

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
Національний університет цивільного захисту України

С. О. Вамболь, В. В. Вамболь, О. М. Кондратенко, І. В. Міщенко

**КРИТЕРІАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ
БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК**

Харків 2018

УДК 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088
ББК 39.354 : 20.18
К82

Колектив авторів:

С. О. Вамболь, д.т.н., проф., **В. В. Вамболь**, д.т.н., доц.,
О. М. Кондратенко, к.т.н., **І. В. Міщенко**, к.т.н., доц.

Рецензенти:

д-р техн. наук, професор **В. М. Шмандій**,
д-р техн. наук, доцент **С. В. Воронін**,
д-р техн. наук, проф. **І. В. Парсаданов**

Затверджено на засіданні вченої ради НУЦЗ України
як монографію (протокол № 8 від 26 квітня 2018 року)

Вамболь, С. О.

К82 Критеріальне оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок [Текст] : монографія / С. О. Вамболь, В. В. Вамболь, О. М. Кондратенко, І. В. Міщенко. – Х. : НУЦЗ України, 2018. – 320 с.

ISBN

Розглянуто актуальну науково-прикладну проблему створення методологічних основ критеріального оцінювання ефективності функціонування системи управління екологічною безпекою процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок з поршнеvim двигуном внутрішнього згоряння. Розроблено математичні моделі гідравлічного опору і ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля та їх впливу на паливну економічність двигуна. Застосовано математичний апарат бета-розподілу для опису масових годинних викидів твердих частинок з потоком відпрацьованих газів дизеля. Вдосконалено математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію, отримано розподіл його значень для всього поля робочих режимів автотракторного дизеля.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, аспірантів, студентів і курсантів, які навчаються за спеціальностями «Автомобільний транспорт» і «Технології захисту навколишнього середовища».

Монографія доступна для ознайомлення у цифровому репозитарії НУЦЗУ за адресою <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>

Іл. 130 Табл. 35. Бібліогр.: 155 назв.

УДК 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088
ББК 39.354 : 20.18

ISBN

© Колектив авторів, 2018

© Національний університет цивільного захисту України, 2018

STATE EMERGENCY SERVICE of UKRAINE
National University of Civil Protection of Ukraine

S. O. Vambol, V. V. Vambol, O. M. Kondratenko, I. V. Mishchenko

**CRITERIA BASED ASSESSMENT OF LEVEL
OF ECOLOGICAL SAFETY OF PROCESS
OF EXPLOITATION OF POWER PLANTS**

Kharkiv 2018

UDC 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088
BBC 39.354 : 20.18

Team of authors:

S. O. Vambol, D.Sc.(Tech.), Professor, **V. V. Vambol**, D.Sc.(Tech.), Docent,
O. M. Kondratenko, PhD(Tech.), **I. V. Mishchenko**, Cand.Sc.(Tech.), Docent

Reviewers:

Dr.Sci. (Tech.), Professor **V. M. Shmandiy**,
Dr.Sci. (Tech.), Docent **S. V. Voronin**,
Dr.Sci. (Tech.), Professor **I. V. Parsadanov**

Approved at a session of the Academic Council of NUCP of Ukraine
as monograph (protocol № 8 on April 26, 2018)

Vambol S. O., Vambol V. V., Kondratenko O. M., Mishchenko I.V.
(2018). Criteria based assessment of level of ecological safety of
process of exploitation of power plants : Monograph [Kryterial'ne
otsinyuvannya rivnya ekolohichnoyi bezpeky protsesu ekspluatatsiyi
enerhetychnykh ustanovok : Monografija], Publ. NUCP of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine, 320 p. [in Ukrainian].

ISBN

In this monograph has been considered the actual scientific and applied problem of creating of the methodological basis of criteria based assessment of functioning efficiency of ecological safety management system of accident-free exploitation process of power plants with piston internal combustion engine. Developed the mathematical models of hydraulic resistance and operational efficiency of diesel particulate matter filter and also their influence on fuel efficiency of diesel engine. Applied the mathematical apparatus of beta-distribution for description of mass hourly emission of particulate matters with exhaust gas flow of diesel engine. Improved the mathematical apparatus of complex fuel and ecological criteria and obtained the distribution of its values on whole operational regimes area of autotractor diesel engine.

For scientists, engineers and technical employees, graduate and post graduate students and cadets who are studying in specialties «Automobile Transport» and «Environmental Protection Technology».

