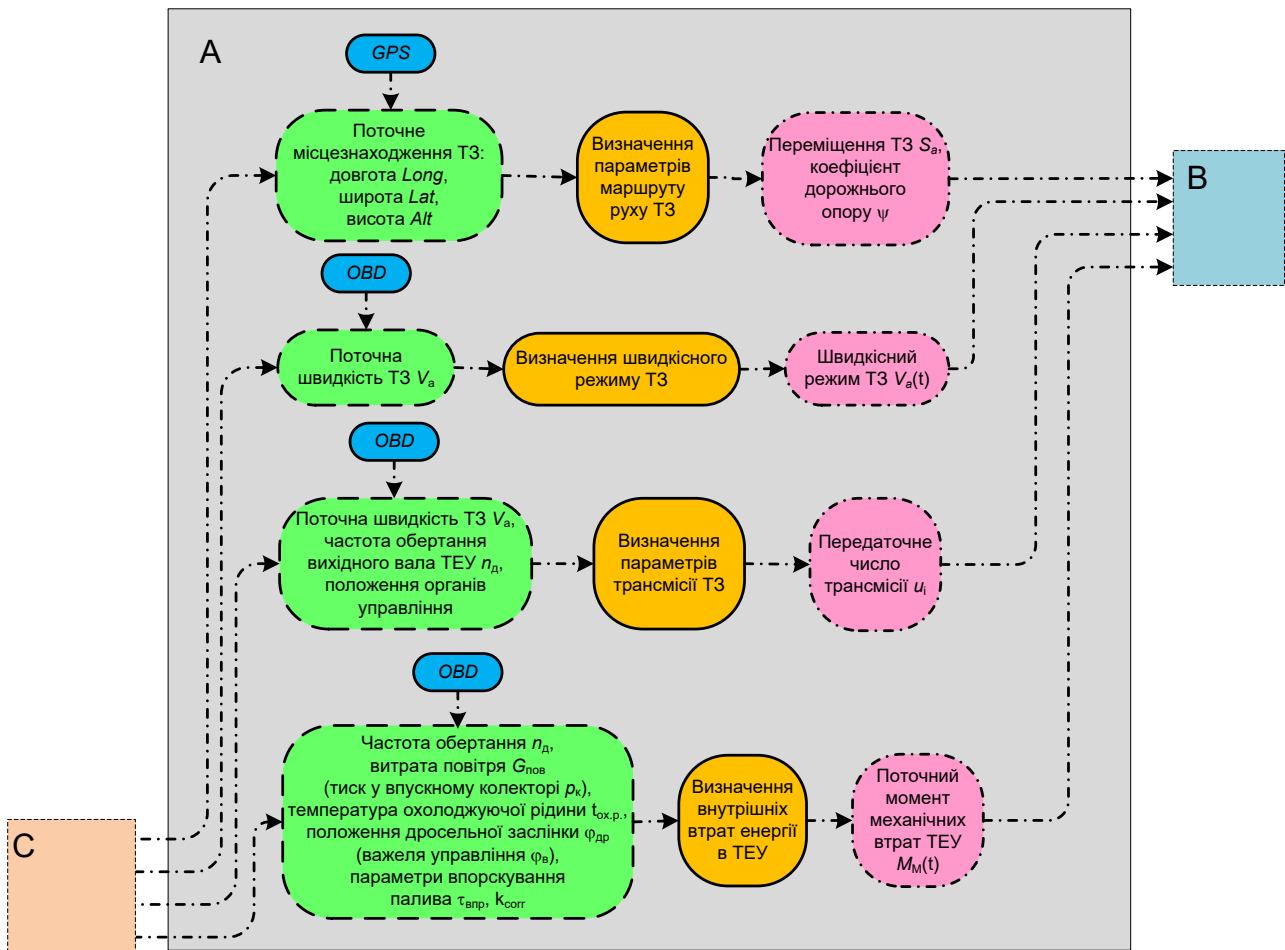


Рис. 3. Деталізована структура інформаційної підсистеми системи «ТЕУ-ІСУ»

