

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ



У ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
МОЛОДИХ УЧЕНИХ І СТУДЕНТІВ  
**"ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА ТА  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ НА ТРАНСПОРТІ"**



29 листопада 2018 року

**15.00, 5.103**

Київ-2018

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

**Захарченко В.П.**, к.т.н., доцент, завідувач кафедри автоматизації та енергоменеджменту;

**Соколова Н.П.**, к.т.н., доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту

### **ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ:**

- автоматизовані системи управління технологічними процесами;
- енергоефективні технології на транспорті;
- енергетична безпека на транспорті.

*Затверджено на засіданні УкрІНТЕІ 8 листопада 2013 р., посвідчення №759*

**Голова оргкомітету конференції, к.т.н.,доц.**

**В.П. Захарченко**

**Відповідальний секретар конференції, к.т.н.**

**Н.П. Соколова**

## ЗМІСТ

<b>Босак А. В., Матушкін Д.С.</b> Електропривод колеса шасі в системі "електричного рулювання" літака .....	4
<b>Жук П.Ф., Червонюк Ю.В.</b> Підвищення енергоефективності польоту літака шляхом оптимізації конструктивних особливостей на основі розрахунків турбулентних потоків за схемою Лакса-Вендрофа .....	6
<b>Пушкар М.В., Головка В.М.</b> Використання програмного забезпечення Siemens Sinutrain для моделювання роботи електроприводу металообробних верстатів з ЧПК .....	7
<b>Чуріна О.Й., Єременко Я.М.</b> Прийняття рішень в інтелектуальних системах управління енергетики .....	10
<b>Жук П.Ф., Дементьєва А.О.</b> Підвищення енергоефективності польоту літака шляхом оптимізації конструктивних особливостей на основі розрахунків високотемпературних процесів у агрегатах двигунів літальних апаратів .....	11
<b>Товкач С.С., Федоренко В.В.</b> Підвищення ефективності системи керування фотопанелями сонячної електростанції .....	12
<b>Єнчев С.В., Гармаш Т.О.</b> Модель керування відеокамерою БПЛА в режимі слідкування .....	13
<b>Єнчев С.В., Іваницька В.І.</b> Алгоритм поліпшення якості знімків камери БПЛА на основі методу Річардсона .....	15
<b>Кондратенко О.М., Воробйова Д.В., Марчук Р.А.</b> Визначення вагомості витрат палива при оцінюванні рівня паливно-екологічної ефективності експлуатації автомобіля для різних видів моторного палива .....	18
<b>Вамболь С.О., Марчук Р.А., Воробйова Д.В.</b> Оцінювання паливно-екологічного ефекту застосування альтернативного палива для двигуна гібридного автомобіля за European Steade cycle .....	23

**ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОМОСТІ ВИТРАТ ПАЛИВА ПРИ ОЦІНЮВАННІ РІВНЯ ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЯ ДЛЯ РІЗНИХ ВИДІВ МОТОРНОГО ПАЛИВА**

**Актуальність.** Аналіз спеціалізованої літератури, здійсненому в джерелі [1], єдиного підходу до механізму врахування значення масових годинних витрат палива  $G_f$  двигуном внутрішнього згоряння у кг/год при критеріальному оцінюванні показників рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок, зокрема автотранспортних засобів, не виявив. У тому ж джерелі здійснено аналіз впливу значення цього техніко-економічного показника роботи двигуна на усі інші фактори екологічної безпеки вказаного процесу.

Крім того, цитоване джерело містить результати аналізу й класифікацію відомих критеріальних математичних апаратів, придатних для здійснення такого оцінювання, які свідчать, що лише один з них враховує величину  $G_f$  – комплексний паливно-екологічний критерій  $K_{fe}$ , описаний у джерелі [2] і за задумкою його автора – проф. І.В. Парсаданова – має характеризувати паливно-екологічну ефективність процесу експлуатації вказаних енергетичних установок та їх конкурентноздатність.

Ще один апарат потенційно може враховувати будь-які фактори і має у зв'язку з цим деякі переваги над вказаним критерієм  $K_{fe}$ , що має жорстко встановлену структуру, – це узагальнена функція бажаності Харрінгтона  $D$  [3].

