

Шифр: Паливна вагомість

**«ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОМОСТІ ВИТРАТ ПАЛИВА
ДВИГУНОМ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ
ЯК ФАКТОРА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ»**

Галузь науки: Енергетичне машинобудування

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ВАГОМОСТІ ПАЛИВНОЇ СКЛАДОВОЇ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО- ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ	7
1.1 Модифікований математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова	7
1.2 Підхід до оцінювання вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію	7
1.3 Врахування параметрів моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ	8
1.4 Вихідні дані для розрахункового дослідження. Техніко-економічні та екологічні показники роботи дизеля 2Ч10,5/12	9
1.5 Розподіл порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію для всієї області робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12	9
2 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ВАГОМОСТІ ПАЛИВНОЇ СКЛАДОВОЇ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО- ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ ДЛЯ БАЗОВОГО ВАРІАНТУ	11
3 ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ НА ЗНАЧЕННЯ ВАГОМОСТІ ПАЛИВНОЇ СКЛАДОВОЇ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ ПАРАМЕТРІВ МОТОРНОГО ПАЛИВА І УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПДВЗ	15
3.1 Вплив на усереднені значення критерію K_{fe}	15
3.2 Вплив на усереднені значення критерію вагомості A_{fuel}	17
3.3 Вплив на усереднені значення критерію вагомості A_f	24
ВИСНОВКИ.....	24
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	27
ДОДАТОК А Додаткові матеріали дослідження	39
ДОДАТОК Б SWOT-аналіз результатів дослідження	35

ВСТУП

Актуальність дослідження. За результатами аналізу відомих критеріальних математичних апаратів, описаним у монографії [1], виділено два найбільш пріоритетних для оцінювання ефективності функціонування системи управління екологічною безпекою (СУЕБ) та рівня екологічної безпеки (ЕБ) процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок (ЕУ) з поршнеvim двигуном внутрішнього згоряння (ПДВЗ), описаної у монографії [2], – комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова K_{fe} (описано у монографії [3]) та узагальнена функція бажаності Харрінгтона D (описана у роботі [4]). Останній апарат, що побудований на використанні апарату нечіткої логіки та психофізичних шкал, має деякі переваги та особливості, недоступні першому (див. [1]). Гнучкість, як одна з переваг такого апарату, дозволяє використовувати у його структурі складові – часткові функції бажаності d , які враховують набір будь-який різномірних впливаючих факторів ЕБ, у тому числі й ідентичний набір незмінної структури, що використовує апарат критерію K_{fe} . Застосування до одного і того ж об'єкту одразу обох згаданих критеріальних математичних апаратів з ідентичною структурою набору впливаючих факторів є перспективним напрямком досліджень.

Проте, незважаючи на те, що математичний апарат критерію K_{fe} являє собою представника II наближення (тобто покоління) таких апаратів (див. монографію [1]), тобто враховує витрати палива ПДВЗ, повноцінним фактором ЕБ така фізична величина у цьому апараті не є. І у першу чергу, неповноцінність витрат палива ПДВЗ як фактора ЕБ саме у структурі критерію K_{fe} проявляється у тому, що його вагомість на фоні інших факторів є невизначеною. Проте, у монографії [1] показано, що витрати палива ПДВЗ є значущим фактором ЕБ як безпосередньо – споживання невідновного ресурсу, так і, що більш важливо, опосередковано через вплив на усі інші фактори ЕБ, джерелом яких є ПДВЗ у складі ЕУ, класифіковані у тій монографії. Математичний апарат узагальненої функції бажаності може враховувати значення величини витрат палива ПДВЗ як фактор ЕБ, рівноцінний іншим, наприклад викидам нормованих політантів.

Узагальнена функція бажаності з структурою набору впливаючих факторів, ідентичною критерію K_{fe} , визначається за формулою (1) [1, 4, 10], у якій 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, $0 < v_k \leq 1$.

$$D = \sum_{k=1}^n v_k \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n d_k^{v_k}} = \left(\begin{matrix} v_{NOx} + v_{PM} + \\ + v_{CnHm} + v_{CO} + \\ + v_{ge} \end{matrix} \right) \sqrt[\begin{matrix} d(g_{prNOx})^{v_{NOx}} \cdot d(g_{prPM})^{v_{PM}} \times \\ \times d(g_{prCnHm})^{v_{CnHm}} \cdot d(g_{prCO})^{v_{CO}} \times \\ \times d(g_e)^{v_{ge}} \end{matrix}]{ } , \quad (1)$$

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 [1 – 7] результатів чисельного оцінювання такого коефіцієнту вагомості не виявлено, як для випадку критерію K_{fe} , так і у загальному випадку.

Метою дослідження є визначення значимості витрат палива ПДВЗ як фактора екологічної безпеки процесу експлуатації ЕУ з ним. **Об’єктом дослідження** є співвідношення вагомості паливної та екологічної складової комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова. **Предметом дослідження** є вплив на кількісні характеристики об’єкту дослідження параметрів моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ. Для досягнення поставленої мети розв’язано наступні **задачі дослідження**, що направлена на якісне і кількісне описання вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію, а також впливу на його значення параметрів моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ.

1. Аналіз науково-технічної літератури за темою дослідження.
2. Розробка методики розрахункового оцінювання вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію.
3. Отримання вихідних даних для розрахункового дослідження на основі даних стендових моторних досліджень та їх апроксимації для усієї області робочих режимів ПДВЗ.
4. Здійснення та аналіз результатів розрахункового оцінювання вагомості паливної складової такого критерію для базового варіанту.
5. Виявлення впливу на значення вагомості паливної складової такого критерію параметрів моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ.

6. Винесення висновків, здійснення SWOT-аналізу, формування переліку рекомендацій щодо практичного використання результатів дослідження, планування напрямків подальших досліджень.

Методи дослідження. Під час виконання даної наукової роботи використано аналіз науково-технічної літератури з 16 джерел [1 – 16], методику розрахунку середньоексплуатаційних значень техніко-економічних і екологічних показників роботи ПДВЗ [2, 3, 8 – 11], модифіковану методику застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова [1, 3], методику застосування узагальненої функції бажаності Харрінгтона [4], метод найменших квадратів [12].

Аналіз результатів проведеного дослідження дозволяє сформулювати їх **наукову новизну**. Вперше запропоновано метод визначення вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію за допомогою коефіцієнта вагомості, що урівнює вирази для частинних похідних критерію за масовою годинною витратою палива ПДВЗ та за масовим годинним викидом законодавчо нормованого полютанта з потоком ВГ, до якого додано суму значень безрозмірних показників відносної агресивності повного набору законодавчо нормованих полютантів у ВГ, для всього поля робочих режимів ПДВЗ з урахуванням факторів, що характеризують параметри моторного палива і умови експлуатації ПДВЗ.

Результати виконаного дослідження можуть набути наступного **практичного використання**. Методика розрахункового оцінювання вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію, побудована на запропонованому методі, придатна для отримання значень критеріїв якості, що побудовані на використанні апарату нечіткої логіки та психофізичних шкал зі структурою набору впливаючих факторів, ідентичною комплексному паливно-екологічному критерію.

Публікації за результатами дослідження. Результати проведеного дослідження висвітлені у 3 друкованих наукових публікаціях – тезах доповідей.

Апробація результатів дослідження. Результати проведеного дослідження доповідались і обговорювались на 1 міжнародній і 2 всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Результати проведеного дослідження **впроваджено** у практику наукової діяльності відділу водневої енергетики Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України (довідка про використання) та у навчальний процес кафедри прикладної механіки та технологій захист навколишнього середовища Національного університету цивільного захисту України (акт впровадження).

Структура і обсяг роботи. Роботою є рукопис, що містить 36 стор., з яких 25 стор. основного тексту та 2 додатки на 4 стор., та містить вступ, 3 розділи, список використаних джерел на 16 найменування на 2 стор., 16 рис. і не містить таблиць.

Структура даного дослідження наведена на рис. В.1. Результати виконання кроків 1 і 2 структури дослідження описано у вступі.



Рисунок А.1 – Структура дослідження

1 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ВАГОМОСТІ ПАЛИВНОЇ СКЛАДОВОЇ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ

1.1 Модифікований математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова

У монографії [3] проф. І.В. Парсадановим (НТУ «ХП») запропоновано і описано математичний апарат і методика застосування комплексного паливно-екологічного критерію K_{fe} . У монографії [1] наведено аналіз переваг і недоліків цього критерію як показника рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ. У даному дослідженні значення критерію визначається за формулою (2), що являє собою перетворену формулу для отримання порежимного значення критерію K_{fe} (див. [2]), яка отримана з оригінальної формули для отримання середньоексплуатаційного значення критерію K_{fe} з роботи [3].

$$\begin{aligned}
 K_{fe} &= \frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв}}{9550 \cdot H_u \cdot G_f} \cdot \frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв} \cdot \sigma \cdot \delta \cdot \sum_{k=1}^h (A_k \cdot G_k)}{9550 \cdot H_u \cdot G_f^2 + 9550 \cdot H_u \cdot G_f \cdot \sigma \cdot \delta \cdot \sum_{k=1}^h (A_k \cdot G_k)} = \\
 &= \left| \Sigma = \sum_{k=1}^h (A_k \cdot G_k) \right| = \frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв}}{9550 \cdot H_u \cdot G_{fuel}} \cdot \left(1 - \frac{\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma}{\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma + G_{fuel}} \right) = \\
 &= \left| D = \sigma \cdot \delta \cdot \Sigma + G_{fuel} \right| = 3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв} / (9550 \cdot H_u \cdot D)
 \end{aligned} \tag{2}$$

1.2 Підхід до оцінювання вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію

Для отримання значень вагомості паливної складової критерію K_{fe} у даній роботі пропонується два підходи. По-перше, таку вагомість можна кількісно охарактеризувати з використанням значенням відповідного коефіцієнта A_{fuel} , який за своєю математичною і фізичною суттю повністю відповідає безрозмірному показнику відносної агресивності законодавчо нормованого полютанту у ВГ A_k . Величину A_{fuel} пропонується отримати з формули (5), що урівнює вирази для частинних похідних критерію за масовою годинною витратою палива G_{fuel} у %·год/кг (формула (3)) та за масовим годинним викидом законодавчо нормованого полютанта з потоком ВГ ПДВЗ G_k у %·год/кг (формула (4)).

$$\frac{\partial K_{fe}}{\partial G_{fuel}} = -\frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв}}{9550 \cdot H_u \cdot G_{fuel}^2} \cdot \left(1 + \frac{\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma \cdot (\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma + 2 \cdot G_{fuel})}{(\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma + G_{fuel})^2} \right) =$$

$$= -\frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв}}{9550 \cdot H_u \cdot G_{fuel}^2} \cdot \frac{(G_{fuel} + 2 \cdot \sigma \cdot \delta \cdot \Sigma)^2 - 2 \cdot (\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma)^2}{(\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma + G_{fuel})^2} = \quad ; \quad (3)$$

$$= \left| C = (G_{fuel} + 2 \cdot \sigma \cdot \delta \cdot \Sigma)^2 - 2 \cdot (\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma)^2 \right| = -K_{fe} / D \cdot C / G_{fuel}^2$$

$$\frac{\partial K_{fe}}{\partial G_k} = -\frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв} \cdot \sigma \cdot \delta \cdot A_k}{9550 \cdot H_u \cdot (\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma + G_{fuel})^2} = -\frac{3600 \cdot M_{кр} \cdot n_{кв} \cdot \sigma \cdot \delta \cdot A_k}{9550 \cdot H_u \cdot D^2} = \quad ; \quad (4)$$

$$= \left| \partial \left(\sum_{k=1}^h (A_k \cdot G_k) \right) / \partial G_k = A_k \right| = -K_{fe} / D \cdot \sigma \cdot \delta \cdot A_k$$

$$A_{fuel} = (G_{fuel} + 2 \cdot \sigma \cdot \delta \cdot \Sigma)^2 - 2 \cdot (\sigma \cdot \delta \cdot \Sigma)^2 / (\sigma \cdot \delta) = C / (\sigma \cdot \delta \cdot G_{fuel}^2). \quad (5)$$

Відмінністю другого підходу є те, що значення власне шуканої вагомості пропонується описувати величиною інтегрального коефіцієнту A_f , що є сумою значень звичайного коефіцієнту A_{fuel} та суми значень безрозмірних показників відносної агресивності повного набору законодавчо нормованих поллютантів у ВГ $\Sigma A_k = A_{PM} + A_{NOx} + A_{CnHm} + A_{CO} = 200 + 41,1 + 3,2 + 1,0 = 245,3$ [3]. Це зумовлено тим, що фактично джерелом викидів законодавчо нормованих поллютантів у потоці ВГ ПДВЗ є недоліки у організації згоряння моторного палива, а при нульовому споживанні палива викиди поллютантів двигуном дорівнюють нулю. Тобто паливна складова критерію K_{fe} повністю зумовлює його екологічну складову, та відповідно коефіцієнт вагомості паливної складової включає величину ΣA_k , а величина A_{fuel} , і комплекс величин A_{PM} , A_{NOx} , A_{CnHm} і A_{CO} не є незалежними одне від одного. При цьому, як буде показано далі, значення коефіцієнта A_{fuel} у деякому діапазоні зміни координат поля робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 менші за значення ΣA_k . Отже $A_f = A_{fuel} + \Sigma A_k$. Також інтерес наукового плану становить розрахункове дослідження значень величин A_f/A_k (у першу чергу A_f/A_{CO} як еталонного поллютанта, для якого $A_k = 1,0$) та $A_f/\Sigma A_k$.

1.3 Врахування параметрів моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ

У роботі проаналізовано діапазони можливої зміни значень параметрів моторного палива – нижча теплота згоряння H_u у МДж/кг та ціна P_f у \$/кг; а також параметрів умов експлуатації ПДВЗ – безрозмірний показник відносної небезпеки забруднення на різних територіях σ та безрозмірний коефіцієнт, що врахо-

вує характер розсіювання ВГ в атмосфері f ; на основі результатів аналізу джерел [14,15]. Встановлено, що величина $H_u = 25\text{--}125$ МДж/кг, $P_f = 0,5\text{--}2,0$ \$/кг, $\sigma = 0,025\text{--}10$, $f = 0,5\text{--}2,0$; при цьому для базового варіанту встановлено наступні значення $H_u = 42,7$ МДж/кг, $P_f = 0,872$ \$/кг, $\sigma = 1,0$, $f = 0,1$.