Ці процеси передбачають, зокрема, визначення: переміщення ТЗ  $S_a$  та значення коефіцієнта дорожнього опору  $\psi$  на основі даних про поточне місцезнаходження ТЗ, отриманих від (GPS); швидкісного режиму  $V_a(t)$  ТЗ,

передаточного числа трансмісії  $u_i$  та поточного моменту механічних втрат  $M_M(t)$  ТЕУ на основі даних про поточну швидкість  $V_a$  ТЗ, частоту обертання вихідного вала  $n_d$  ТЕУ, положення органів управління ТЗ, витрату повітря

$G_{\text{пов}}$  (тиск у впускному колекторі  $p_k$ ), температуру охолоджувальної рідини  $t_{\text{ох.р.}}$ , положення важеля управління  $\varphi_B$ , параметри

впорскування палива  $\tau_{\text{впр}}$ ,  $k_{\text{corr}}$ , отримані від системи On-Board Diagnostics (OBD).



Рис. 4. Деталізована структура математичної підсистеми системи «ТЕУ-ІСУ»

Процеси математичної підсистеми В (рис. 4) системи «ТЕУ-ІСУ» полягають в обробці отриманих від інформаційної підсистеми даних про переміщення ТЗ  $S_a$ , коефіцієнт дорожнього опору  $\psi$ , швидкісний режим  $V_a(t)$  ТЗ, передаточне число трансмісії  $u_i$  та поточний момент механічних втрат  $M_M(t)$  ТЕУ для визначення поточних параметрів управління виконавчими пристроями ТЕУ, зокрема: момент початку і тривалість впорскування  $\tau_{\text{впр}}(t)$  палива, величина на важіль управління  $\varphi_{\text{др}}(t)$ , момент початку і тривалість керівного імпульсу на котушку запалювання  $\tau_{\text{кз}}(t)$  тощо, які забезпечують досягнення на вихідному валу необхідного крутного моменту за відповідної частоти обертання та максимального рівня енергоефективності. На основі даних про  $S_a$ ,  $\psi$ ,  $V_a(t)$ ,  $u_i$ ,  $M_M(t)$  з урахуванням конструктивних параметрів ТЗ здійснюється визначення моменту опору  $M_{\text{оп}}(t)$  на вихідному валу ТЕУ та частоти обертання вихідного валу  $n_d(t)$ , які, в свою чергу, з

урахуванням інших конструктивних параметрів ТЕУ, є основою для визначення необхідного швидкісного та навантажувального режиму ТЕУ (необхідного крутного моменту  $M_e(t)$ ). Визначені параметри швидкісного та навантажувального режиму роботи ТЕУ з урахуванням відомостей про вид палива та склад свіжого заряду дозволяють сформулювати вимоги до управління подачею палива  $G_{\text{пал}}(t)$ , повітря  $G_{\text{пов}}(t)$ , системами запалювання  $\theta(t)$  тощо. На основі сформованих вимог до подачі палива, повітря, випередження запалювання та інших з урахуванням поточної напруги  $U_{\text{мереж}}$  у мережі електрообладнання ТЗ здійснюється формування керівних сигналів до відповідних виконавчих пристроїв: моменту початку і тривалості впорскування  $\tau_{\text{впр}}(t)$  палива паливними форсунками, величини впливу на важіль управління  $\varphi_{\text{др}}(t)$ , моменту початку і тривалості керівного імпульсу на котушку запалювання  $\tau_{\text{кз}}(t)$ , тощо.