Більш детальний аналіз апарату критерію  $K_{fe}$  виявив неповноцінність величина  $G_f$  у його структурі як фактора екологічної безпеки, на відміну від показників токсичності відпрацьованих газів – масових годинних викидів законодавчо нормованих поллютантів  $G_k$  у кг/год, а саме твердих частинок  $G_{PM}$ , оксидів азоту  $G_{NOx}$ , незгорілих вуглеводнів  $G_{CnHm}$ , монооксиду вуглецю  $G_{CO}$ , що разом складають повний набір [1, 2, 4, 5]. При цьому вагомість таких факторів екологічної безпеки визначається значенням безрозмірного показника відносної агресивності  $k$ -го поллютанта  $A_k$ , при чому  $A_{PM} = 200$ ,  $A_{NOx} = 41,1$ ,  $A_{CnHm} = 3,2$ ,  $A_{CO} = 1,0$  [2], а сума показників повного набору таких поллютантів дорівнює  $\Sigma A_k = A_{PM} + A_{NOx} + A_{CnHm} + A_{CO} = 200 + 41,1 + 3,2 + 1,0 = 245,3$ .

Суттєвий науково-практичний інтерес являє собою суміщення переваг обох згаданих критеріальних апаратів, а саме застосування критерію, побудованого на математичному апараті узагальненої функції бажаності  $D$  зі структурою враховуваних факторів екологічної безпеки критерію  $K_{fe}$ . Узагальнена функція бажаності з структурою набору впливаючих факторів, ідентичною критерію  $K_{fe}$ , визначається за формулою (1) [1 – 3].

$$D = \frac{\sum_{k=1}^n v_k}{\prod_{k=1}^n d_k^{v_k}} = \frac{(v_{NOx} + v_{PM} + v_{CnHm} + v_{CO} + v_{ge})}{\sqrt{d(g_{prNOx})^{v_{NOx}} \cdot d(g_{prPM})^{v_{PM}} \cdot d(g_{prCnHm})^{v_{CnHm}} \cdot d(g_{prCO})^{v_{CO}} \cdot d(g_e)^{v_{ge}}}}, \quad (1)$$

де  $d_k$  – часткова функція бажаності, що відповідає  $k$ -му критерію якості;  $n$  – кількість критеріїв якості, що розглядаються;  $v_k$  – коефіцієнт вагомості  $k$ -го критерію якості, що розглядаються,  $0 < v_k \leq 1$

При цьому апарат функції бажаності  $D$  потребує налаштування до особливостей оцінюваного об'єкту. Зокрема, для реалізації вищевказаного напрямку досліджень потрібною є наявність інформації щодо значення коефіцієнта вагомості  $v_k$  для такого критерія якості, як витрата палива ПДВЗ. Проте, при аналізі науково-технічної літератури, здійсненому у монографії [1], результатів чисельного оцінювання такого коефіцієнту вагомості не виявлено, як для випадку критерію  $K_{fe}$ , так і у загальному випадку.

**Мета доповіді.** Визначення вагомості витрат палива двигуном автомобіля як показника екологічної безпеки та енергоефективності процесу його експлуатації у порівнянні з показниками токсичності його відпрацьованих газів.

**Основні результати за темою доповіді.** Для здійснення дослідження формули для визначення по режимного значення критерію  $K_{fe}$  з [2] (1) – (4) перетворено до виду формули (5). При цьому задля додержання принципу незмінності значень ефективної потужності ПДВЗ  $N_e$  у кВт (див. формулу (6)), значення величин  $G_{fuel}$  та  $G_k$  визначаються за формулами (7) та (8).

$$K_{fei} = \eta_{ei} \cdot (1 - \beta) = 3600 / (H_u \cdot g_{ei}) \cdot (1 - Z_{ei} / (Z_{fi} + Z_{ei})), \quad \% \quad (1)$$

$$g_{ei} = G_{fi} / N_{ei}, \quad \text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{год}); \quad (2)$$