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), у яких індексами Tf та Af позначено величини для випадків використання традиційного палива і альтернативного.

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

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

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

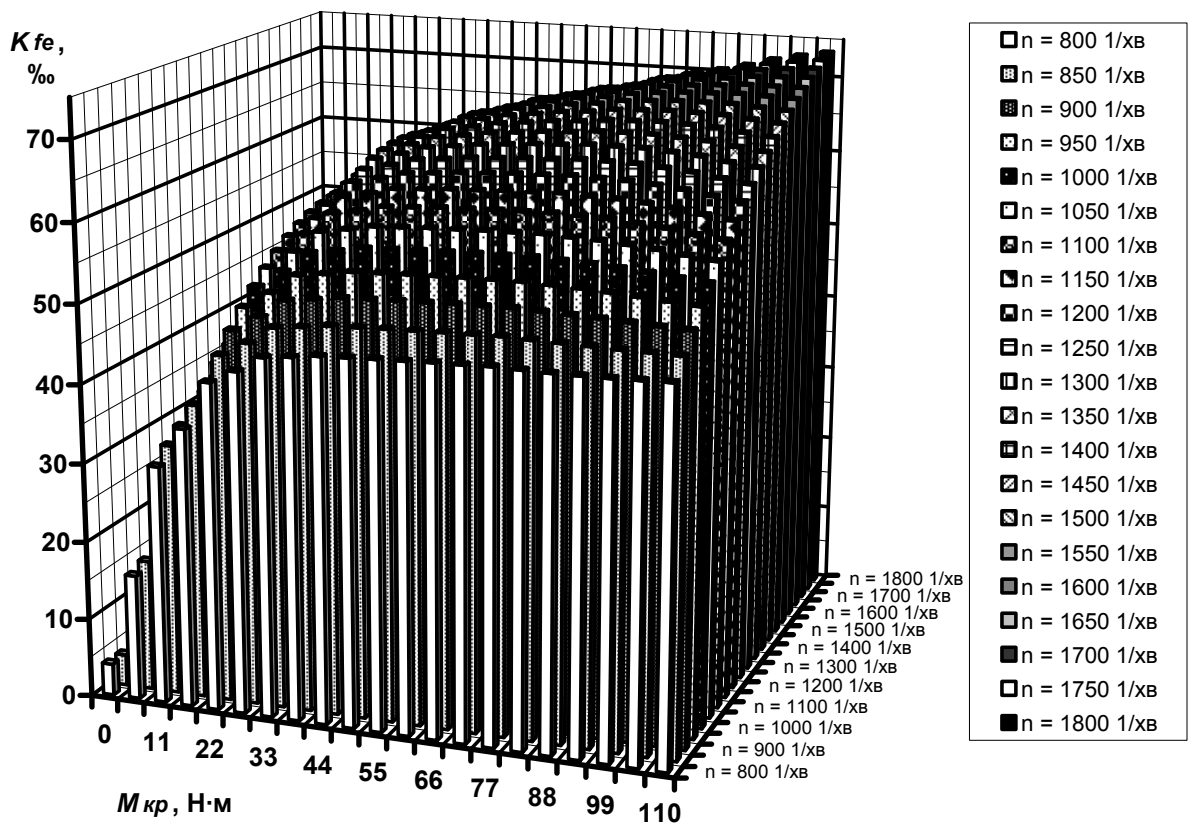
Аналіз особливостей конструкції автотракторного дизеля Д21А1 (2Ч10,5/12 за ГОСТ 10150–2014 [13]) наведено у монографії [1] за даними [16].

1.4 Вихідні дані для розрахункового дослідження. Техніко-економічні та екологічні показники роботи дизеля 2Ч10,5/12

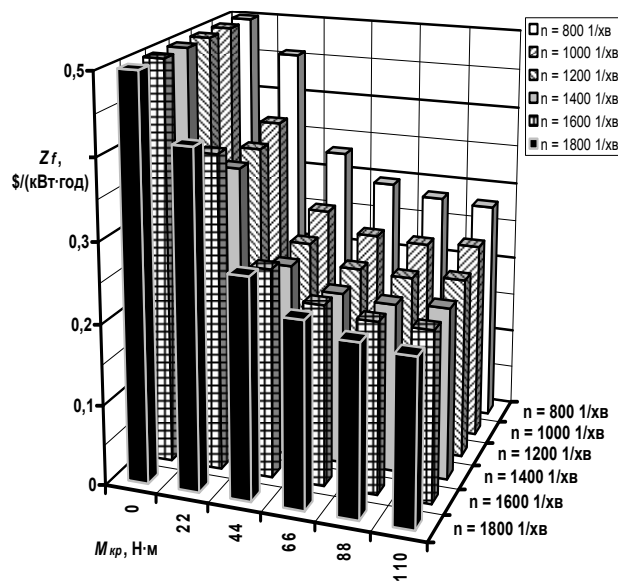
Розподіл значень техніко-економічних (ефективна потужність дизеля N_e у кВт, масові годинні витрати палива G_{fuel} і повітря G_{air} дизелем у кг/год, ефективний ККД дизеля η_e) та екологічних (масові годинні викиди з потоком ВГ законодавчо нормованих полютантів G_{PM} , G_{NOx} , G_{CnHm} , G_{CO} у кг/год) показників роботи дизеля 2Ч10,5/12, експериментально отримані й описані у роботах [8, 9], по всьому полю його робочих режимів (від значення $n_{кв} = 800$ хв⁻¹ до $n_{кв} = 1800$ хв⁻¹ з $\Delta n_{кв} = 200$ хв⁻¹ та від значення $M_{кр} = 0$ Н·м до $M_{кр} = 110$ Н·м з $\Delta M_{кр} = 11$ Н·м) наведено на рис. А.1 і А.2 додатку А.

1.5 Розподіл порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію для всієї області робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12

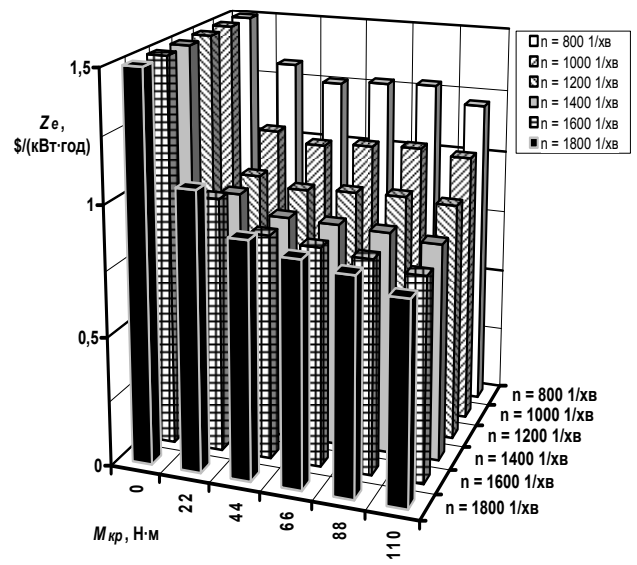
За цими значеннями розраховано порежимні значення критерію K_{fe} , розподіл яких по всьому полю робочих режимів дизеля Д21А1 наведено на рис.1.1.



а



б



в

Рисунок 1.1 – Гістограми розподілу порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію K_{fe} (а) та його вартісних складових Z_f (б) і Z_e (в) по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12

Висновки по розділу 1 винесено у загальні висновки по роботі.

2 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ВАГОМОСТІ ПАЛИВНОЇ СКЛАДОВОЇ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ ДЛЯ БАЗОВОГО ВАРІАНТУ

На рис. 2.1 і А.3 (додаток А) наведено гістограми розподілу порежимних значень коефіцієнта $A_{fuel} = A_{fuel}/A_{CO}$, величин $A_{fuel}/\Sigma A_k$ та $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel}) = A_{fuel}/A_f$ по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 для базового варіанту розрахунку $\sigma = 1,0$ і $f = 1,0$ та $H_u = 42,7$ МДж/кг. На цих рисунках видно, що значення коефіцієнта A_{fuel} та величин $A_{fuel}/\Sigma A_k$ і $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel})$ розподіляються по полю робочих режимів цього дизеля 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 величин $A_{fuel}/\Sigma A_k$ та $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel})$ приймає значення від 0,025 і 0,024 (режим А) до 0,245 і 0,197 (режим Б), тобто зростає у 9,8 і 8,2 разів від мінімального значення N_e до максимального. Усереднене по всьому такому полю значення вказаних величин: $A_{fuel} = 38,4$; $A_{fuel}/\Sigma(A_k) = 0,157$ та $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel}) = 0,132$.

На рис. 2.2 і А.4 (додаток А) наведено гістограми розподілу порежимних значень коефіцієнта $A_f = A_{fuel} + A_{fuel}$, величин $A_f/\Sigma A_k$ та $\Sigma A_k/A_f$ по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 для базового варіанту розрахунку $H_u = 42,7$ МДж/кг, $\sigma = 1,0$ і $f = 1,0$. На цих рисунках видно, що значення коефіцієнта A_f та величин $A_f/\Sigma A_k$ та $\Sigma A_k/A_f$ 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 1,214 разів зі зміною величин N_e , $M_{кр}$, $n_{кв}$, G_{fuel} , $\Sigma(A_k \cdot G_k)$ у вказаних діапазонах. Значення величин $A_f/\Sigma A_k$ та $\Sigma A_k/A_f$ приймає значення від 1,025 і 0,976 (режим А) до 1,245 і 0,803 (режим Б), тобто зростає і зменшується у 0,823 і 1,215 разів від мінімального значення N_e до максимального. Усереднене по всьому такому полю значення вказаних величин: $A_f = 283,7$; $A_f/\Sigma A_k = 1,157$ та $\Sigma A_k/A_f = 0,868$.

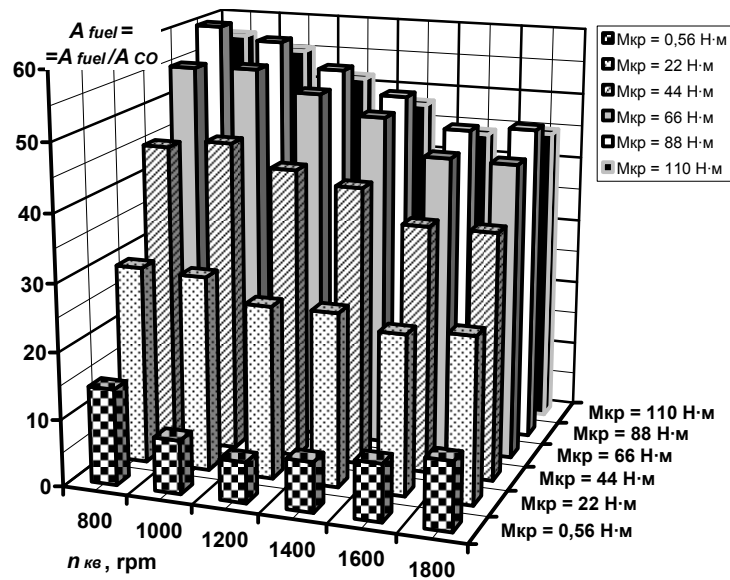


Рисунок 2.1 – Гістограми розподілу порежимних значень величини $A_{fuel} = A_{CO}$ по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12

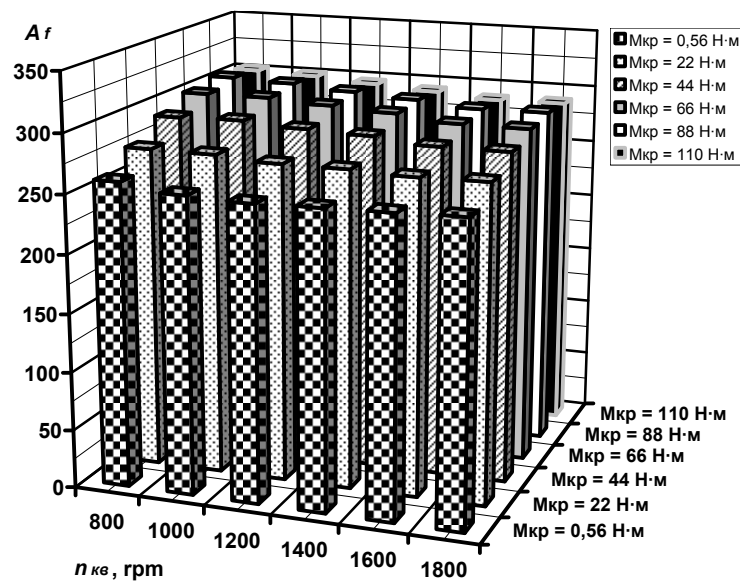
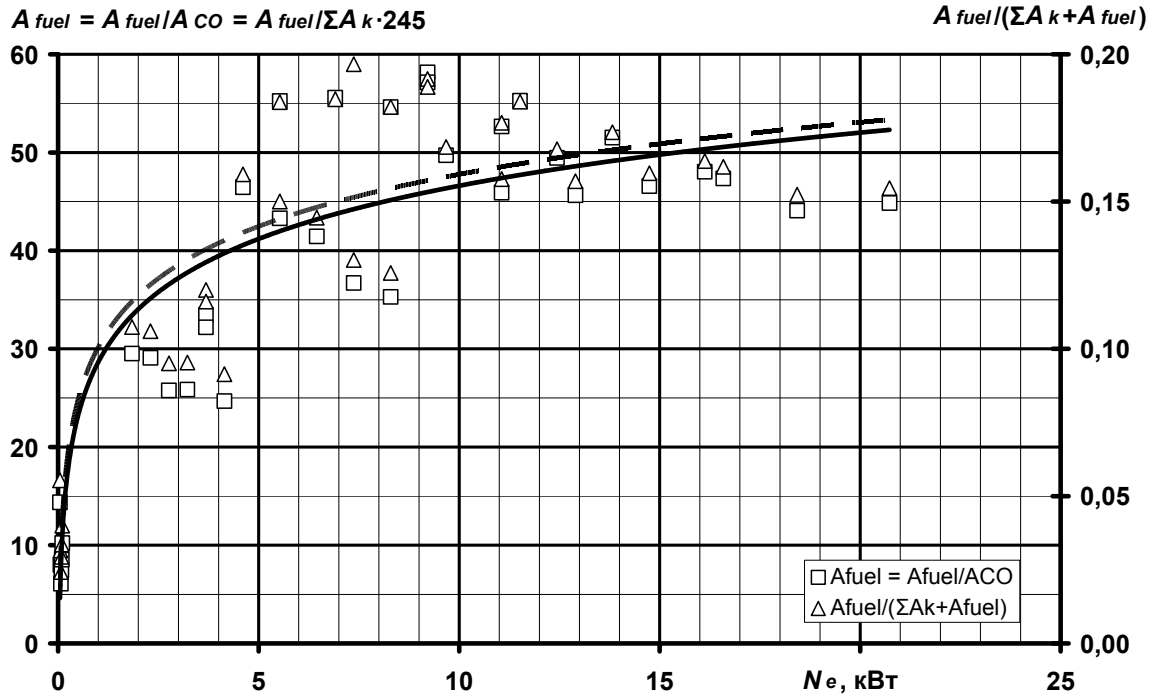