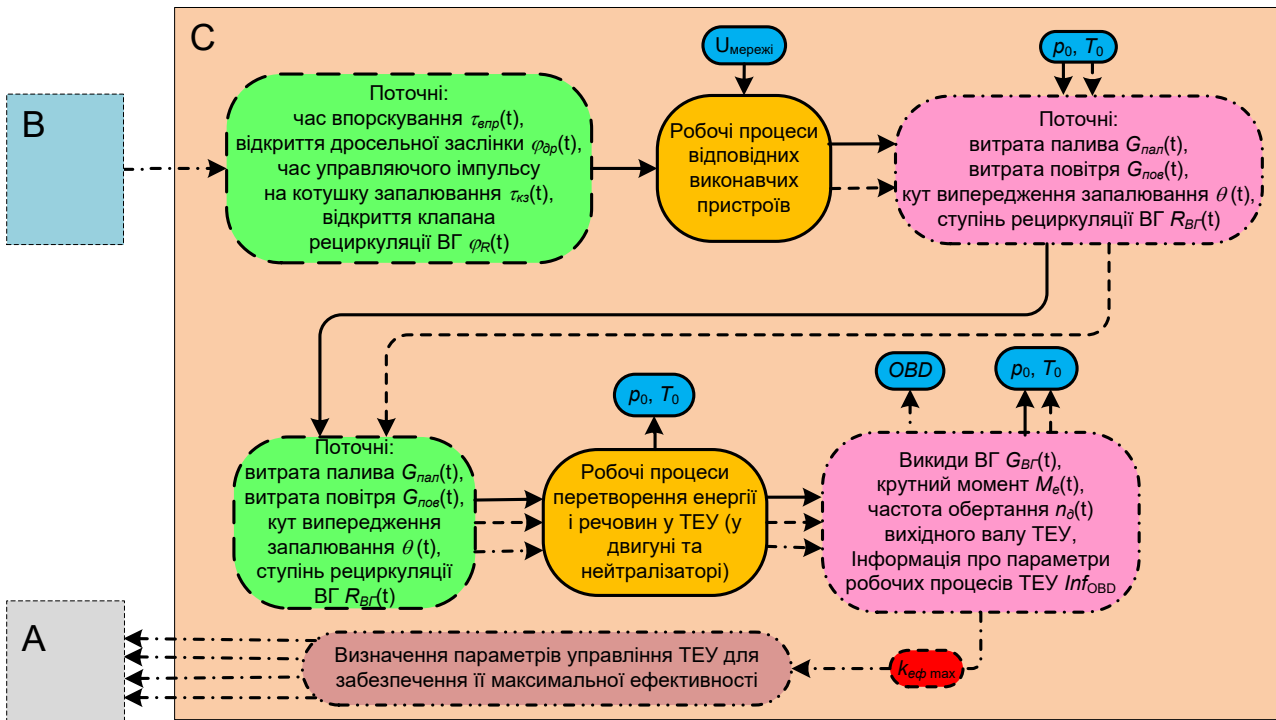


Рис. 5. Деталізована структура фізичної підсистеми системи «ТЕУ-ІСУ»

Процеси фізичної підсистеми С (рис. 5) системи «ТЕУ-ІСУ» полягають у здійсненні робочих процесів відповідних виконавчих пристроїв управління ТЕУ та процесів перетворення енергії та речовин в елементах ТЕУ (у двигуні та системі очистки ВГ) внаслідок реалізації визначених математичною підсистемою керівних сигналів у відповідних виконавчих пристроях управління ТЕУ та процесах енергомасоперетворення в елементах ТЕУ, які забезпечують досягнення на вихідному валу необхідного крутного моменту за відповідної частоти обертання та максимального рівня енергоефективності. Завдяки надходженню до виконавчих пристроїв сигналів, сформованих математичною підсистемою, про  $\tau_{впр}(t)$ ,  $\varphi_{др}(t)$ ,  $\tau_{кз}(t)$ ,  $\varphi_{Р}(t)$  тощо, залежно від поточної напруги  $U_{мережі}$  у мережі електрообладнання ТЗ здійснюються робочі процеси, які, відповідно до параметрів стану навколишнього середовища, забезпечують фактичну подачу в ТЕУ необхідної кількості палива, повітря, іскрового розряду в момент запалювання, кількості рециркульованих ВГ тощо. Подані у ТЕУ енергомасові ресурси використовуються у робочих процесах ТЕУ, результатом яких є утворена кількість відпрацьованих газів  $G_{вг}(t)$ , що очищується від шкідливих компонентів у системі очистки ВГ та викидається в навколишнє середовище ( $\rho_0, T_0$ ), розвинутий на вихідному валу

ТЕУ крутний момент  $M_e(t)$  за частоти обертання  $n_d(t)$ , інформація про основні параметри робочих процесів ТЕУ  $Inf_{OBD}$ , яка зчитується системою OBD та використовується для оцінювання відповідності отриманих показників ТЕУ необхідним показникам. На основі  $Inf_{OBD}$  здійснюється загальний зворотний зв'язок системи через коригування окремих параметрів управління відповідно до обмеження  $k_{еф} \Rightarrow \max$ , тобто за умови максимізації загальної ефективності (енергоефективності та ефективності управління).