The monograph is available for viewing at the digital repository of NUCPU at the address <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>

Illustrations 130. Tables 35. Bibliography: 155 items.

UDC 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088
BBC 39.354 : 20.18

© Team of authors, 2018
© National University of Civil
Protection of Ukraine, 2018

ISBN

ЗМІСТ

Передмова	10
Вступ	17
Глава 1. ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ	25
Розділ 1.1. Концепція оцінки ефективності управління екологічною безпекою процесу експлуатації енергетичних установок з поршнеvim двигуном внутрішнього згорання (О.М. Кондратенко, С.О. Вамболь)	25
1.1.1. <i>Постановка проблеми</i>	25
1.1.2. <i>Аналіз літературних джерел</i>	26
1.1.3. <i>Загальна концепція створення та застосування критерію ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ</i>	27
1.1.4. <i>Ієрархічне місце критерію</i>	34
1.1.5. <i>Висновки по розділу</i>	37
Розділ 1.2. Вибір критеріального апарату для комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок (О.М. Кондратенко)	38
1.2.1. <i>Постановка проблеми</i>	38
1.2.2. <i>Аналіз літературних джерел</i>	39
1.2.3. <i>Аналіз математичних апаратів відомих критеріїв</i>	40
1.2.4. <i>Класифікація критеріальних математичних апаратів</i>	44
1.2.5. <i>Визначення пріоритетності застосування критеріїв</i>	46
1.2.6. <i>Аналіз впливу витрат палива ПДВЗ на фактори екологічної безпеки процесу експлуатації ЕУ</i>	47
1.2.7. <i>Визначення поняття «Безаварійна експлуатація ЕУ з ПДВЗ» як частини життєвого циклу</i>	52
1.2.8. <i>Концепція вдосконалення математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію</i>	53
1.2.9. <i>Наближення комплексного оцінювання показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ</i>	56
1.2.10. <i>Висновки по розділу</i>	56
Розділ 1.3. Моторний випробувальний стенд як джерело факторів небезпеки при проведенні експериментальних досліджень (С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко)	58
1.3.1. <i>Постановка проблеми</i>	58
1.3.2. <i>Аналіз літературних джерел</i>	58
1.3.3. <i>Описання складу, конструкції і технічних характеристик моторного випробувального стенду і дизеля 2Ч10,5/12</i>	59

1.3.4. Модернізована випускна система стенду і система відбору проб ВГ на токсичність і димність	65
1.3.5. Аналіз факторів небезпеки при стендових моторних дослідженнях	69
1.3.6. Описання конструкції ФТЧ	71
1.3.6. Висновки по розділу	75
Розділ 1.4. Стендові випробування автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 за стандартизованими циклами для визначення ефективності роботи фільтра твердих частинок (О.М. Кондратенко, С.О. Вамболь)	76
1.4.1. Постановка проблеми	76
1.4.2. Аналіз літературних джерел	76
1.4.3. Вдосконалена методика стендових моторних досліджень	77
1.4.4. Результати випробувань	82
1.4.5. Висновки по розділу	86
Глава 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛИВНИХ СКЛАДОВИХ КРИТЕРІЮ	87
Розділ 2.1. Математична модель гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизеля та її настроювальний коефіцієнт (О.М. Кондратенко)	87
2.1.1. Постановка проблеми	87
2.1.2. Аналіз літературних джерел	87
2.1.3. Математична модель гідравлічного опору ФТЧ дизельного ПДВЗ в реальних умовах експлуатації	90
2.1.4. Визначення настроювального коефіцієнта	90
2.1.5. Висновки по розділу	97
Розділ 2.2. Температурний коефіцієнт математичної моделі гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизеля (О.М. Кондратенко)	98
2.2.1. Постановка проблеми і аналіз літературних джерел	98
2.2.2. Визначення настроювального коефіцієнта	98
2.2.3. Висновки по розділу	108
Розділ 2.3. Компонувальний коефіцієнт математичної моделі гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизеля (О.М. Кондратенко)	109
2.3.1. Постановка проблеми і аналіз літературних джерел	109
2.3.2. Визначення компонентного коефіцієнта	109
2.3.3. Висновки по розділу	119
Розділ 2.4. Часовий коефіцієнт математичної моделі гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизеля (О.М. Кондратенко)	120
2.4.1. Постановка проблеми і аналіз літературних джерел	120
2.4.2. Визначення компонентного коефіцієнта	120
2.4.3. Висновки по розділу	126