$$Z_{fi} = g_{ei} \cdot P_f, \quad \$/\text{кг}/\text{кВт}; \quad (3)$$

$$Z_{ei} = g_{ei} \cdot U_{ei}, \quad \$/\text{кг}/\text{кВт}; \quad (4)$$

де індексом  $i$  позначено величини для окремого представницького режиму роботи ДВЗ чи полігоні у моделі його експлуатації;  $\eta_e$  – ефективний ККД дизеля;  $\beta$  – коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних грошових витрат;  $Z_e, Z_f$  – грошові витрати на відшкодування екологічної шкоди, на споживання палива та сумарні паливно-екологічні, \$/(кВт·год);  $g_e$  – масові питомі ефективні витрати палива дизелем, кг/(кВт·год);  $H_u$  – нижча теплота згоряння палива;  $N_e$  – ефективна потужність дизеля, кВт;  $G_f$  – масова годинна витрата палива, кг/год;  $U_e$  – вартісне відшкодування екологічної шкоди, \$/кг.

$$K_{fe} = \frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв}}{9550 \cdot H_u \cdot G_f} \cdot \frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв} \cdot \sigma \cdot \delta \cdot \sum_{k=1}^h (A_k \cdot G_k)}{9550 \cdot H_u \cdot G_f^2 + 9550 \cdot H_u \cdot G_f \cdot \sigma \cdot \delta \cdot \sum_{k=1}^h (A_k \cdot G_k)} = \left| \Sigma = \sum_{k=1}^h (A_k \cdot G_k) \right| = \frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв}}{9550 \cdot H_u \cdot G_f} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma}{\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma + G_f} \right) = \left| \begin{array}{l} D = \sigma \cdot \delta \cdot \Sigma + G_f \\ C = (G_f + 2 \cdot \sigma \cdot \delta \cdot \Sigma)^2 - 2 \cdot (\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma)^2 \end{array} \right| = \frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв}}{9550 \cdot H_u \cdot D} \quad (5)$$

$$N_e = M_{кр} \cdot n_{кв} / 9550 = G_f / g_e = G_f \cdot H_u \cdot \eta_e / 3600; \quad (6)$$

$$N_{eTf} = N_{eAf} \Rightarrow G_{Af} = G_{Tf} \cdot H_{uTf} / H_{uAf}; \quad (7)$$

$$\left( G_k / G_f \right)_{Tf} = \left( G_k / G_f \right)_{Af} \Rightarrow G_{kAf} = G_{kTf} \cdot G_{Af} / G_{Tf} = G_{kTf} \cdot H_{uTf} / H_{uAf}. \quad (8)$$

де  $\sigma$  – безрозмірний показник відносної небезпеки забруднення на різних територіях;  $f$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує характер розсіювання ВГ в атмосфері;  $WF_i$  – ваговий фактор; індексами  $A_f$  і  $T_f$  позначено величини для альтернативного і традиційного палива.

Аналіз особливостей конструкції автотракторного дизеля Д21А1 (2Ч10,5/12 за ГОСТ 10150–2014) наведено у монографії [1] за даними джерела [6]. Техніко-економічні й екологічні показники роботи цього двигуна, отримані експериментально у ході здійснення стендових моторних випробувань за участю авторів роботи, описано у публікаціях [7, 8].

Авторами дослідження раніше вже пропонувався підхід до визначення вагомості складової критерію  $K_{fe}$  з використанням коефіцієнта  $A_{fuel}$ , що має фізичний зміст, близький до фізичного змісту безрозмірного показника  $A_k$ .

Такий коефіцієнт вагомості урівнює вирази для частинних похідних критерію  $K_{fe}$  за величиною масової годинної витрати палива двигуном  $\partial K_{fe} / \partial G_f$  (формула (9)) та за величиною масового годинного викиду законодавчо нормованого поллютанту з потоком його відпрацьованих газів  $\partial K_{fe} / \partial G_k$  (формула (10)). Значення показника  $A_k$  у формулі (10), за якого буде виконуватись рівність  $\partial K_{fe} / \partial G_f = \partial K_{fe} / \partial G_k$  і пропонувалося вважати шуканим коефіцієнтом вагомості  $A_{fuel}$ , який визначається формулою (11).