Загальний критерій ефективності ТЕУ визначимо як середній інтегральний груповий критерій за період часу  $t$ :

$$k_{еф} = \frac{\int \eta(t)dt + \int \eta^{xx}(t)dt}{\int dt}, \quad (1)$$

де  $\eta$  – груповий критерій ефективності ТЕУ в окремому експлуатаційному режимі в поточний момент часу;

$\eta^{xx}$  – груповий критерій ефективності ТЕУ в режимі холостого ходу в поточний момент часу.

Групові критерії визначаються перемноженням окремих критеріїв енергоефективності ТЕУ:

$$\eta = \eta_e \cdot \eta_{H_2O} \cdot \eta_{n_d} \cdot \eta_\alpha \cdot \eta_{CO} \cdot \eta_{CO_2} \cdot \eta_{NO_2} \cdot \eta_{C_mH_n} \quad (2)$$

$$\eta^{xx} = \eta_e^{xx} \cdot \eta_{H_2O} \cdot \eta_{n_d} \cdot \eta_\alpha \cdot \eta_{CO} \cdot \eta_{CO_2} \cdot \eta_{NO_2} \cdot \eta_{C_mH_n} \quad (3)$$

де  $\eta_e, \eta_e^{xx}$  – окремі критерії ефективності безпосереднього перетворення енергії палива в корисну роботу в окремому експлуатаційному режимі чи режимі ялового (холостого) ходу ( $\epsilon$ , по суті, коефіцієнтами корисної дії ТЕУ або в режимі ялового (холостого) ходу коефіцієнтами перетворення енергії палива в умовну роботу 1 МДж за 1 годину);

$\eta_{H_2O}, \eta_{CO}, \eta_{CO_2}, \eta_{NO_2}, \eta_{C_mH_n}$  – окремі критерії енергоефективності ТЕУ за еквівалентними викидами  $H_2O, CO, CO_2, NO_2, C_mH_n$  (визначаються як відношення еквівалентних викидів відповідних речовин до загальних відносних еквівалентних викидів відпрацьованих газів (ВГ); еквівалентні викиди  $H_2O$  визначають енергоефективність за походженням енергії; еквівалентні викиди інших компонентів визначають відносну безпечність викидів; еквівалентними викидами є сума добутоків масових викидів компонентів ВГ на теплові ефекти реакцій утворення або згоряння відповідних компонентів з урахуванням неповноти згоряння палива);

$\eta_\alpha, \eta_{n_d}$  – окремі критерії ефективності управління коефіцієнтом надміру повітря  $\alpha$  (ефективністю нейтралізації) та частотою обертання вихідного валу  $n_d$  ТЕУ (визначаються як ступінь досягнення необхідного швидкісного режиму ТЕУ у відповідному

передаточному відношенні трансмісії або складу паливоповітряної суміші).

Приклад оцінювання енергоефективності ТЕУ БОГДАН-21114 з двигуном 4Ч 8,2/7,56 в експлуатаційних режимах, які відповідають міським умовам, за вищенаведеними інтегральними критеріями представлено на рис. 6. Окремі інтегральні критерії енергоефективності отримані за аналогічною до (1) методикою підстановки замість групових окремих критеріїв.

Як видно з представлених залежностей, від моменту початку руху транспортного засобу окремі критерії змінюються відповідно до поточних робочих процесів ТЕУ, які, зі свого боку, суттєво залежать від експлуатаційних режимів. Загалом отримані закономірності є типовими для міських умов експлуатації, для яких час від моменту початку руху транспортного засобу можна умовно розділити на три періоди.

Перший період – це період прогріву та рух із невисокими швидкостями та навантаженнями. В цьому періоді критерії енергоефективності переважно мають нижчі значення. Ефективність перетворення вхідної енергії в корисну роботу ТЕУ знижена внаслідок низької ефективності робочого процесу в умовах низькотемпературного стану елементів енергоустановки та впливу експлуатаційних режимів із низькими навантаженнями та швидкостями. Ефективність нейтралізації та відповідно критерії викидів шкідливих речовин мають нижчі значення внаслідок низької температури елементів системи нейтралізації.