Розділ 2.5. Розрахункове оцінювання впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизеля (О.М. Кондратенко, С.О. Вамболь)	127
2.5.1. <i>Постановка проблеми</i>	127
2.5.2. <i>Аналіз літературних джерел</i>	127
2.5.3. <i>Отримання вихідних даних</i>	128
2.5.4. <i>Математична модель впливу ГО агрегатів випускної системи ПДВЗ на його паливну економічність</i>	128
2.5.5. <i>Результати застосування розробленої математичної моделі для випадку ФТЧ і автотракторного дизеля</i>	134
2.5.6. <i>Аналіз результатів розрахункового оцінювання</i>	135
2.5.7. <i>Висновки по розділу</i>	136
Глава 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ СКЛАДОВИХ КРИТЕРІЮ	137
Розділ 3.1. Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля (О.М. Кондратенко, С.О. Вамболь)	137
3.1.1. <i>Постановка проблеми</i>	137
3.1.2. <i>Аналіз літературних джерел</i>	138
3.1.3. <i>Математична модель ефективності роботи ФТЧ</i>	141
3.1.4. <i>Вихідні дані для побудови математичної моделі</i>	142
3.1.5. <i>Аналіз показників роботи ФТЧ</i>	144
3.1.6. <i>Висновки по розділу</i>	147
Розділ 3.2. Компонувальний коефіцієнт математичної моделі ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля (С.О. Вамболь, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко)	148
3.2.1. <i>Постановка проблеми</i>	148
3.2.2. <i>Аналіз літературних джерел</i>	149
3.2.3. <i>Визначення компонентного коефіцієнта математичної моделі ефективності роботи ФТЧ дизельного ПДВЗ</i>	152
3.2.4. <i>Отримання вихідних даних</i>	152
3.2.5. <i>Аналіз результатів дослідження</i>	157
3.2.6. <i>Висновки по розділу</i>	161
Розділ 3.3. Описання бета-розподілом масових годинних викидів твердих частинок дизеля з урахуванням точності димоміра та газоаналізатора (С.О. Вамболь, В.В. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко)	162
3.3.1. <i>Постановка проблеми і аналіз літературних джерел</i>	162
3.3.2. <i>Аналіз математичного апарату та особливостей застосування формули перерахунку Парсаданова</i>	165
3.3.3. <i>Аналіз конструкції та особливостей роботи димомірів і багатокомпонентних газоаналізаторів та їх похибок вимірювання</i>	167
3.3.4. <i>Система кривих Пірсона</i>	170

3.3.5. <i>Методика визначення параметрів бета-розподілу</i>	172
3.3.6. <i>Отримання вихідних даних</i>	175
3.3.7. <i>Описання математичним апаратом системи кривих Пірсона емпіричного закону розподілу значень величини годинних масових викидів ТЧ дизелем 2Ч10,5/12 як функції паспортної точності димоміра та газоаналізатора</i>	176
3.3.8. <i>Визначення залежності параметрів бета-розподілу значень величини годинних масових викидів ТЧ дизелем 2Ч10,5/12 від кількості вихідних даних у виборці</i>	179
3.3.9. <i>Висновки по розділу</i>	196
Глава 4. РОЗРАХУНКОВЕ КРИТЕРІАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ БЕЗАВАРІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ПОРШНЕВИМ ДВЗ	198
Розділ 4.1. Отримання порежимних значень критеріїв для оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок (С.О. Вамболь, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко)	198
4.1.1. <i>Постановка проблеми</i>	198
4.1.2. <i>Аналіз літературних джерел</i>	198
4.1.3. <i>Аналіз математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію</i>	200
4.1.4. <i>Способи отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових</i>	200
4.1.5. <i>Результати розрахункового порівняльного дослідження способів отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових</i>	204
4.1.6. <i>Вибір способу отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових</i>	209
4.1.7. <i>Висновки по розділу</i>	215
Розділ 4.2. Розрахункове обґрунтування вибору одиниць вартісних еквівалентів складових комплексного паливно-екологічного критерію (С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко)	216
4.2.1. <i>Постановка проблеми</i>	216
4.2.2. <i>Аналіз літературних джерел</i>	216
4.2.3. <i>Отримання вихідних даних</i>	217
4.2.4. <i>Результати розрахункового дослідження</i>	225
4.2.5. <i>Висновки по розділу</i>	229
Розділ 4.3. Розрахункове обґрунтування складу набору вихідних даних для застосування комплексного паливно-екологічного критерію (С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко)	230