Однак, у даному дослідженні пропонується інший підхід до визначення шуканої вагомості паливної складової, а саме у якості її кількісної характеристики використовувати величину інтегрального коефіцієнта вагомості  $A_f$ , що є сумою значень звичайного коефіцієнту  $A_{fuel}$  та суми значень безрозмірних показників відносної агресивності повного набору законодавчо нормованих поллютантів у ВГ  $\Sigma A_k$ , тобто за формулою (12).

$$\partial K_{fe} / \partial G_f = -K_{fe} / D \cdot C / G_f^2; \quad (9)$$

$$\partial K_{fe} / \partial G_k = -K_{fe} / D \cdot \sigma \cdot \delta \cdot A_k; \quad (10)$$

$$A_{fuel} = C / (G_f^2 \cdot \sigma \cdot \delta). \quad (11)$$

$$A_f = A_{fuel} + \Sigma A_k. \quad (12)$$

Це зумовлено тим, що фактично джерелом викидів законодавчо нормованих поллютантів у потоці відпрацьованих газів двигуна є недосконалість організації згоряння моторного палива, а при нульовому споживанні палива викиди поллютантів двигуном відсутні. Тобто паливна складова критерію  $K_{fe}$  повністю зумовлює його екологічну складову, та відповідно інтегральний коефіцієнт вагомості паливної складової  $A_f$  має тим чи іншим способом включати величину  $\Sigma A_k$ , а величина  $A_{fuel}$ , і комплекс величин  $A_{PM}, A_{NOx}, A_{CnHm}$  і  $A_{CO}$  не є незалежними одне від одного.

Результати розрахункового оцінювання значення пропонованих коефіцієнтів вагомості  $A_{fuel}$  і  $A_f$  для всього поля робочих режимів авто тракторного дизеля Д21А1 (за ГОСТ 10150–2014 2Ч10,5/12) наведено на рис. 1 у виді сіме-

ства гістограм. На тому ж рисунку наведено таку ж інформацію щодо величини відношення величини досліджуваних коефіцієнтів вагомості до величини суми показників вагомості  $\Sigma A_k$ , тобто  $A_f / \Sigma A_k$ . Значення на рис. 1 отримані для базових значень величин  $H_u = 42,7$  МДж/кг,  $\sigma = 1,0$  і  $f = 1,0$ .

Результати досліджень на рис. 1 отримано як для випадку використання 100 % традиційного, так і для випадку 100 % альтернативного моторного палива, а саме метилового ефіру рапсової олії. Врахування впливу виду споживаного палива на техніко-економічні й екологічні показники роботи двигуна здійснено на основі матеріалів дослідження [9].

На рис. 1 видно, що значення коефіцієнта  $A_{fuel}$  та величини  $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel})$  розподіляються по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 нерівномірно, а їх залежність від значень координат цього поля є нелінійною. Коефіцієнт  $A_{fuel}$  набуває значень у діапазоні від 6,1 ( $n_{кв} = 1200$  грт,  $M_{кр} = 0,55$  Н·м – режим А) до 60,0 ( $n_{кв} = 800$  грт і  $M_{кр} = 88$  Н·м – режим Б), тобто зростає у 9,8 разів зі зростанням величини  $N_e$  у 450 разів, величини  $M_{кр}$  у 200 разів, величини  $n_{кв}$  у 2,3 рази, величини  $G_{fuel}$  у 9,8 разів, величини  $\Sigma(A_k \cdot G_k)$  у 21,7 рази. Значення величини  $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel})$  приймає значення від 0,024 (режим А) до 0,197 (режим Б), тобто зростає у 8,2 разів.

Усереднене по всьому такому полю значення вказаних величин складають:  $A_{fuel} = 38,4$ ;  $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel}) = 0,132$ .

На рис. 1 також видно, що значення коефіцієнта  $A_f$  та величини  $A_f/\Sigma A_k$  розподіляються по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 нерівномірно, а їх залежність від значень координат цього поля є нелінійною. Коефіцієнт  $A_f$  набуває значень у діапазоні від 251,4 (режим А) до 305,3 (режим Б), тобто зростає у 1,2 рази зі зростанням величин  $N_e$  у 450 разів, величини  $M_{кр}$  у 200 разів, величини  $n_{кв}$  у 2,3 рази, величини  $G_{fuel}$  у 9,8 разів, величини сумарного приведенного викиду законодавчо нормованих поллютантів  $\Sigma(A_k \cdot G_k)$  у 21,7 рази. Значення величини  $A_f/\Sigma A_k$  приймає значення від 1,025 (режим А) до 1,245 (режим Б), тобто зростає у 1,2 рази.