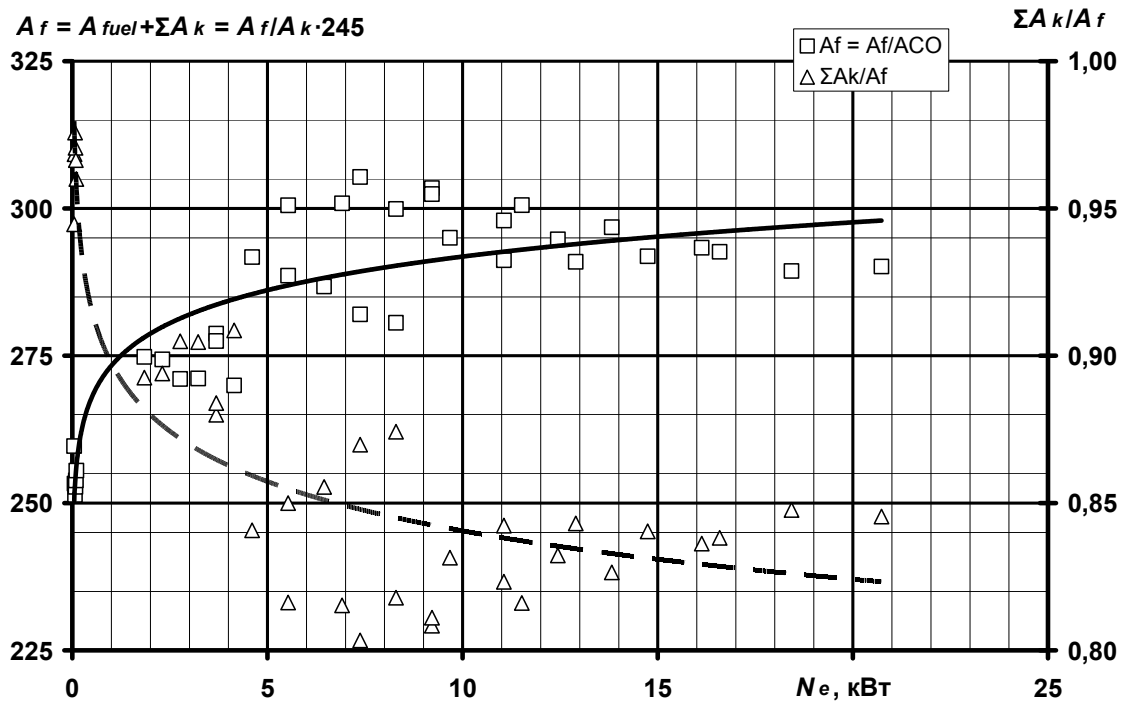
Рисунок 2.2 – Гістограми розподілу порежимних значень величини

$$A_f = A_{fuel} + \sum A_k \text{ по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12}$$

На рис. 2.3,а показано залежності значень величин $A_{fuel} = A_{CO}$, $A_{fuel}/\sum A_k$ та $A_{fuel}/(\sum A_k + A_{fuel}) = A_{fuel}/A_f$ від значень ефективної потужності ПДВЗ N_e . На рис. 2.3,б показано залежності значень величин $A_f = A_{fuel} + \sum A_k$, $A_f/\sum A_k$ та $\sum A_k/A_f$ від значень ефективної потужності ПДВЗ N_e .



a



б

Рисунок 2.3 – Графіки залежності значень величин $A_{fuel} = A_{CO}$, $A_{fuel}/\sum A_k$ та $A_{fuel}/(\sum A_k + A_{fuel}) = A_{fuel}/A_f$ (а) та величин $A_f = A_{fuel} + \sum A_k$, $A_f/\sum A_k$ та $\sum A_k/A_f$ (б) від значень ефективної потужності ПДВЗ N_e

З рис. 2.3,а видно, що значення величин $A_{fuel} = A_{CO}$, $A_{fuel}/\sum A_k$ та A_{fuel}/A_f є ступеневими функціями, які демонструють наявність прямої кореляції між величинами коефіцієнтів вагомості та ефективної потужності ПДВЗ. З рис. 2.3,б

видно, що значення величин $A_f = A_{fuel} + \Sigma A_k$, $A_f / \Sigma A_k$ та $\Sigma A_k / A_f$ також відображають нелінійні залежності, перші дві з яких подібні їх аналогам на рис. 2.3,а, а третій має принципово відмінний характер – зворотно корелює зі значенням величини N_e . Це свідчить про те, що вагомість екологічної складової критерію K_{fe} зменшується на фоні вагомості його паливної частини зі зростанням величини N_e . Графіки залежностей на рис. 2.3 описано методом найменших квадратів [12] формулами (9) – (12).

$$A_{fuel} = A_{fuel} / A_{CO} = 245,3 \cdot A_{fuel} / \Sigma A_k = 21,733 \cdot N_e^{0,333} + 21,269 \cdot N_e; R^2 = 0,888; \quad (9)$$

$$A_{fuel} / (\Sigma A_k + A_{fuel}) = 7,952 \cdot 10^{-2} \cdot N_e^{0,304}; R^2 = 0,890; \quad (10)$$

$$A_f = A_{fuel} + \Sigma A_k = 245,3 \cdot A_f / \Sigma A_k = 273,32 \cdot N_e^{0,029}; R^2 = 0,796; \quad (11)$$

$$\Sigma A_k / A_{fuel} = 0,898 \cdot N_e^{-0,29}; R^2 = 0,796. \quad (12)$$

Таким чином, за результатами аналізу вищенаведених даних можливим є запропонувати три наближення у визначенні шуканого значення коефіцієнта вагомості паливної складової критерію K_{fe} :

1) перше (найгрубіше) – усереднене по всьому полю робочих режимів значення величин $A_{fuel} = A_{fuel} / A_{CO} = 38,4$, $A_{fuel} / \Sigma A_k = 0,157$ і $A_{fuel} / \Sigma (A_k + A_{fuel}) = 0,132$; $A_f = 283,7$, $A_f / \Sigma A_k = 1,157$ та $\Sigma A_k / A_f = 0,868$; $A_f = A_{fuel} + \Sigma A_k = 283,7$; $A_f / \Sigma A_k = 1,157$ та $\Sigma A_k / A_f = 0,868$;

2) друге (звичайної точності) – як функція значення величини N_e – формули (9) – (12);

3) третє (найточніше) – апроксимована залежність від координат поля робочих режимів ПДВЗ – величин $n_{кв}$ і $M_{кр}$ – див. рис. 2.1 і 2.2, А.3 і А.4.

Висновки по розділу 2 винесено у загальні висновки по роботі.

3 ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ НА ЗНАЧЕННЯ ВАГОМОСТІ ПАЛИВНОЇ СКЛАДОВОЇ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ ПАРАМЕТРІВ МОТОРНОГО ПАЛИВА І УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПДВЗ

3.1 Вплив на усереднені значення критерію K_{fe}

Результати розрахунків значень критерію K_{fe} , усереднених по всьому полю робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, при варіюванні впливаючих факторів, що являють собою параметри моторного палива – нижча теплота згоряння H_u у МДж/кг та ціна P_f у \$/кг; а також параметри умов експлуатації ПДВЗ – безрозмірний показник відносної небезпеки забруднення на різних територіях σ та безрозмірний коефіцієнт, що враховує характер розсіювання ВГ в атмосфері f , у вказаних підрозділі 1.3 межах відображено на рис. 3.1 і 3.2.

Як видно на рис. 3.1, усереднені значення критерію K_{fe} від значення величини H_u при дотриманні умов (7) і (8) не залежать, що також впливає з аналізу формули (2). На рис. 3.2 видно, що залежності таких усереднених значень критерію K_{fe} від значень коефіцієнтів σ та f є нелінійними, а саме являють собою сімейство гіпербол як для величини коефіцієнта σ , так і для величини коефіцієнта f . При цьому чим нижчими є значення коефіцієнтів σ та f , тим вищими є значення критерію K_{fe} . Так, у вказаному діапазоні зміни значень цих впливаючих факторів значення критерію K_{fe} змінюється у діапазоні від 226,2 ‰ (при $\sigma = 0,025$ і $f = 0,5$) до 3,2 ‰ (при $\sigma = 10,0$ і $f = 2,0$), тобто у 70,7 разів. При базовому значенні коефіцієнта $\sigma = 1,0$ значення критерію K_{fe} змінюється у функції значень критерію f від 82,7 ‰ до 28,2 ‰, тобто змінюється у 2,9 разів. При базовому значенні коефіцієнта $f = 1,0$ значення критерію K_{fe} змінюється у функції значень критерію σ від 216,5 ‰ до 6,3 ‰, тобто змінюється у 34,4 рази.

На рис. 3.3 наведено графіки залежності значень критерію K_{fe} , усереднених для всього поля робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 та при постійних значеннях одного зі впливаючих факторів – коефіцієнтів σ, f – від значень коефіцієнтів σ та f для сталих базового і крайніх значеннях величини H_u . На ньому видно, що такі значення критерію K_{fe} , усереднені при постійних значеннях коефіцієнта f , не залежать від значення величини H_u , і залежать від значення коефіцієнта σ нелінійно, а саме за гіперболічним законом, від'ємно корелюючи та приймаючи значення від 212,4 до 6,5 ‰ при $\sigma = 0,025 \dots 10,0$, змінюючись у 32,7 рази. Також

на цьому рисунку видно, що такі значення критерію K_{fe} , усереднені при постійних значеннях коефіцієнта σ , також не залежать від значення величини H_u , залежать від значення коефіцієнта f нелінійно також за гіперболічним законом, від'ємно корелюючи та приймаючи значення від 94,3 до 57,7 % при $f = 0,5 \dots 2,0$, змінюючись у 1,6 рази.

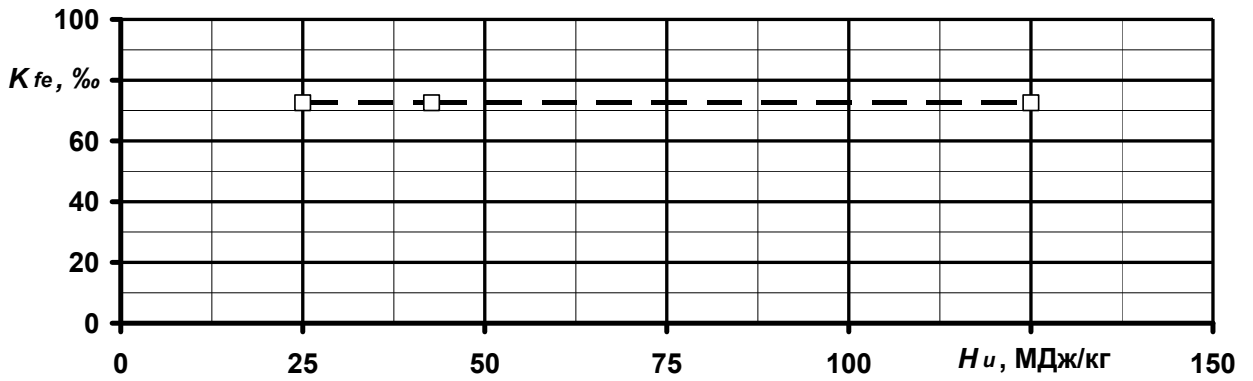


Рисунок 3.1 – Графіки залежності усереднених значень критерію K_{fe} для базових значень коефіцієнтів $\sigma = 1,0$ та $f = 1,0$ від значень величини H_u

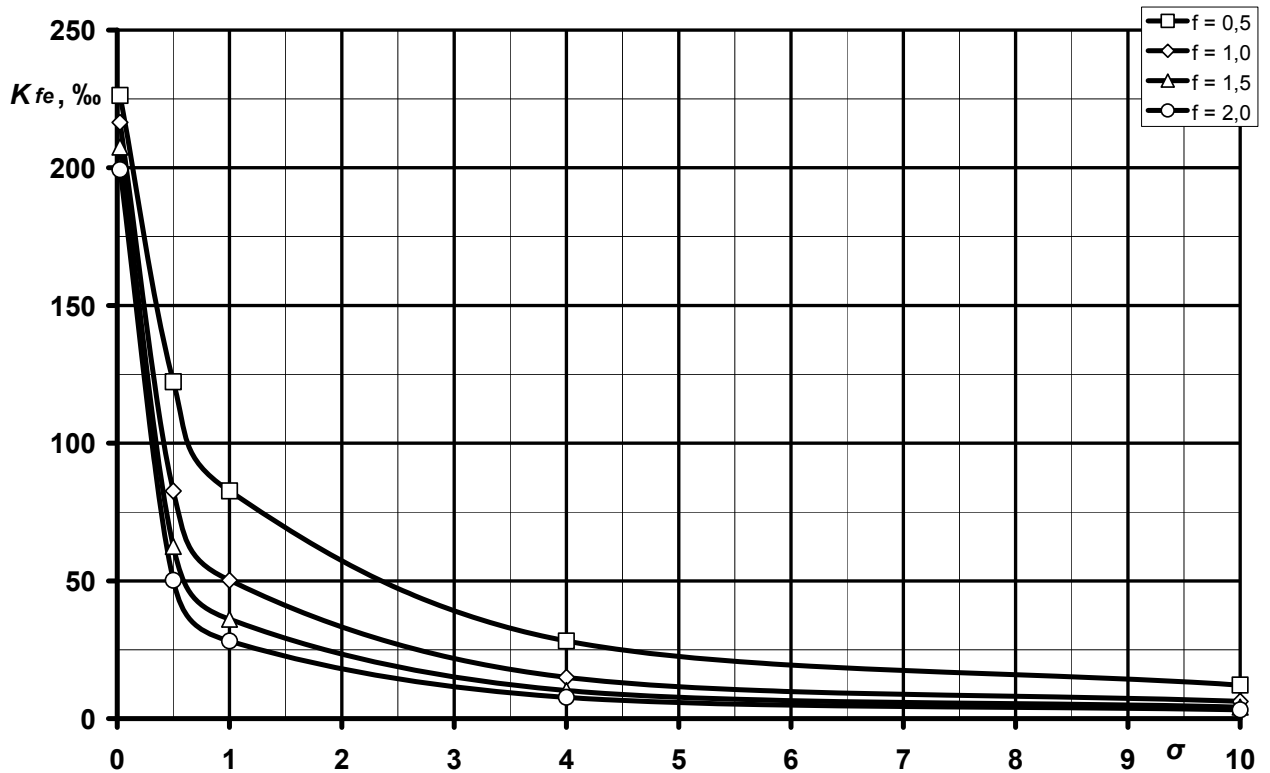


Рисунок 3.2 – Графіки залежності усереднених значень критерію K_{fe} від значень коефіцієнтів σ та f для усіх видів моторного палива