4.3.1. Постановка проблеми	230
4.3.2. Аналіз літературних джерел	230
4.3.3. Отримання вихідних даних	232
4.3.4. Результати розрахункового дослідження	232
4.3.5. Висновки по розділу	240
Розділ 4.4. Комплексне критеріальне паливно-екологічне оцінювання процесу експлуатації дизельного двигуна 2Ч10,5/12 для аварійно-рятувальних енергетичних установок за стандартизованою моделлю експлуатації (С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко)	241
4.4.1. Постановка проблеми	241
4.4.2. Аналіз літературних джерел	241
4.4.3. Модифікований математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію	242
4.4.4. Результати розрахункового дослідження	245
4.4.5. Висновки по розділу	249
Розділ 4.5. Комплексне порівняльне критеріальне паливно-екологічне оцінювання процесу експлуатації дизельного двигуна 2Ч10,5/12 за різними моделями експлуатації (С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко)	250
4.5.1. Постановка проблеми	250
4.5.2. Аналіз літературних джерел	250
4.5.3. Отримання вихідних даних	252
4.5.4. Отримання середньоексплуатаційних значень комплексного паливно-екологічного критерію для різних моделей експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ	256
4.5.5. Апроксимація значень комплексного паливно-екологічного критерію на полі робочих режимів автотракторного дизельного ПДВЗ	262
4.5.6. Модифікований математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію для отримання середньоексплуатаційних значень	268
4.5.7. Висновки по розділу	270
Висновки	271
SWOT-аналіз результатів дослідження	274
Список використаної літератури	276
Додаток А. Публікація та апробація матеріалів монографії	291
Авторський колектив	316
Видавнича сторінка	320

ПЕРЕДМОВА

Монографію присвячено питанням здійснення розрахункового критеріального оцінювання показників рівня екологічної безпеки (ЕБ) процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок (ЕУ) з поршнеvim двигуном внутрішнього згоряння (ПДВЗ).

Монографія поєднує в собі **чотири** глави, які сформували **сімнадцять** розділів.

Перша глава монографії має назву «**Загальна концепція критеріального оцінювання**» і містить **чотири** розділи.

У **розділі 1.1** монографії «*Концепція оцінки ефективності управління екологічною безпекою процесу експлуатації енергетичних установок з поршнеvim двигуном внутрішнього згоряння*» наведено загальні міркування та розроблена авторами концепція розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, зокрема автотранспортних засобів (АТЗ) і спеціальної техніки (СТ) – пожежної та аварійно-рятувальної. Вказано, що основним фактором ЕБ у процесі безаварійної експлуатації таких об'єктів є масові годинні викиди газоподібних поллютантів у потоці їх відпрацьованих газів (ВГ), зокрема твердих частинок (ТЧ). Також вказано, що основним способом забезпечення законодавчо встановлених вимог до показників такого фактора ЕБ є нейтралізація поллютантів у потоці ВГ, а основними засобами є відповідні агрегати такої системи, зокрема фільтри твердих частинок (ФТЧ) з різноманітними за конструкцією і принципами дії фільтрувальними елементами (ФЕ). Показано, що розроблена авторами монографії СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ на своєму завершальному етапі реалізації потребує критеріального математичного апарату для оцінювання ефективності її функціонування та замикання її зворотним зв'язком. Наведено основні вимоги до такого апарату. Розроблено концепцію вдосконалення математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію.

В **розділі 1.2** монографії «*Вибір критеріального апарату для комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок*» наведено результати аналізу математичного апарату і методики застосування дев'яти відомих критеріїв, що є найбільш придатними для оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ та набули практичного застосування. Результати аналізу систематизовано у вигляді відповідної класифікації. Розширено класифікацію

факторів, що характеризують рівень ЕБ досліджуваного процесу. Проаналізовано вплив витрат палива ПДВЗ на вказані фактори ЕБ. Здійснено ранжування пріоритетності таких апаратів за ознакою придатності для оцінювання рівня ЕБ досліджуваного процесу. Рекомендовано використання комплексного паливно-екологічного критерію як найбільш придатного з числа відомих для вирішення поставленого завдання оцінювання рівня ЕБ досліджуваного процесу. За результатами аналізу переваг і недоліків його математичного апарату і методики застосування визначено напрямки їх вдосконалення.