Для подальших досліджень можливим є використання значень запропонованих величин, усереднене по всьому полю робочих режимів двигуна, які складають:  $A_f = 283,7$ ;  $A_f/\Sigma A_k = 1,157$ . Їх слід поставити у відповідність величині  $v_k$  для фактора питомих ефективних масових годинних витрат палива двигуном  $g_e$  з формули (1).

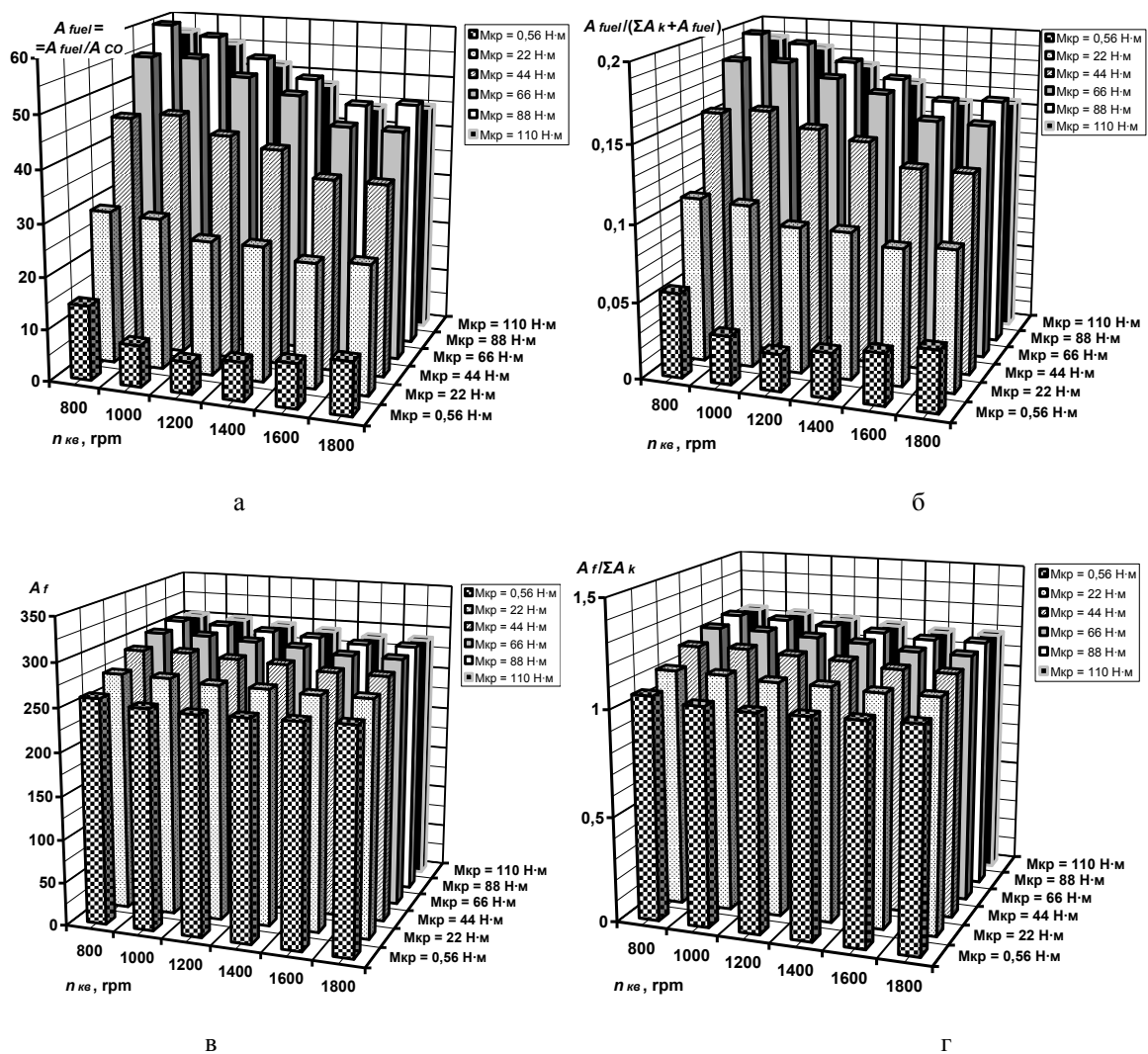


Рис. 1 – Гістограми значень коефіцієнта вагомості  $A_{fuel}$  (а) і величини  $A_{fuel} / (A_{fuel} + \Sigma A_k)$  (б) а також інтегрального коефіцієнта вагомості  $A_f$  (в) та величини  $A_f / \Sigma A_k$  (г) для всього поля робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12