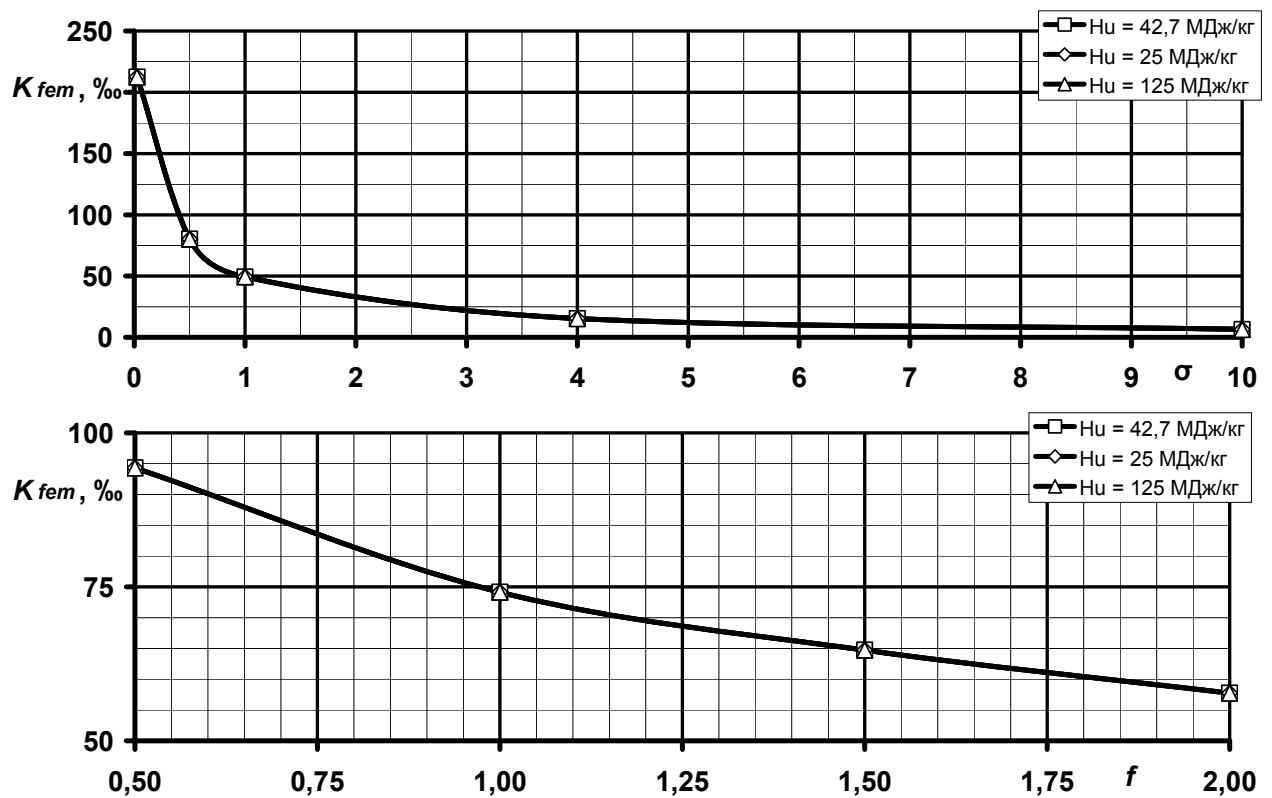


Рисунок 3.3 – Графіки залежності середніх значень критерію K_{fe} від значень коефіцієнтів σ та f для різних значень величини H_u

3.2 Вплив на усереднені значення критерію вагомості A_{fuel}

Результати розрахунків значень критерію вагомості A_{fuel} паливної складової критерію K_{fe} , усереднених по всьому полю робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, при варіюванні впливаючих факторів σ та f у вказаних межах та базовому значенні величини H_u , наведено на рис. 3.4,а. Такі ж залежності для величини $A_{fuel}/\Sigma A_k$ – на рис. 3.4,а, для $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ – на рис. 3.4,б.

На рис. 3.4,а видно, що залежності таких усереднених значень величини A_{fuel} від значень коефіцієнтів σ та f є лінійними, як для коефіцієнта σ , так і для коефіцієнта f . При цьому чим вищими є значення коефіцієнтів σ та f , тим вищими є значення величини A_{fuel} . Так, у вказаному діапазоні зміни значень цих факторів значення величини A_{fuel} змінюється у діапазоні від 1484,9 (при $\sigma = 10,0$ і $f = 2,0$, $H_u = 25$ МДж/кг) до 2,6 (при $\sigma = 0,5$ і $f = 0,5$, $H_u = 125$ МДж/кг), тобто у 571,9 рази. При базовому значенні величин $\sigma = 1,0$ і $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини A_{fuel} змінюється у функції значень критерію f від 26,8 до 62,7, тобто у 2,3 рази. При базовому значенні величин $f = 1,0$ і $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини A_{fuel} змінюється у функції значень критерію σ від 26,8 до 260,9, тобто у

9,7 разів. При базових значеннях коефіцієнтів $\sigma = 1,0$ та $f = 1,0$ значення величини A_{fuel} змінюється у функції значень величини H_u від 111,8 до 4,5 – у 25 разів.

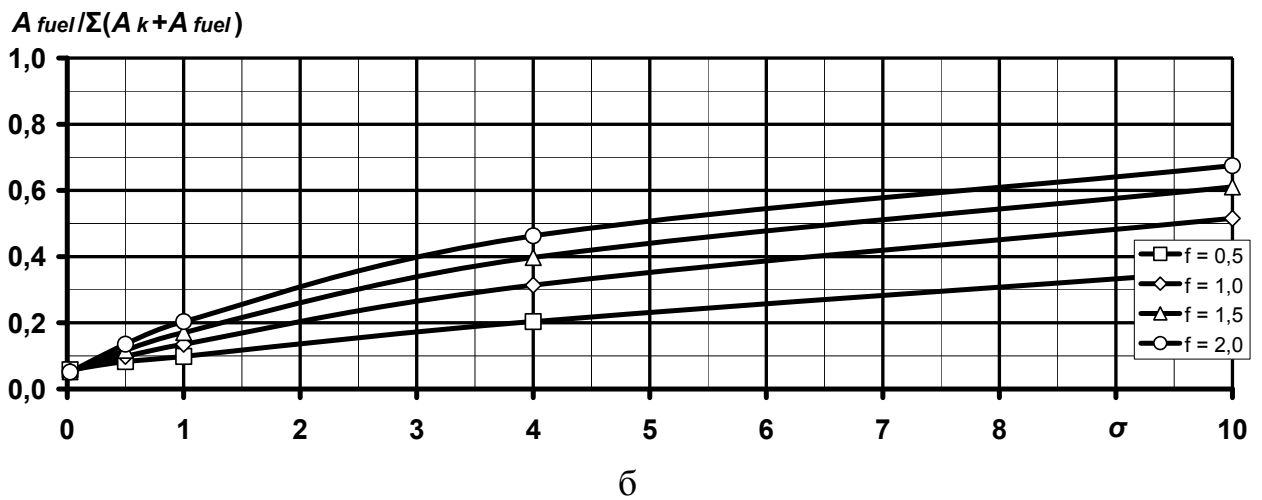
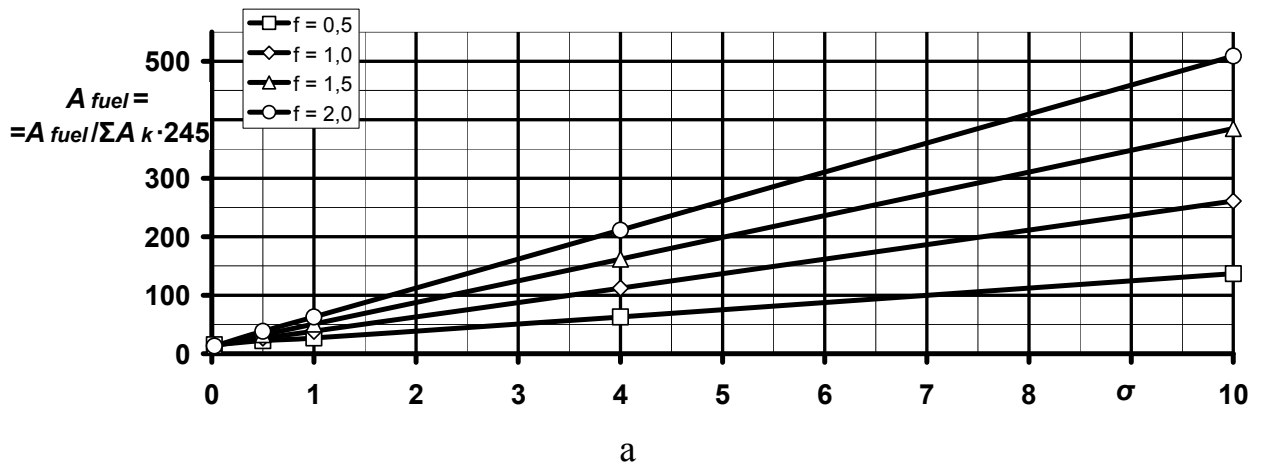


Рисунок 3.4 – Графіки залежності усереднених значень величин A_{fuel} і $A_{fuel}/\Sigma A_k$ (а) та $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ (б) від значень коефіцієнтів σ та f для $H_u = 42,7$ МДж/кг

На рис. 3.4,б видно, що залежності таких усереднених значень величини $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ від значень коефіцієнтів σ та f є лінійними, як для коефіцієнта σ , так і для коефіцієнта f , тобто поведінка цієї величини має різко відмінний характеру поведінки величин A_{fuel} і $A_{fuel}/\Sigma A_k$. Так, у вказаному діапазоні зміни значень цих впливаючих факторів значення величини $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ змінюється у діапазоні від 0,858 (при $\sigma = 10,0$ і $f = 2,0$, $H_u = 25$ МДж/кг) до 0,010 (при $\sigma = 0,5$ і $f = 0,5$, $H_u = 125$ МДж/кг), тобто у 85,8 рази. При базовому значенні коефіцієнта $\sigma = 1,0$ і величини $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ змінюється у функції значень критерію f від 0,098 до 0,204, тобто у 2,08 рази. При базовому значенні коефіцієнта $f = 1,0$ і величини $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ змінюється у функції значень критерію σ від 0,054 до 0,515,

тобто у 9,54 рази. При базових значеннях коефіцієнтів $\sigma = 1,0$ та $f = 1,0$ значення величини $A_{fuel}/\Sigma(A_k + A_{fuel})$ змінюється у функції значень величини H_u від 0,313 до 0,018, тобто у 17,4 рази.

На рис. 3.4,а наведено графіки залежності середніх значень коефіцієнта вагомості A_{fuel} та відношення $A_{fuel}/\Sigma A_k/245,3$, отриманих за аналогічними до наведеного на рис. 3.2 принципами, від значень коефіцієнтів σ та f для сталих базового і крайніх значеннях величини H_u . На рис. 3.4,б – такі залежності для усереднених значень відношення $A_{fuel}/\Sigma(A_k + A_{fuel})$.

На рис. А.5,а і б (додаток А) видно, що такі значення величин A_{fuel} та $A_{fuel}/\Sigma A_k \cdot 245,3$, усереднені при постійних значеннях коефіцієнта f , залежать від значення величини H_u нелінійно, залежать від значення коефіцієнта $\sigma = 0,025 \dots 10,0$ лінійно, додатно корелюючи та приймаючи значення від 40,7 до 942,2 при $H_u = 25$, від 13,9 до 323,0 при $H_u = 42,7$ та від 1,6 до 37,7 при $H_u = 125$ МДж/кг, тобто у 23,1 рази при будь-якому значенні величини H_u . Такі значення величини A_{fuel} , усереднені при постійних значеннях коефіцієнта σ , також залежать від значення величини H_u нелінійно, залежать від значення коефіцієнта $f = 0,5 \dots 2,0$ також лінійно, додатно корелюючи та приймаючи значення 191,4 до 497,1 при $H_u = 25$, від 65,6 до 170,4 при $H_u = 42,7$ та від 7,7 до 19,9 при $H_u = 125$ МДж/кг, тобто у 2,6 рази при будь-якому значенні величини H_u .

На рис. А.5,в і г видно, що такі значення величини $A_{fuel}/\Sigma(A_k + A_{fuel})$, усереднені при постійних значеннях коефіцієнта f , залежать від значення величини H_u нелінійно, залежать від значення коефіцієнта $\sigma = 0,025 \dots 10,0$ також нелінійно, а саме за ступеневим законом, додатно корелюючи та приймаючи значення від 0,142 до 0,793 при $H_u = 25$, від 0,054 до 0,568 при $H_u = 42,7$ та від 0,006 до 0,133 при $H_u = 125$ МДж/кг, тобто змінюючись у 5,6, 10,5 і 22,2 рази відповідно значенням величини H_u . Такі значення величини $A_{fuel}/\Sigma(A_k + A_{fuel})$, усереднені при постійних значеннях коефіцієнта σ , також залежать від значення величини H_u нелінійно, залежать від значення коефіцієнта $f = 0,5 \dots 2,0$ також нелінійно, а саме за ступеневим законом, додатно корелюючи та приймаючи значення 0,438 до 0,670 при $H_u = 25$, від 0,211 до 0,410 при $H_u = 42,7$ та від 0,030 до 0,075 при $H_u = 125$ МДж/кг, тобто змінюючись у 1,53, 1,94 і 2,5 рази відповідно до H_u .