Розділ 1.3 монографії «*Моторний випробувальний стенд як джерело факторів небезпеки при проведенні експериментальних досліджень*» містить докладне описання моторного випробувального стенду (МВС), комплексу його засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та результати аналізу факторів виробничої, екологічної, пожежної та вибухової безпеки проведення експериментальних моторних досліджень на ньому. Наведено описання і технічну характеристику досліджуваного ПДВЗ, а також схему і описання модернізованих випускної системи стенду й системи відбору проб ВГ на токсичність і димність. Модернізація цих систем виконувалась для забезпечення можливості здійснення експериментальних досліджень, описаних у наступних розділах монографії.

Розділ 1.4 монографії «*Стендові випробування автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 за стандартизованими циклами для визначення ефективності роботи фільтра твердих частинок*» присвячено питанням отримання первинного набору вихідних даних для розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, як оснащеного, так і не оснащеного ФТЧ. У якості таких даних використовуватимуться результати експериментальних досліджень автотракторного дизельного ПДВЗ на МВС – випробувань за стандартизованими стаціонарними випробувальними циклами. Наведено особливості методик здійснення таких випробувань та обробки експериментальних даних, а також параметри випробувальних циклів як моделей експлуатації ПДВЗ.

Друга глава монографії носить назву «**Математичне моделювання паливних складових критерію**» та включає п'ять розділів.

Розділ 2.1 монографії «*Математична модель гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизеля та її настроювальний коефіцієнт*» описує побудовану авторами математичну модель гідравлічного опору (ГО) ФТЧ дизеля з ФЕ нової нетрадиційної модульної конструкції, розробленого і вдосконаленого за участю авторів монографії. Модель описує математичною мовою залежність значення ГО розробленого ФТЧ від

значень комплексу основних режимних і конструктивних показників ПДВЗ. Вихідними даними для побудови моделі є результати стендових моторних досліджень, а даними для верифікації моделі є результати фізичного моделювання процесу руху ВГ у проточній частині модуля ФЕ на безмоторній дослідницькій установці (БДУ) та математичного моделювання такого руху методами CFD. Узгодження результатів досліджень на МВС і БДУ в розробленій математичній моделі здійснюється введенням настроювального коефіцієнту, значення якого визначено у даному розділі монографії для двох альтернативних конструкцій ФЕ досліджуваного ФТЧ.

Розділ 2.2 монографії «*Температурний коефіцієнт математичної моделі гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизеля*» формулюють дані щодо визначення фізичного змісту та значень температурного коефіцієнту математичної моделі ГО ФТЧ, описаної у попередньому розділі монографії. За допомогою такого коефіцієнту стає можливим врахування локальної зміни температури потоку ВГ на вході у корпус ФТЧ за режимами зовнішньої швидкісної характеристики ПДВЗ. Визначення значень коефіцієнту здійснюється за результатами стендових моторних досліджень ПДВЗ.

Розділ 2.3 монографії «*Компонувальний коефіцієнт математичної моделі гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизеля*» складають результати визначення фізичного змісту та значень компонувального коефіцієнту математичної моделі ГО ФТЧ, описаної у п'ятому розділі монографії. За допомогою такого коефіцієнту стає можливим врахування глобальної зміни температури потоку ВГ на вході у корпус ФТЧ на режимі максимального крутного моменту ПДВЗ, максимальної для режимів зовнішньої швидкісної характеристики, зі зміною місця розміщення корпусу ФТЧ по довжині випускного тракту ПДВЗ, тобто компонування агрегатів його випускної системи. Визначення значень коефіцієнту здійснюється за результатами стендових моторних досліджень ПДВЗ.

У **розділі 2.4** монографії «*Часовий коефіцієнт математичної моделі гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизеля*» наведено дані щодо визначення фізичного змісту та значень часового коефіцієнту математичної моделі ГО ФТЧ, описаної у п'ятому розділі монографії. За допомогою такого коефіцієнту стає можливим врахування ступінь заповнення ФЕ відфільтрованими з потоку ВГ та накопиченими у ньому ТЧ впродовж міжрегенераційного періоду роботи ФТЧ. Визначення значень коефіцієнту здійснюється за результатами стендових моторних досліджень ПДВЗ.