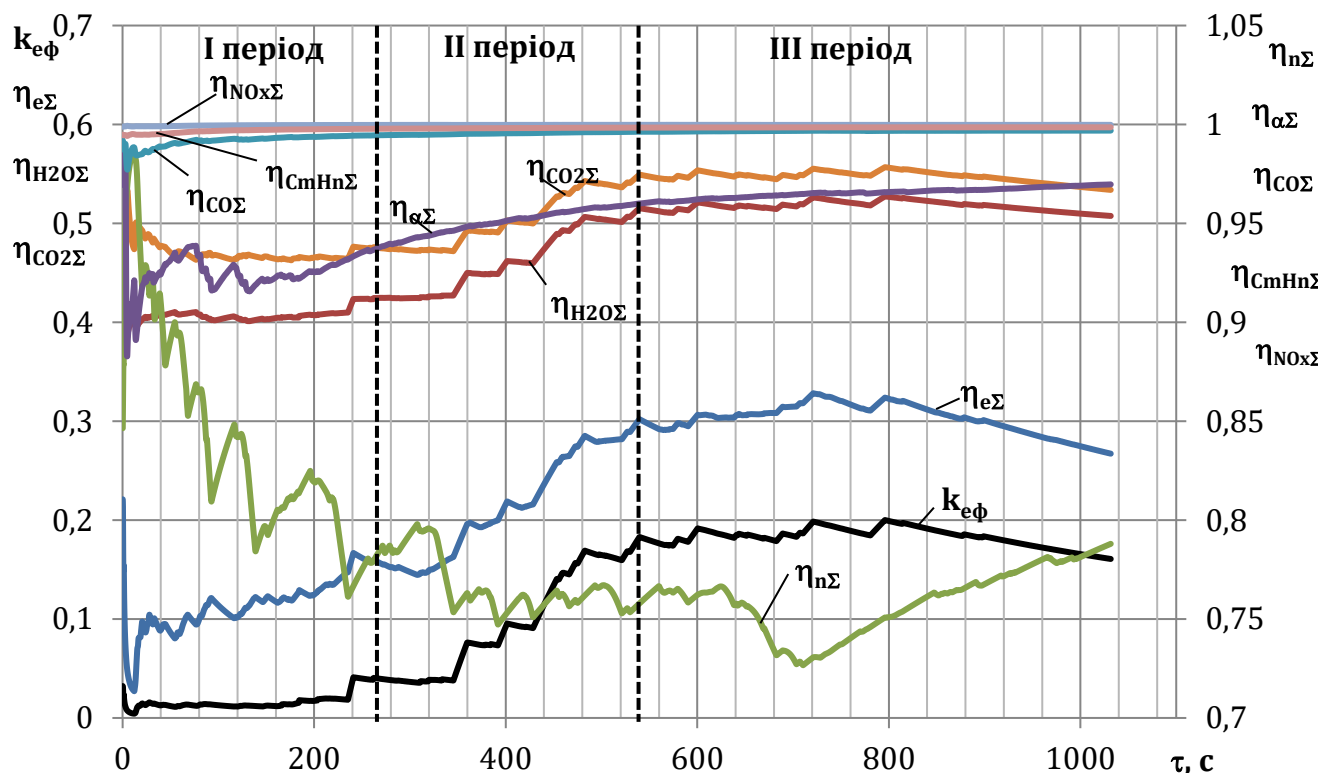


Рис. 6. Залежності інтегральних критеріїв енергоефективності ТЕУ від часу з моменту початку руху транспортного засобу

Другий період – це період, коли відбувається перехід до більш енергоефективних експлуатаційних режимів ТЕУ та досягнення робочого температурного стану. Третій період – період руху в найбільш енергоефективних режимах із температурним станом ТЕУ, близьким до оптимального. В цих періодах критерії енергоефективності зростають до вищих значень.