На рис. 3.6 містяться графіки залежності значень коефіцієнтів вагомості A_{fuel} , $A_{fuel}/\Sigma A_k$ та $A_{fuel}/\Sigma(A_k + A_{fuel})$ та їх співвідношень, усереднених по всьому по-

лю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 та за всім діапазоном зміни значень коефіцієнтів σ та f , від значень величини H_u .

На рис. 3.6 видно, що такі залежності значень коефіцієнта вагомості A_{fuel} та їх співвідношень $A_{fuel}/\Sigma A_k$ та $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ від значень величини H_u носять нелінійний характер, а саме гіперболічних законів, при цьому наявна зворотна кореляція. При зміні значень величини H_u у діапазоні від 25 до 125 МДж/кг, тобто у 5 разів, значення коефіцієнта вагомості A_{fuel} , усередненого за вищевказаним принципом, змінюється від 339,9 до 13,6, тобто у 25 разів; значення співвідношення коефіцієнтів вагомості $A_{fuel}/\Sigma A_k$ змінюється від 1,386 до 0,055, тобто у 25 разів; значення співвідношення коефіцієнтів вагомості $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ змінюється від 0,581 до 0,053, тобто у 11 разів.

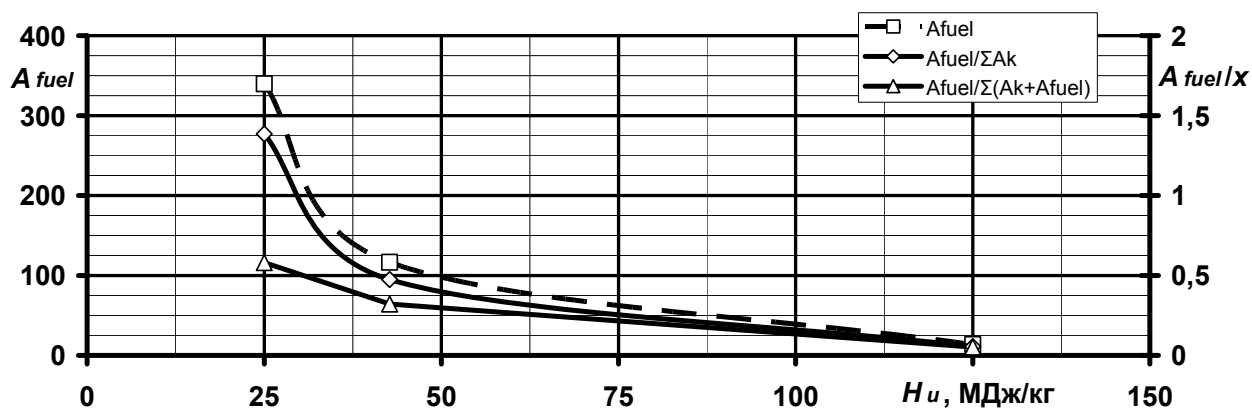


Рисунок 3.6 – Графіки залежності усереднених значень величин A_{fuel} , $A_{fuel}/\Sigma A_k$ та $A_{fuel}/\Sigma(A_k+A_{fuel})$ від значень коефіцієнтів σ та f для різних значень величини H_u

3.3 Вплив на усереднені значення критерію вагомості A_f

На рис. 3.7 показана така сама інформація, що і на рис. 3.4, на рис. А.6 – така сама, що і на рис. А.5 (додаток А), на рис. 3.9 – така сама, що і на рис. 3.6. Графіки залежності на рис. 3.2 – 3.9 описано методом найменших квадратів поліномами та ступеневими функціями.

На рис. 3.7,а видно, що залежності таких усереднених значень величини A_f та рівні йому відношення A_f/A_{CO} і $A_f/\Sigma A_k \cdot 245,3$ від значень коефіцієнтів σ та f є лінійними, як для коефіцієнта σ , так і для коефіцієнта f . При цьому чим вищими є значення коефіцієнтів σ та f , тим вищими є значення досліджуваних величин. Так, у вказаному діапазоні зміни значень цих впливаючих факторів значення величини A_f змінюється у діапазоні від 1730,2 (при $\sigma = 10,0$ і $f = 2,0$, $H_u = 25$ МДж/кг) до 247,9 (при $\sigma = 0,5$ і $f = 0,5$, $H_u = 125$ МДж/кг), тобто у 7,0 рази. При

базовому значенні величин $\sigma = 1,0$ і $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини A_f змінюється у функції значень критерію f від 272,1 до 308,0, тобто у 1,1 рази. При базовому значенні величин $f = 1,0$ і $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини A_f змінюється у функції значень критерію σ від 259,2 до 506,2, тобто у 2,0 разів. При базових значеннях коефіцієнтів $\sigma = 1,0$ та $f = 1,0$ значення величини A_{fuel} змінюється у функції значень величини H_u від 357,1 до 249,8, тобто у 1,4 разів.

На рис. 3.7,б видно, що залежності таких усереднених значень величини $A_f/\Sigma A_k$ від значень коефіцієнтів σ та f не є лінійними, як для коефіцієнта σ , так і для коефіцієнта f , тобто поведінка цієї величини має різко відмінний характеру поведінки величин A_f . Так, у вказаному діапазоні зміни значень цих впливаючих факторів значення величини $A_f/\Sigma A_k$ змінюється у діапазоні від 0,142 (при $\sigma = 10,0$ і $f = 2,0$, $H_u = 25$ МДж/кг) до 0,990 (при $\sigma = 0,5$ і $f = 0,5$, $H_u = 125$ МДж/кг), тобто у 7,0 рази. При базовому значенні коефіцієнта $\sigma = 1,0$ і величини $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини $A_f/\Sigma A_k$ змінюється у функції значень критерію f від 0,902 до 0,796, тобто у 1,1 рази. При базовому значенні коефіцієнта $f = 1,0$ і величини $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини $A_f/\Sigma A_k$ змінюється у функції значень критерію σ від 0,946 до 0,485, тобто у 2,0 рази. При базових значеннях коефіцієнтів $\sigma = 1,0$ та $f = 1,0$ значення величини $A_f/\Sigma A_k$ змінюється у функції значень величини H_u від 0,687 до 0,982, тобто у 1,4 рази.

На рис. А.6,а і б (додаток А) наведено графіки залежності середніх значень коефіцієнта вагомості A_f та відношення $A_f/\Sigma A_k \cdot 245,3$, отриманих за аналогічними до наведеного на рис. А.5 принципами, від значень коефіцієнтів σ та f для сталих базового і крайніх значення величини H_u . На рис. А.6,в і г – такі залежності для усереднених значень відношення $\Sigma A_k/A_f$.

На рис. А.6,а і б видно, що такі значення вказаних величин, усереднені при постійних значеннях коефіцієнта f , залежать від значення величини H_u нелінійно, залежать від значення коефіцієнта $\sigma = 0,025 \dots 10,0$ лінійно, додатно корелюючи та приймаючи значення від 286,0 до 1187,5 при $H_u = 25$, від 259,2 до 568,3 при $H_u = 42,7$ та від 246,9 до 283,0 при $H_u = 125$ МДж/кг, тобто у 4,2; 2,2 і 1,1 рази при будь-якому значенні величини H_u . Такі значення величини A_f , усереднені при постійних значеннях коефіцієнта σ , також залежать від значення величини H_u нелінійно, залежать від значення коефіцієнта $f = 0,5 \dots 2,0$ також лінійно, додатно корелюючи та приймаючи значення 436,7 до 742,4 при $H_u = 25$,

від 310,9 до 415,7 при $H_u = 42,7$ та від 252,9 до 265,2 при $H_u = 125$ МДж/кг, тобто у 1,7; 1,3 і 1,1 рази при будь-якому значенні величини H_u .

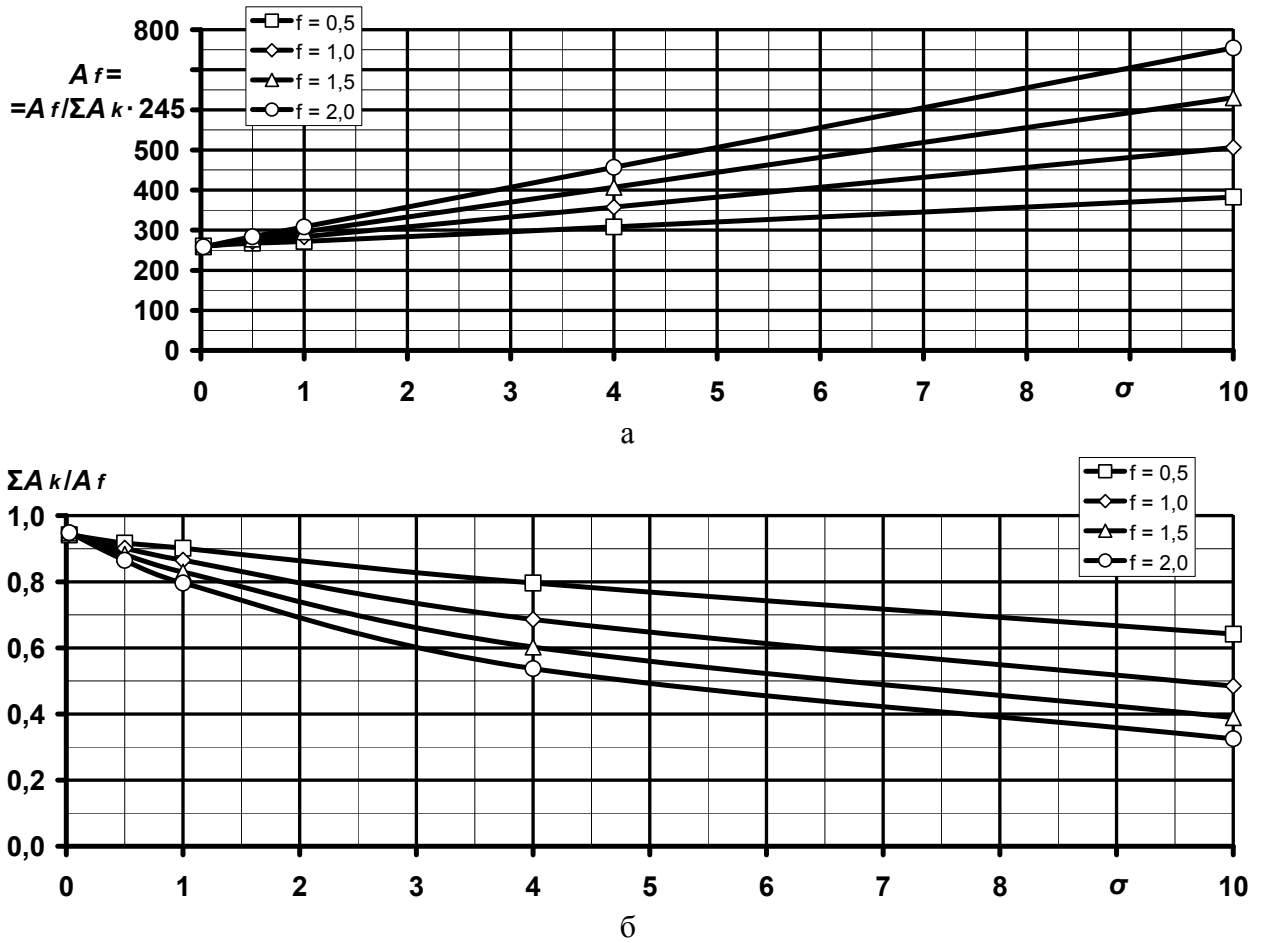


Рисунок 3.7 – Графіки залежності усереднених значень величин A_f і $A_f/\Sigma A_k$ (а) та $\Sigma A_k/A_f$ (б) від значень коефіцієнтів σ та f для $H_u = 42,7$ МДж/кг

На рис. А.6,в і г видно, що такі значення величини $\Sigma A_k/A_f$, усереднені при постійних значеннях коефіцієнта f , залежать від значення величини H_u нелінійно, залежать від значення коефіцієнта $\sigma = 0,025 \dots 10,0$ також нелінійно, а саме за ступеневим законом, додатно корелюючи та приймаючи значення від 0,858 до 0,207 при $H_u = 25$, від 0,946 до 0,432 при $H_u = 42,7$ та від 0,994 до 0,867 при $H_u = 125$ МДж/кг, тобто змінюючись у 4,1; 2,2 і 1,2 рази відповідно до H_u . Такі значення величини $\Sigma A_k/A_f$, усереднені при постійних значеннях коефіцієнта σ , також залежать від значення величини H_u нелінійно, залежать від значення коефіцієнта $f = 0,5 \dots 2,0$ також нелінійно, а саме за ступеневим законом, додатно корелюючи та приймаючи значення 0,562 до 0,330 при $H_u = 25$, від 0,789 до 0,590 при $H_u = 42,7$ та від 0,970 до 0,925 при $H_u = 125$ МДж/кг, тобто змінюючись у 1,7; 1,3 і 1,1 рази відповідно значенням H_u .

На рис. 3.9 містяться графіки залежності значень коефіцієнтів вагомості A_f , $A_f/\Sigma A_k$ та $\Sigma A_k/A_f$ та їх співвідношень, усереднених по всьому полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 та за всім діапазоном зміни значень коефіцієнтів σ та f , від значень величини H_u . На рис. 3.9 видно, що такі залежності значень коефіцієнта вагомості A_f та їх співвідношень $A_f/\Sigma A_k$ та $\Sigma A_k/A_f$ від значень величини H_u носять нелінійний характер, а саме ступеневих законів, при цьому наявна як зворотна, так і пряма кореляція. При зміні значень величини H_u у діапазоні від 25 до 125 МДж/кг, тобто у 5 разів, значення коефіцієнта вагомості A_f , усередненого за вищевказаним принципом, змінюється від 585,2 до 258,9, тобто у 2,3 разів; значення співвідношення коефіцієнтів вагомості $A_f/\Sigma A_k$ змінюється від 2,386 до 1,055, тобто у 2,3 разів; значення співвідношення коефіцієнтів вагомості $\Sigma A_k/A_f$ змінюється від 0,419 до 0,947, тобто у 2,3 разів.