В **розділі 2.5** монографії «*Розрахункове оцінювання впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизеля*» містяться дані що-

до побудованої авторами математичної моделі впливу ГО агрегатів випускної системи та системи нейтралізації поллютантів у потоці ВГ ПДВЗ на показники його паливної економічності. Розділ містить результати розрахункового оцінювання впливу ГО розробленого ФТЧ на значення годинної масової витрати моторного палива автотракторним дизельним ПДВЗ за режимами 13-ти та 8-ми режимних стандартизованих стаціонарних випробувальних циклів. При оцінюванні у якості вихідних даних використано результати застосування математичної моделі ГО ФТЧ, описаної у попередніх чотирьох розділах монографії. Результати оцінювання складають частину набору вихідних даних для розрахункового критеріального оцінювання показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Третя глава монографії називається «**Математичне моделювання екологічних складових критерію**» та налічує три розділи.

Розділ 3.1 монографії «*Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля та її компонувальний коефіцієнт*» складають дані щодо побудови математичної моделі ефективності роботи розробленого ФТЧ. Модель описує математичною мовою залежність значення коефіцієнта ефективності очищення ФТЧ потоку ВГ від ТЧ та їх складових від значень комплексу основних режимних і конструктивних показників ПДВЗ. Побудована модель за структурою подібна до математичної моделі ГО ФТЧ, описаної у п'ятому розділі монографії. Вихідними даними для побудови моделі є результати стендових моторних досліджень. Проте, на відміну від математичної моделі ГО ФТЧ, дані фізичного і математичного моделювання процесу очищення потоку ВГ від ТЧ відсутні. Тому у побудованій математичній моделі відсутні настроювальний і температурний коефіцієнти. У розділі також присутні дані щодо визначення фізичного змісту та значень компонувального коефіцієнту такої математичної моделі, який дозволяє врахувати ті самі впливаючі фактори, що й однойменний коефіцієнт математичної моделі ГО ФТЧ. Визначення значень коефіцієнту здійснюється за результатами стендових моторних досліджень ПДВЗ.

До складу **розділу 3.2** монографії «*Компонувальний коефіцієнт математичної моделі ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля*» увійшли дані щодо визначення фізичного змісту та значень часового коефіцієнту математичної моделі ефективності роботи ФТЧ, описаної у попередньому розділі монографії. Цей коефіцієнт дозволяє врахувати ті самі впливаючі фактори, що й однойменний коефіцієнт математичної моделі ГО ФТЧ. Визначення значень коефіцієнту здійснюється за результатами стендових моторних досліджень ПДВЗ.

Вміст **розділу 3.3** монографії «*Описання бета-розподілом масових годинних викидів твердих частинок дизеля з урахуванням точності димоміра та газоаналізатора*» формує інформація про застосування математичного апарату сімейства кривих Пірсона, а саме бета-щільності, для описання розподілу значень масових годинних викидів ТЧ з потоком ВГ дизельного ПДВЗ. Ці значення отримані непрямыми вимірюваннями шляхом використання відомої формули перерахунку в функції показів димоміра та багатокомпонентного газоаналізатора. Такий спосіб визначення цього фактора ЕБ обрано через недоступність комплексу ЗВТ для реалізації гравіметричного способу, рекомендованого нормативними документами. При цьому вважається, що емпіричний розподіл значень точності показів цих ЗВТ описуються законом нормального розподілу. Застосування бета-розподілу зумовлене тим, що вказані фактори чинять нелінійний вплив на значення досліджуваного фактора ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Четверта глава монографії іменується «**Розрахункове критеріальне оцінювання рівня екологічної безпеки процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок з поршнеvim ДВЗ**» і об'єднує у собі **п'ять** розділів.

У **розділі 4.1** монографії «*Отримання порежимних значень критеріїв для оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок*», як і у всіх наступних чотирьох її розділів, описано результати розрахункового дослідження, метою якого було вдосконалення математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію. Його обрано як найпридатніший для оцінювання рівня ЕБ досліджуваного процесу з числа відомих, проаналізованих у другому розділі монографії. Так, у цьому розділі викладено результати порівняльних розрахункових досліджень застосування запропонованих способів переходу від середньоексплуатаційних значень досліджуваного критерію до порежимних. На основі аналізу результатів цього дослідження здійснення ранжування запропонованих способів за ознакою значення їх методологічної похибки.