Отримані результати дозволяють встановити також і значимість окремих складових енергоефективності в досягненні загального критерію, що суттєво відрізняє представлену методику від відомих методик оцінювання екологічної безпеки [3] або ефективності експлуатації автомобільних транспортних засобів [9], в яких застосовувались коефіцієнти відносної значимості окремих критеріїв, отримані не безпосередньо, а методом експертних оцінок.

### Висновки

На основі системного підходу сформовано структуру системи управління та критерії оцінювання енергоефективності ТЕУ в експлуатаційних режимах.

Оцінено закономірності зміни окремих та загально інтегральних критеріїв ТЕУ БОГДАН-21114 з двигуном 4Ч 8,2/7,56 в

експлуатаційних режимах, які відповідають міським умовам.

За результатами оцінювання встановлено, що найбільшою мірою загальний критерій енергоефективності визначається ефективністю безпосереднього перетворення енергії палива в корисну роботу, що можна розглядати як базову енергоефективність, а інші окремі критерії змінюють базову енергоефективність відповідно до походження енергії, викидів забруднювальних речовин, ефективності роботи системи нейтралізації та ступеня досягнення оптимального швидкісного режиму ТЕУ, що водночас дає можливість дослідити ефективність застосування різних способів впливу на робочий процес ТЕУ, зокрема застосуванням альтернативних палив та добавок до традиційних палив в експлуатаційних режимах за визначеним критерієм енерго-ефективності.

### References

1. Hutarevych, Yu. F. (1986). *Znyzhennia shkidlyvykh vykydiv i vytraty palyva dvyhunamy avtomobiliv shliakhom optymizatsii ekspluatatsiinykh faktoriv* (Unpublished doctoral dissertation). Kyiv Automobile and Highway Institute, Kyiv, Ukraine.

2. Holovchuk, A. F. (1992). *Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta znyzhennia dymnosti traktornykh dyzeliv shliakhom udoskonalennia systemy avtomatychnoho rehuliuвання* (Unpublished doctoral dissertation). Dnipropetrovsk Agrarian University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

3. Mateichyk, V. (2006). *Metody otsiniuvannia ta sposoby pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky dorozhnikh transportnykh zasobiv: monohrafiia*. Kyiv, Ukraine: National Transport University.

4. Lisoval, A.A. (2010). *Teoretychni osnovy upravlinnia podacheiu palyva i povitria v dyzeliakh z hazoturbinnym nadduvom* (Unpublished doctoral dissertation). National Transport University, Kyiv, Ukraine.

5. Kanylo, P. (2013). *Avtotransport. Palyvno-ekolohichni problemy i perspektyvy: monohrafiia*. Kharkiv, Ukraine: Kharkiv National Automobile and Highway University.

6. Hrytsuk, I. V. (2016). *Kontseptsiiia zabezpechennia optimalnogo temperaturnoho stanu dvyhuniv i transportnykh zasobiv v umovakh ekspluatatsii* (Doctoral dissertation, Kharkiv National Automobile and Highway University,

Kharkiv, Ukraine). Retrieved from <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/1859>

7. Voronkov, O. I. (2017). *Metodolohiia orhanizatsii robochoho protsesu pnevmodyhuna kombinovanoi enerhetychnoi ustanovky miskoho avtomobilia* (Doctoral dissertation, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine). Retrieved from <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/2262>

8. Klymenko, O. A. (2021). *Systemne upravlinnia pidvyshchenniam efektyvnosti vykorystannia enerhii ta zmeshenniam zabrudnennia atmosferного povitria dorozhnimy transportnymy zasobamy* (Doctoral dissertation, National Transport University, Kyiv, Ukraine). Retrieved from

[http://diser.ntu.edu.ua/Klymenko\\_dis.pdf](http://diser.ntu.edu.ua/Klymenko_dis.pdf)

9. Symonenko, R. V. (2021). *Pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii kolisnykh transportnykh zasobiv na osnovi intelektualnykh telematychnykh tekhnolohii* (Doctoral dissertation, National Transport University, Kyiv, Ukraine). Retrieved from [http://diser.ntu.edu.ua/Symonenko\\_dis.pdf](http://diser.ntu.edu.ua/Symonenko_dis.pdf)