Також у роботі досліджено вплив виду моторного палива, споживаного двигуном, на значення величин  $A_{fuel}$  і величини  $A_{fuel} / (A_{fuel} + \Sigma A_k)$  а також  $A_f$  та  $A_f / \Sigma A_k$ . Зокрема проаналізовано вплив значення нижчої теплотворної здатності моторного палива  $H_u$ , МДж/кг на вказані величини у всьому можливому діапазоні зміни. Такий діапазон встановлено за даними з джерела [10] та зведені для різних видів моторного палива у табл. 1.

Результати такого дослідження проілюстровано на рис. 2 і 3.

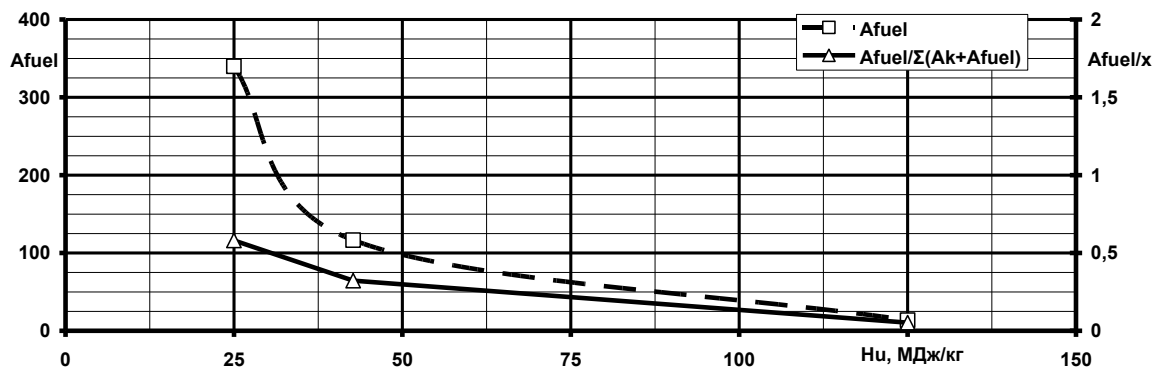


Рис. 2 – Графіки залежності усереднених значень величин  $A_{fuel}$ ,  $A_{fuel}/\Sigma A_k$  та  $A_{fuel}/\Sigma(A_k + A_{fuel})$  від значень коефіцієнтів  $\sigma$  та  $f$  для різних значень величини  $H_u$