Контент **розділу 4.2** монографії «*Розрахункове обґрунтування вибору одиниць вартісних еквівалентів складових комплексного паливно-екологічного критерію*» являє собою дані про результати розрахункового обґрунтування вибору одиниць вартісних еквівалентів складових комплексного паливно-екологічного критерію. Показано, що доцільним є використання одиниць вільноконвертованої світової резервної валюти, історія існування якої повністю охоплює історію існування ПДВЗ як таких.

Дослідження показало, що різниця у значеннях вартісних еквівалентів складових критерію, виражених в порівнюваних одиницях валюти – доларах США та гривнях, може досягати десятикратного значення для поточного значення вартості одиниці ваги моторного палива та близько стократного значення при порівнянні їх значень за різні часові періоди. Запропоновано використовувати математичний апарат індексу споживчих цін для врахування прояву явища інфляції. З використанням вдосконаленого математичного апарату і методики застосування досліджуваного критерію стає можливим порівняльне оцінювання рівня ЕБ досліджуваного процесу для ЕУ з ПДВЗ різних років випуску.

У **розділі 4.3** монографії «*Розрахункове обґрунтування складу набору вихідних даних для застосування комплексного паливно-екологічного критерію*» йдеться про результати розрахункового обґрунтування складу набору вихідних даних для розрахункового оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ за допомогою комплексного паливно-екологічного критерію. Показано, що при такому оцінюванні слід використовувати виключно повний набір вихідних даних щодо значень фізичних величин, що їх містить у своїй структурі математичний апарат цього критерію. Встановлено, що неповнота набору вихідних даних зумовлює методичну похибку від декількох сотих відсотка до 425 % і нерівномірно розподіляється по режимах 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу як моделі експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ, що також зумовлює невизначеність термінологічного характеру. Визначено значення відповідної методичної похибки, які слід враховувати при використанні у стендових моторних дослідженнях комплексу засобів вимірювальної техніки, що не можуть надати повного набору вихідних даних.

Розділ 4.4 монографії «*Комплексне критеріальне паливно-екологічне оцінювання процесу експлуатації дизельного двигуна 2Ч10,5/12 для аварійно-рятувальних енергетичних установок за стандартизованою моделлю експлуатації*» представляє собою описання і аналіз результатів комплексного критеріального оцінювання паливно-екологічної ефективності процесу експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ для аварійно-рятувальних енергетичних установок. При цьому застосовано вдосконалені авторами математичний апарат і методика використання комплексного паливно-екологічного критерію, та набір вихідних даних, отриманих за участю авторів в ході стендових моторних досліджень та за розробленими авторами математичними моделями.

Дані у **розділі 4.5** монографії «*Комплексне порівняльне критеріальне паливно-екологічне оцінювання процесу експлуатації дизельного двигуна 2Ч10,5/12 за різними моделями експлуатації*», завершальний у

її структурі, описуються результати отримання значення комплексного паливно-екологічного критерію, його складових та набору вихідних даних для їх розрахунку для всього поля робочих режимів автотракторного дизельного ПДВЗ розрахунковим шляхом та апроксимацією методом найменших квадратів. Отримано середньоексплуатаційні та порежимні значення критерію та його складових для обраних моделей експлуатації, що відповідають дизельним ПДВЗ автотракторного призначення. Запропоновано модифікацію математичного апарату цього критерію для оцінювання його середньоексплуатаційних значень для довільної моделі експлуатації з використанням результатів апроксимації значень критерію та його складових на всьому полі робочих режимів ПДВЗ. Намічено напрямки подальших розрахункових і експериментальних досліджень.

За результатами досліджень, що описані у монографії, формовано перелік рекомендацій щодо забезпечення необхідного рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Виконано SWOT-аналіз результатів досліджень.

Намічено напрямки подальших досліджень.

Монографія стане в нагоді науковим та інженерно-технічним працівникам, аспірантам, студентам і курсантам, які навчаються за спеціальностями «Автомобільний транспорт», «Двигуни внутрішнього згоряння», «Екологія» і «Технології захисту навколишнього середовища».

ВСТУП

Актуальність дослідження. Як вказано у передмові, монографію присвячено питанням здійснення розрахункового комплексного критеріального оцінювання показників рівня екологічної безпеки (ЕБ) процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок (ЕУ) з поршнеvim двигуном внутрішнього згоряння (ПДВЗ), зокрема токсичності відпрацьованих газів (ВГ) та витрати моторного палива.