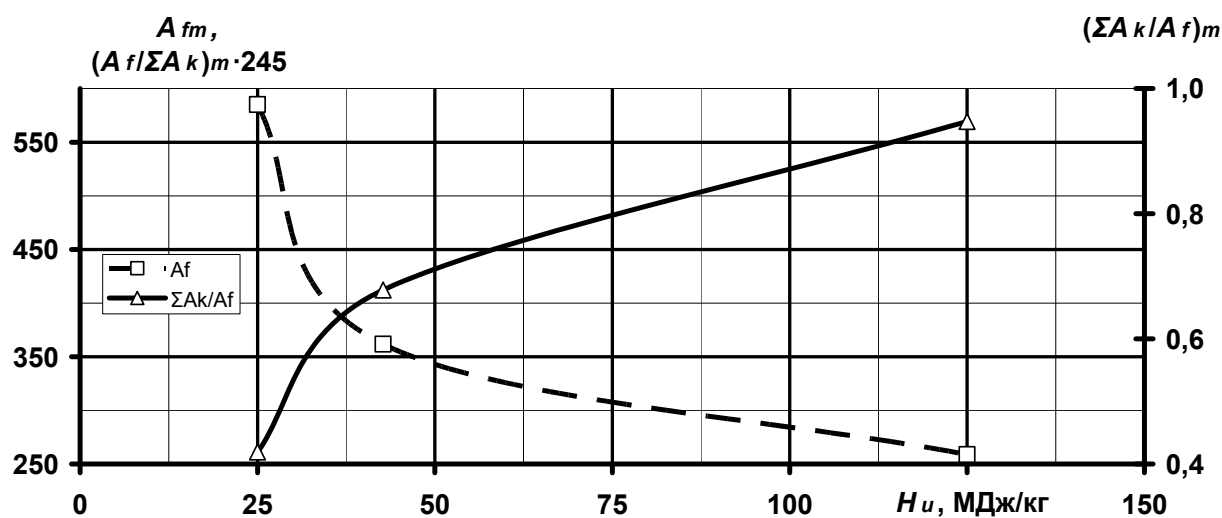


Рисунок 3.9 – Графіки залежності усереднених значень величин A_f , $A_f/\Sigma A_k/245,3$ та $\Sigma A_k/A_f$ від значень коефіцієнтів σ та f для різних значень величини H_u

Висновки по розділу 3 винесено у загальні висновки по роботі.

ВИСНОВКИ

Таким чином, за результатами проведення дослідження, відображеним у попередніх розділах, можна зробити наступні *загальні висновки*.

1. Запропоновано метод визначення вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова. Він передбачає характеризувати таку вагомість коефіцієнтом A_{fuel} , що має фізичний зміст, близький до фізичного зміста коефіцієнта безрозмірного показника відносної агресивності k -го законодавчо нормованого поллютанта у потоці ВГ ПДВЗ A_k . Введений коефіцієнт вагомості паливної складової критерію K_{fe} урівнює вирази для частинних похідних критерію за величиною масової годинної витрати палива ПДВЗ та за величиною масового годинного викиду законодавчо нормованого поллютанту з потоком ВГ ПДВЗ. У якості величин, альтернативних величині коефіцієнта вагомості A_{fuel} , також запропоновано величини відношень значень введеного коефіцієнта вагомості паливної складової критерію K_{fe} до значення безрозмірного показника відносної агресивності еталонного законодавчо нормованого поллютанта у ВГ A_{fuel}/A_{CO} , до суми значень безрозмірних показників відносної агресивності повного набору законодавчо нормованих поллютантів у ВГ $A_{fuel}/\sum A_k$ та до суми коефіцієнтів вагомості паливної та екологічної складових критерію $K_{fe} A_{fuel}/(\sum A_k + A_{fuel})$.

2. Здійснено розрахункове оцінювання значень коефіцієнта вагомості A_{fuel} та значень альтернативних йому величин A_{fuel}/A_{CO} , $A_{fuel}/\sum A_k$ і $A_{fuel}/(\sum A_k + A_{fuel})$ для базового варіанту значень параметрів моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ для всього поля робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12.

Встановлено, що у першому наближенні для вирішення поставленого у дослідженні питання можна використовувати усереднені по всьому полю робочих режимів значення цих величин, а саме: $A_{fuel} = A_{fuel}/A_{CO} = 38,4$; $A_{fuel}/\sum A_k = 0,157$; $A_{fuel}/(\sum A_k + A_{fuel}) = 0,132$. У другому наближенні можна скористатися отриманими у дослідженні залежностями значень таких величин від значення ефективної потужності ПДВЗ. У третьому наближенні – відповідно апроксимова-

ними значеннями залежностями вказаних величин від координат поля робочих режимів ПДВЗ, отриманими у дослідженні.

3. Здійснено розрахункове оцінювання залежності значень коефіцієнта вагомості A_{fuel} і величин $A_{fuel}/\Sigma A_k$ і $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel})$, а також критерію K_{fe} , усереднених по всьому полю робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, від значень впливаючих факторів, що характеризують параметри моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ для всього діапазону їх зміни.

Встановлено, що значення величини A_{fuel} змінюється у діапазоні від 1484,9 (при $\sigma = 10,0$ і $f = 2,0$, $H_u = 25$ МДж/кг) до 2,6 ($\sigma = 0,5$, $f = 0,5$, $H_u = 125$ МДж/кг), тобто у 572 рази. При базовому значенні коефіцієнта $\sigma = 1,0$ і величини $H_u = 42,7$ МДж/кг значення величини A_{fuel} змінюється у функції значень критерію f від 26,8 до 62,7, тобто у 2,3 рази; при базовому значенні коефіцієнта $f = 1,0$ і величини $H_u = 42,7$ МДж/кг у функції значень критерію σ у 9,7 разів; при базових значеннях коефіцієнтів $\sigma = 1,0$ та $f = 1,0$ у функції значень величини H_u у 25 разів. Аналогічні дані отримано для значень величин критерію K_{fe} та коефіцієнтів вагомості A_{fuel} , A_{fuel}/A_{CO} , $A_{fuel}/\Sigma A_k$ і $A_{fuel}/(\Sigma A_k + A_{fuel})$, усереднених по всьому полю робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12. Виявлені залежності описано поліномами.

7. Запропоновано інтегральний коефіцієнт вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію A_f , який є сумою звичайного коефіцієнта вагомості A_{fuel} та суми значень безрозмірних показників відносної агресивності законодавчо нормованих поллютантів у потоці ВГ ПДВЗ $\Sigma A_k = 245,3$, виходячи з того, що саме споживання моторного палива ПДВЗ спричиняє викид поллютантів з потоком ВГ.

8. Розрахунково оцінено значення інтегрального коефіцієнта вагомості паливної складової A_f критерію K_{fe} , а також величин A_f/A_{CO} , $A_f/\Sigma A_k$ і $\Sigma A_k/A_f$, для всього поля робочих режимів автотракторного дизеля Д21А1 та для базового варіанту значень сукупності впливаючих факторів, що характеризують параметри моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ для всього поля робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12. За аналогією з коефіцієнтом ваго-

мості A_{fuel} для першого наближення отримано такі значення: $A_f = A_f/A_{CO} = 283,7$; $A_f/\Sigma A_k = 1,157$; $\Sigma A_k/A_f = 0,868$, а друге і третє наближення здійснюються за тими ж принципами.

7. Здійснено розрахункове оцінювання залежності значень інтегрального коефіцієнта вагомості A_f та величин A_f/A_{CO} ; $A_f/\Sigma A_k$ і $\Sigma A_k/A_f$, усереднених по всьому полю робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, від значень параметрів моторного палива і умов експлуатації ПДВЗ для всього діапазону їх зміни.

Встановлено, що значення коефіцієнта A_f змінюється у діапазоні від 1730,2 ($\sigma = 10,0$ і $f = 2,0$, $H_u = 25$ МДж/кг) до 247,9 ($\sigma = 0,5$ і $f = 0,5$, $H_u = 125$ МДж/кг), тобто у 7,0 разів. При базовому значенні коефіцієнта $\sigma = 1,0$ і величини $H_u = 42,7$ МДж/кг значення коефіцієнта A_f змінюється у функції значень критерію f у 1,1 рази; при базовому значенні коефіцієнта $f = 1,0$ і величини $H_u = 42,7$ МДж/кг у функції значень критерію σ у 2,0 рази; при базових значеннях коефіцієнтів $\sigma = 1,0$ та $f = 1,0$ у функції значень величини H_u у 1,4 рази.

10. За результатами даної наукової роботи сформульовано наступну *рекомендацію* щодо практичного їх застосування: при застосуванні математичних апаратів нечіткої логіки з психофізичними шкалами у якості основи для здійснення критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з поршневим ДВЗ, наприклад функції бажаності Харрінгтона, чи будь-яких інших альтернативних математичних апаратів, ідентичних за структурою враховуваних факторів екологічної безпеки комплексному паливно-екологічному критерію проф. І.В. Парсаданова або включаючими цей критерій повністю як окремий фактор, **слухним** є використання отриманих у даному дослідженні значень усіх варіантів коефіцієнта вагомості паливної складової комплексного паливно-екологічного критерію у будь-якому із запропонованих у цьому дослідженні наближенні.

11. Вищенаведене можливо систематизувати за допомогою логічного апарату **SWOT-аналізу**, результати застосування якого наведено у додатку Б.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Критеріальне оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок: монографія / С.О. Вамболь, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко, І.В. Міщенко. – Х.: ФОП Бровін О.В., 2018. – 320 с.
2. Сучасні способи підвищення екологічної безпеки експлуатації енергетичних установок: монографія / С.О. Вамболь, О.П. Строков, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко. – Х.: ФОП Бровін О.В., 2015. – 212 с.
3. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: монографія / І.В. Парсаданов. – Х.: Центр НТУ «ХП», 2003. – 244 с.
4. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств / А.В. Пичкалев // Исследования наукограда. – 2012. – № 1. – С. 25 – 28.
5. Оценка и контроль выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова. – М.: Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с.
6. Марков В.А. Токсичность отработавших газов дизелей / В.А. Марков, Р.М. Баширов, И.И. Гамбитов. – М.: МГТУ им. М.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
7. Двигуни внутрішнього згорання: серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологізація ДВЗ / А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, Л.Л. Товажнянський, А.Ф. Шевцов. – Х.: Прапор, 2004. – 360 с.
8. Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля / О.М. Кондратенко, О.П. Строков, С.О. Вамболь, А.М. Авраменко // Науковий вісник НГУ. – 2015. – № 6 (150). – С. 55 – 61.
9. Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arrangement of pollutants neutralization system / S. Vambol, V. Vambol, O. Kondratenko, Y. Suchikova, O. Hurenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – № 3/10 (87). – 2017. – pp. 63 – 73. – DOI: 10.15587/1729-4061.2017.104039.
10. 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>.

11. ГОСТ 33754-2016. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов автономного тягового и моторвагонного подвижного состава. Нормы и методы определения. Введ. 07.01.2017. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2017. – 73 с.

12. Лоусон Ч. Численное решение задач методом наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хенсон. – М.: Наука, 1986. – 256 с.

13. ГОСТ 10150–2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия. Введ. 01.01.2016. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2015. – 38 с

14. Теплота сгорания. Физическая энциклопедия: в. 5 т. Том 5 «Стробоскопические приборы – Яркость» / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Большая российская энциклопедия, 1999. – С. 81. – 691 с

15. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А.С. Быстров, В.В. Варанкин, М.А. Виленский. – М.: Экономика, 1986. – 96 с.

16. Дизели с воздушным охлаждением Владимирского тракторного завода / В.В. Эфрос [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 277 с.

ДОДАТОК А

Додаткові матеріали дослідження

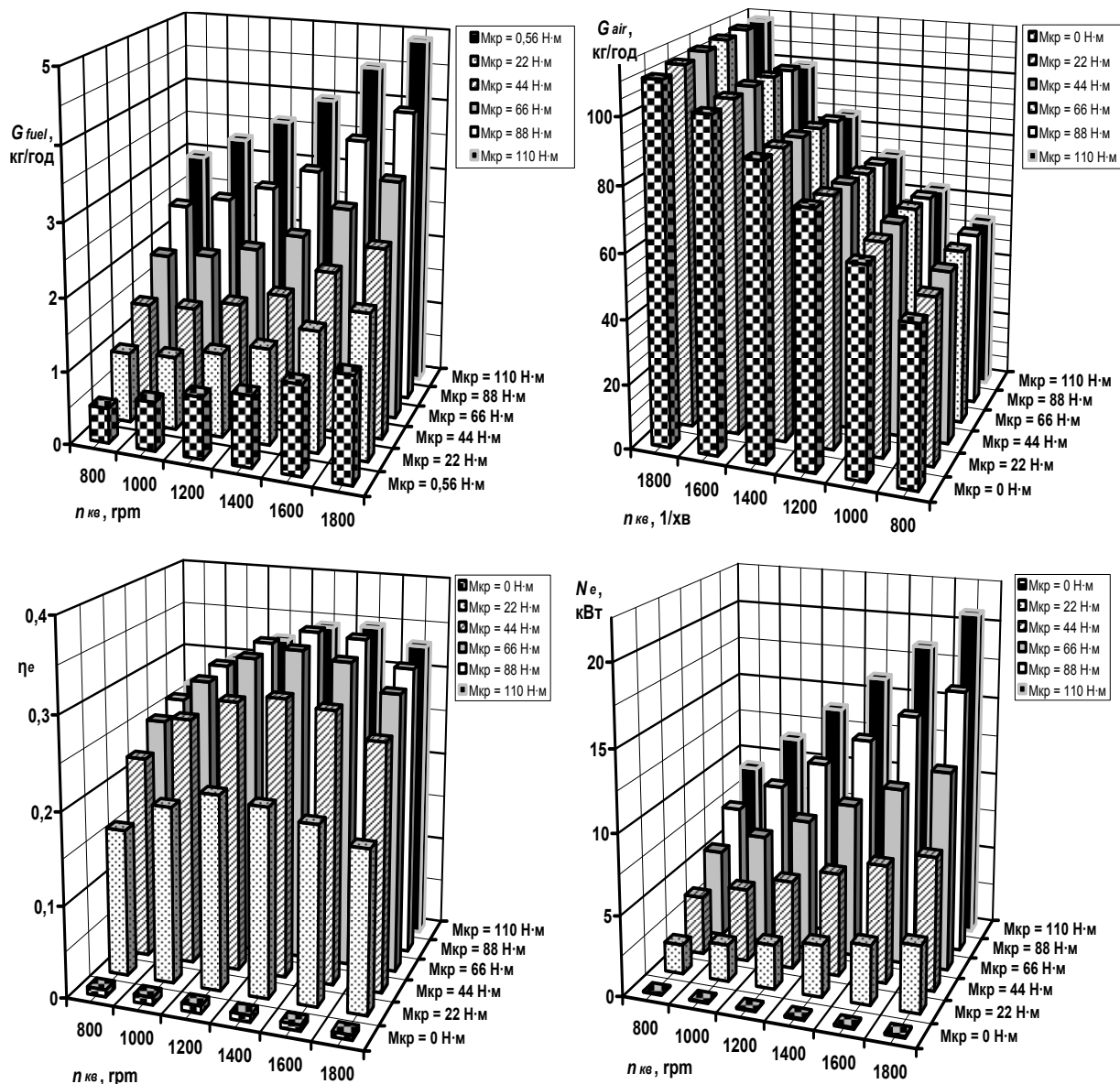


Рисунок А.1 – Гістограми розподілу значень техніко-економічних показників роботи автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 по полю його робочих режимів