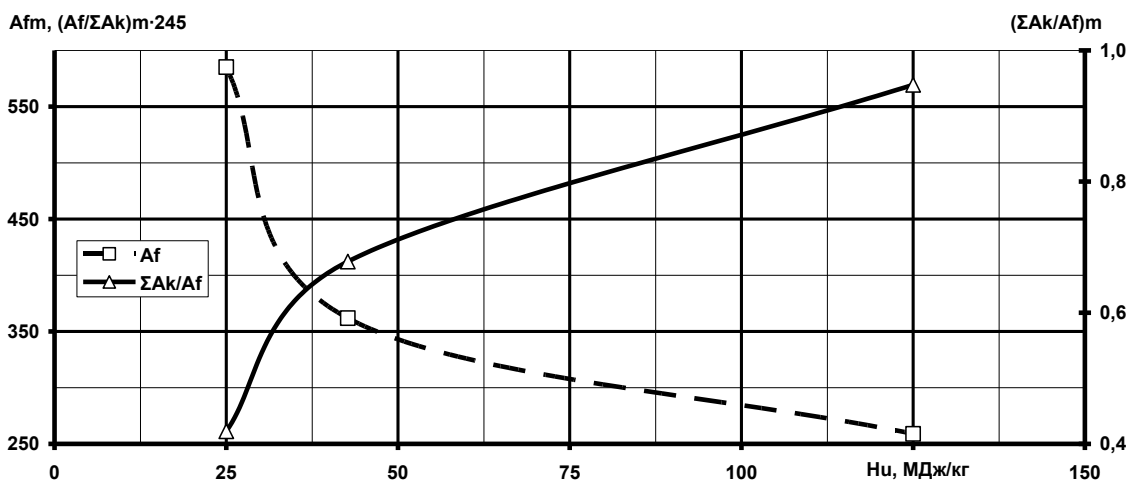


Рис. 3 – Графіки залежності усереднених значень величин  $A_f$ ,  $A_f/\Sigma A_k/245,3$  та  $\Sigma A_k/A_f$  від значень коефіцієнтів  $\sigma$  та  $f$  для різних значень величини  $H_u$

Табл. 1 – Значення нижчої теплотворної здатності різних видів моторного палива [10]

<b>Паливо</b>	<b>Бензин</b>	<b>Керосин</b>	<b>Дизпаливо</b>	<b>Нафта</b>	<b>Етиловий спирт</b>
$H_u$ , МДж/кг	45	44	42,7	46	27
<b>Паливо</b>	<b>Природний газ</b>	<b>Метан</b>	<b>Водень</b>	<b>Рапсова олія</b>	<b>Мазут</b>
$H_u$ , МДж/кг	47	50	120	37	41

**Апробація і впровадження результатів за темою доповіді.** Таким чином, у дослідженні отримано кількісні (значення) та якісні (характер розподілу) характеристики вагомості витрат палива дизельним двигуном як фактора екологічної безпеки та показника енергоефективності процесу його експлуатації.

Отримані дані придатні для використання при здійсненні критеріального оцінювання рівня екологічної безпеки та показника енергоефективності процесу безаварійної експлуатації енергостановок з поршневим двигуном внутрішнього згоряння, наприклад функції бажаності Харрінгтона, чи будь-яких інших альтернативних математич-

них апаратів, ідентичних за структурою враховуваних факторів екологічної безпеки комплексному паливно-екологічному критерію проф. І.В. Парсаданова або включаючими цей критерій повністю як окремий фактор.

#### Список використаних джерел:

1. Вамболь С.О., Вамболь В.В., Кондратенко О.М., Міщенко І.В. Критеріальне оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок : монографія. Харків, 2018. 320 с.
2. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію : монографія. Харків, 2003. 244 с.
3. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств. Исследования наукограда. 2012. № 1. С. 25–28.
4. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine: regulation United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles of 26 January 2013 year Regulation No. 49, Revision 6 [Electronic recourse]. – Geneva: UNECE, 2013. – 434 p. – Available at: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R049r6e.pdf>.
5. Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change. Official text in English (1998) [Electronic resource], 20 p. – Available at: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.
6. Эфрос В.В. [и др.]. Дизели с воздушным охлаждением Владимирского тракторного завода. Москва : Машиностроение, 1976. 277 с.
7. Кондратенко О.М., Строков О.П., Вамболь С.О., Авраменко А.М.. Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля. Науковий вісник НГУ. 2015. № 6 (150). С. 55 – 61. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2227>.
8. Vambol S., Vambol V., Kondratenko O., Suchikova Y., Hurenko O. Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arrangement of pollutants neutralization system. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. № 3/10 (87). p. 63–73.
9. Левтеров А.М., Савицький В.Д. Покращення екологічних характеристик дизеля, що працює на біодизельних паливних композиціях. Автомобільний транспорт. 2015. Вип. 36. С. 110–117.
10. Теплота сгорания. Физическая энциклопедия: в. 5 т. Том 5 «Стробоскопические приборы – Яркость» / Гл. ред. А.М. Прохоров. Москва, Большая российская энциклопедия, 1999. С. 81. 691 с.

*Науковий керівник:* к.т.н. Кондратенко О.М.





Наша адреса: 03058, Київ-058

Проспект Космонавта Комарова, 1, кім. 5.102

тел.: (044) 406-75-25

факс: (044) 406-74-10

**E-mail:** [aem.aki@ukr.net](mailto:aem.aki@ukr.net)