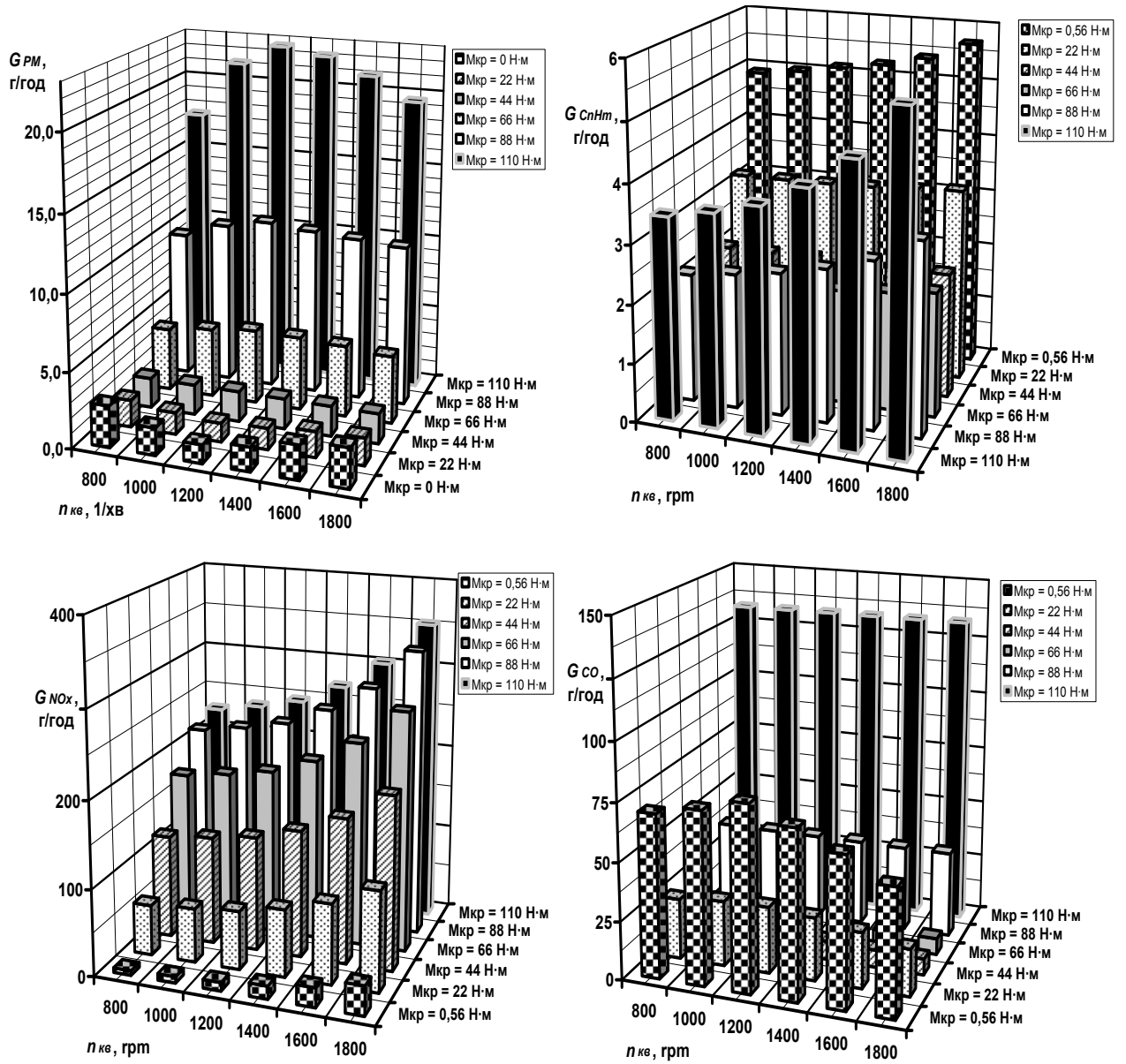


Рисунок А.2 – Гістограми розподілу значень екологічних показників роботи автотракторного дизеля 2410,5/12 по полю його робочих режимів

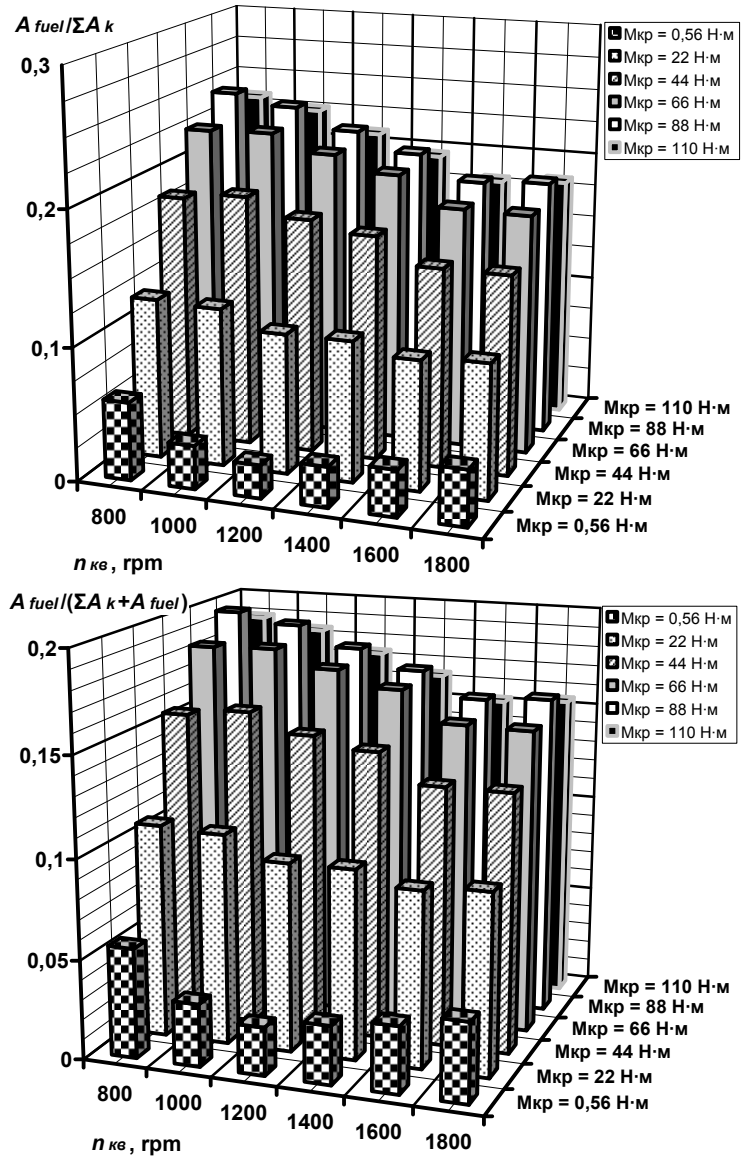


Рисунок А.3 – Гістограми розподілу порежимних значень величин $A_{fuel} / \Sigma A_k$ та $A_{fuel} / (\Sigma A_k + A_{fuel}) = A_{fuel} / A_f$ по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12

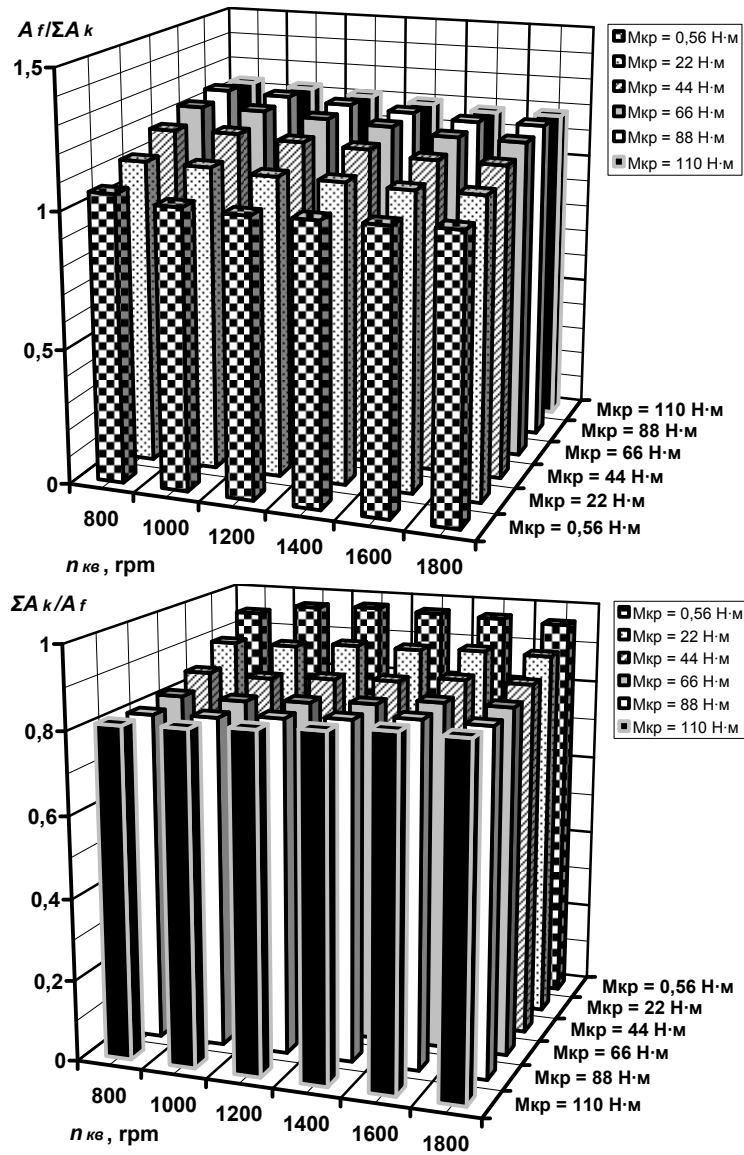


Рисунок А.4 – Гістограми розподілу порежимних значень величин $A_f/\sum A_k$, та $\sum A_k/A_f$ по полю робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12

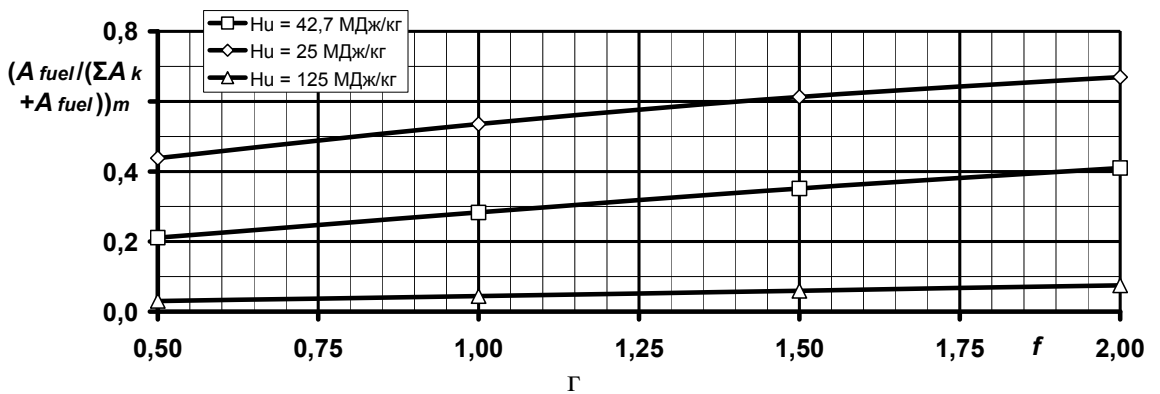
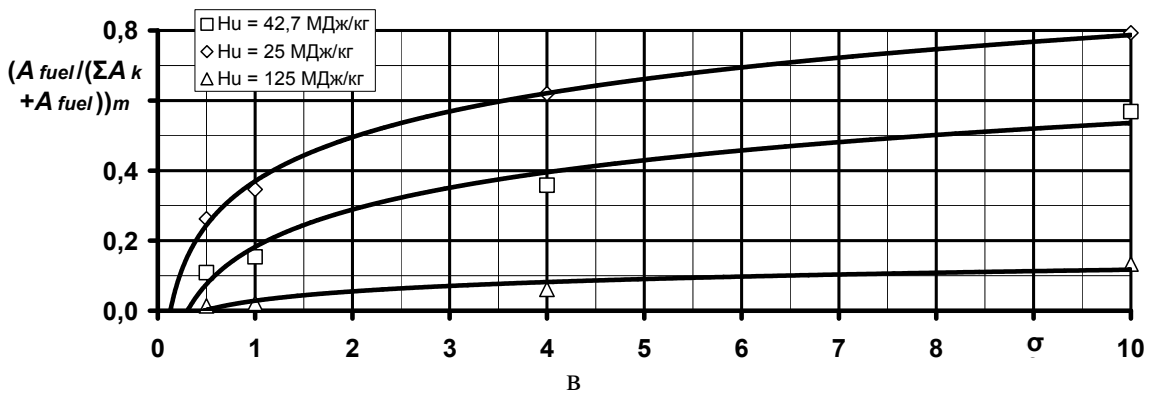
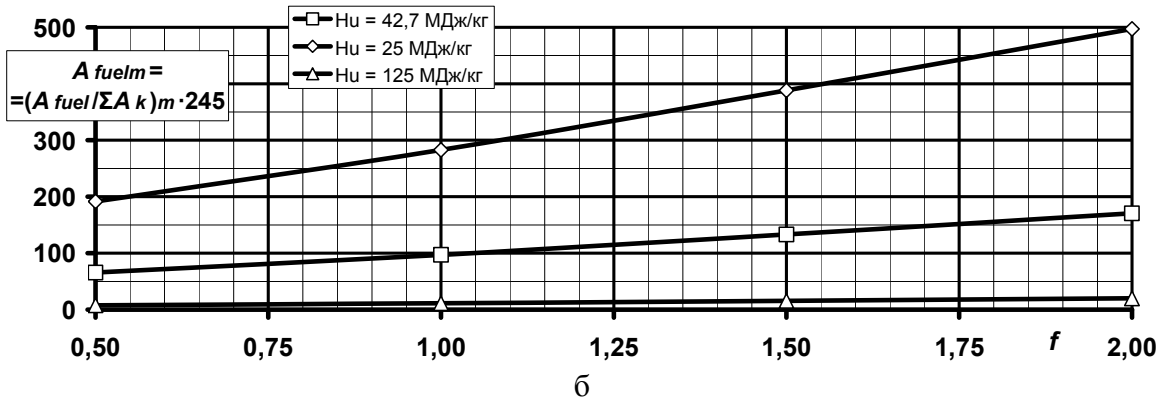
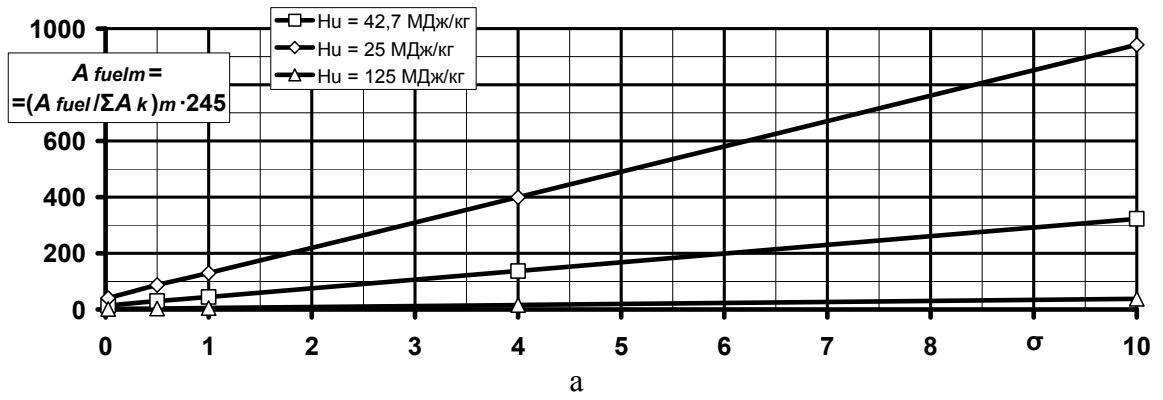


Рисунок А.5 – Графіки залежності середніх значень величини A_{fuel} і $A_{fuel} / \Sigma A_k \cdot 245,3$ (а, б) та $A_{fuel} / \Sigma (A_k + A_{fuel})$ (в, г) від значень коефіцієнтів σ (а, в) та f (б, г) для різних значень величини H_u

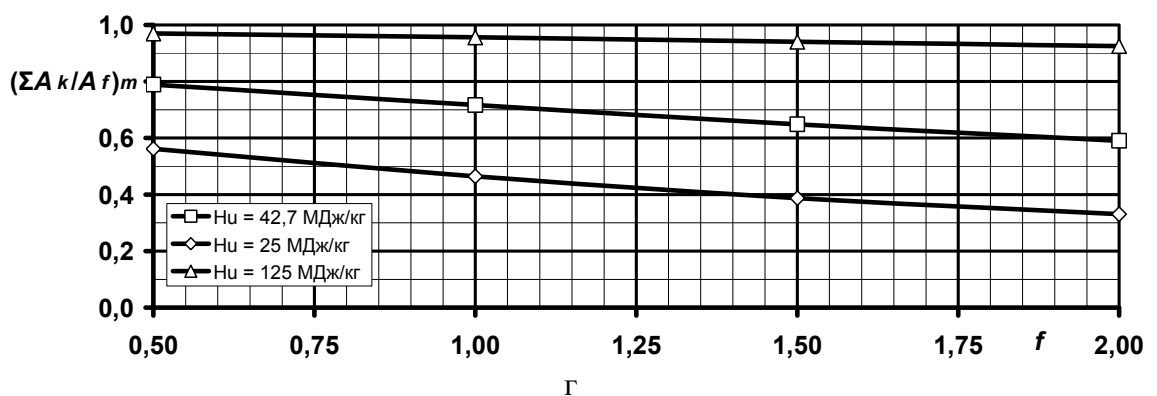
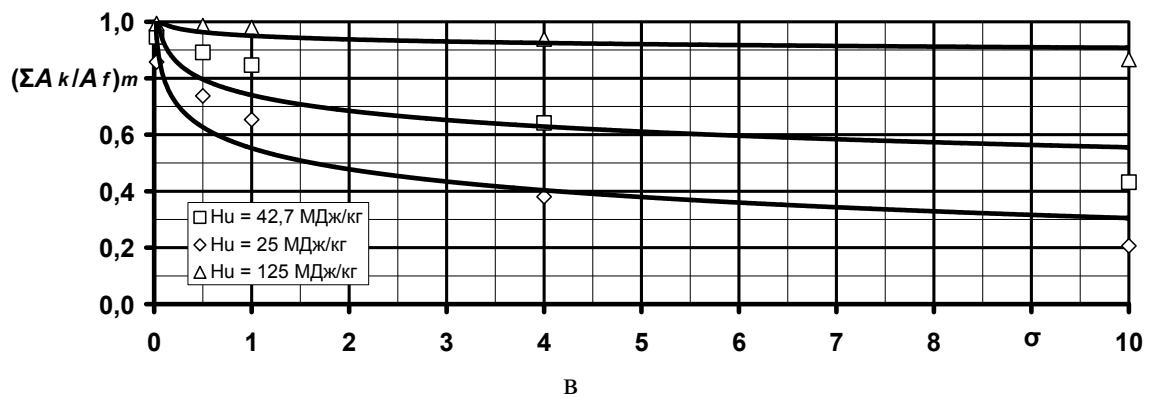
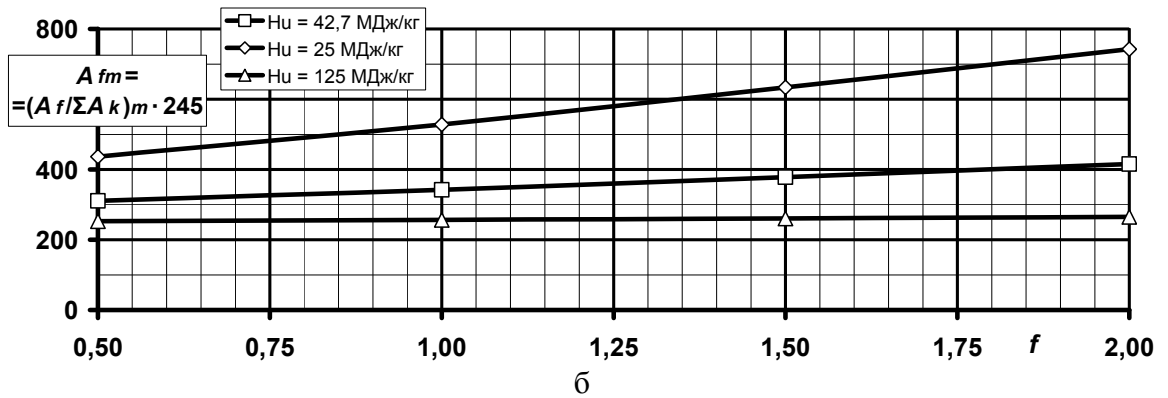
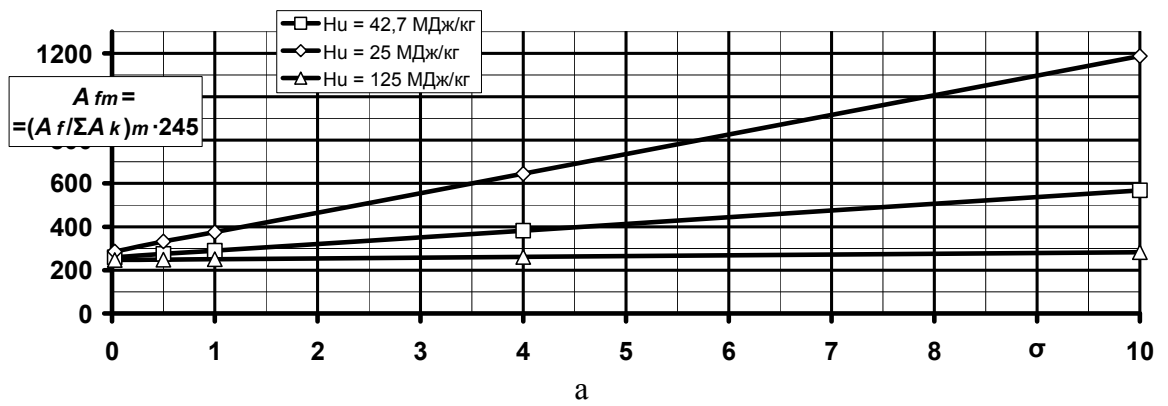


Рисунок А.6 – Графіки залежності середніх значень величини A_f і $A_f / \Sigma A_k / 245,3$ (а, б) та $\Sigma A_k / A_f$ (в, г) від значень коефіцієнтів σ (а, в) та f (б, г) для різних значень величини H_u

ДОДАТОК Б

SWOT-аналіз результатів дослідження

Переваги (*S – Strengths*). Результати дослідження, наведеного у цій роботі вирізняються наступними перевагами. Надано кількісну і якісну оцінку витратам палива ПДВЗ як фактору екологічної безпеки у порівнянні з викидами законодавчо нормованих поллютантів при критеріальному оцінюванні її рівня. Проаналізовано вплив на досліджувану величину параметрів моторного палива та умов експлуатації ПДВЗ.

Недоліки (*W – Weaknesses*). Результати цього дослідження вирізняються двома основними недоліками. Не надано обґрунтування щодо однозначного надання переваги одному з двох запропонованих і реалізованих у роботі підходів. Не враховано вплив витрат палива ПДВЗ на усі інші фактори екологічної безпеки, окрім викидів законодавчо нормованих поллютатів з потоком відпрацьованих газів.

Можливості (*O – Opportunities*). Результати дослідження відкривають наступні можливості для подальшого їх практичного застосування, а також окреслюють коло напрямків подальших досліджень, що виражається у можливості використання результатів дослідження при застосуванні критеріїв рівня екологічної безпеки вказаного процесу, що побудовані на використанні апарату нечіткої логіки та психофізичних шкал зі структурою набору впливаючих факторів, ідентичною комплексному паливно-екологічному критерію, чи використовуючи його як такий фактор, з врахуванням взаємного впливу факторів екологічної безпеки одне на одній.

Ризики (*T – Threats*). Результати, отримані у даному дослідженні, складають основу пунктів розробленого списку рекомендацій щодо практичного їх застосування, водночас є джерелом наступних ризиків. Необов'язковість здійснення та врахування результатів критеріального оцінювання взагалі та результатів даного дослідження зокрема через відсутність відповідної законодавчої основи.

Сформовано наступні *стратегії*.

SO-стратегія, спрямована на подальше посилення сильних сторін за рахунок використання можливостей. Полягає у застосуванні отриманих значень

одного із запропонованих показників вагомості витрат палива ПДВЗ, найбільш відповідного поставленій задачі, як фактора екологічної безпеки у будь-якому з отриманих наближень для здійснення критеріального оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергоустановок, ПДВЗ яких працює на різних паливах та експлуатується у різних умовах, застосовуючи математичні апарати, альтернативні комплексному паливно-екологічному.

СТ-стратегія, спрямована на усунення загроз шляхом використання сильних сторін. Передбачає доведення ступеня досконалості й універсальності математичного апарату й методики критеріального оцінювання до рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергоустановок з ПДВЗ до стану, за якого можливим буде закріплення процедури такого оцінювання на законодавчому рівні.

ВО-стратегія, спрямована на посилення поки що слабких сторін за рахунок використання можливостей. Включає в себе визначення основ для обґрунтування надання пріоритетності одному з двох запропонованих у роботі підходів до визначення вагомості витрат палива ПДВЗ як фактора екологічної безпеки як такого (перший з вказаних недоліків), а також як фактора, що чинить вплив на усі інші фактори екологічної безпеки (другий з вказаних недоліків), шляхом застосування методу експертних оцінок, тобто із залученням до діалогу провідних фахівців у цій галузі. При цьому предметом дослідження експертної групи мають виступати результати критеріального оцінювання, виконані щодо різнотипних ПДВЗ із застосуванням різних критеріальних математичних апаратів.

WT-стратегія, спрямована на посилення поки що слабких сторін шляхом уникнення загроз. Пропонується подолати невизначеності у остаточному виборі структури і фізичного змісту коефіцієнта вагомості витрат палива ПДВЗ як фактора екологічної безпеки процесу експлуатації енергоустановок з ним, пов'язані з наявністю причинно-наслідкових зв'язків між цим та усіма іншими факторами екологічної безпеки, поетапно. На першому етапі доцільно підготувати проект типової методики критеріального оцінювання, що враховує актуальну концепцію такого коефіцієнта вагомості. Після затвердження і введення в дію такого документу здійснити дослідження щодо уточнення цієї концепції із залученням експертів.