Здійснення такого оцінювання на основі запропонованих авторами нових підходів та використання вдосконалених існуючих математичних апаратів й методик їх використання дозволяє вирішити одразу декілька актуальних і важливих науково-практичних задач.

По-перше, можливим є порівняння результатів оцінювання поточного рівня ЕБ досліджуваного процесу для одиниць ЕУ з ПДВЗ, що перебувають в експлуатації, а також нових і перспективних одиниць й законодавчо встановлених вимог до таких показників та описання таким чином актуального рівня ЕБ функціонування для окремо взятої сукупності таких об'єктів (парку, підприємства, житлового масиву з паркуваннями та гаражними комплексами, транспортної розв'язки тощо).

По-друге, можливим є порівняння результатів оцінювання для різнотипних одиниць ЕУ, однотипних одиниць різних моделей та виробників та описання таким чином поточної ситуації на первинному й вторинному ринку таких об'єктів й здійснення моніторингу конкурентної боротьби виробників таких об'єктів.

По-третє, можливим є порівняння результатів оцінювання для одиниць ЕУ одних і тих же моделей різних дат виготовлення та описання таким чином динаміки зміни показників рівня ЕБ впродовж процесу експлуатації як частини їх життєвого циклу з урахуванням особливостей відповідних моделей експлуатації.

По-четверте, можливим є порівняння результатів оцінювання для одиниць ЕУ одних і тих же моделей до та після розробки і впровадження заходів щодо модернізації їх конструкції, в першу чергу направлених на підвищення рівня ЕБ процесу їх експлуатації, та описання таким чином ефективності функціонування відповідної системи управління екологічною безпекою (СУЕБ).

Вищенаведені напрямки застосування результатів критеріального оцінювання зумовлюють і обґрунтовують актуальність досліджень з такої тематики як у локальному масштабі, тобто його результати будуть корисними для двигунобудівної та автомобілебудівної галузей, так і у глобальному масштабі, тобто такі результати сприятимуть значному поліпшенню екологічного стану урбаністичних систем будь-яких розмірів.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дане наукове дослідження відображає основні результати виконання двох Наукових робіт молодих учених, що виконуються за рахунок коштів загального фонду державного бюджету України, Бердянського державного педагогічного університету *«Наноструктуровані напівпровідники для енергоефективних екологічно безпечних технологій, що підвищують рівень енергозбереження та екологічної безпеки урбосистеми»* (ДР № 0116U006 961, 2016 – 2018 рр.) та *«Розробка технології оцінювання показників якості та безпеки продуктів нанотехнологій протягом життєвого циклу»* (ДР № 0117U 003860, 2017 – 2018 рр.), співвиконавцями яких є автори монографії. Дослідження також відображає основні результати завершеної НДР кафедри прикладної механіки НУЦЗУ *«Теоретичні дослідження і розробка пристроїв для підвищення безпеки експлуатації енергетичних установок на базі дизельних двигунів»* (ДР № 0115U002040 2015 – 2016рр.), виконуваної НДР *«Методологічне забезпечення критеріального оцінювання ефективності функціонування системи управління екологічною безпекою процесу експлуатації енергетичних установок аварійно-рятувальної техніки»* (ДР № 0117U002002, 2017–2018 рр.).

Методами дослідження є аналіз науково-технічної літератури; синтез систем управління екологічною безпекою; принципи системного підходу, багаторівневої декомпозиції, аналізу ієрархічних структур, десятичного поділу; методики аналізу даних моторних стендових випробувань, розрахунку середньоексплуатаційних значень техніко-економічних і екологічних показників роботи ПДВЗ за стандартизованими стаціонарними випробувальними циклами; математична модель гідравлічного опору ФТЧ; математична модель ефективності роботи ФТЧ; методика розрахункової оцінки впливу гідравлічного опору елементів випускної системи ПДВЗ на його паливну економічність; модернізована методика застосування комплексного паливно-екологічного критерію; метод найменших квадратів; методика застосування індексу споживчих цін.

Метою даного дослідження є здійснення комплексного розрахункового критеріального оцінювання показників рівня екологічної безпеки процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок з поршнеvim ДВЗ з використанням вдосконалених математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію.

Об'єктом даного дослідження є показники рівня екологічної безпеки процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок з поршнеvim ДВЗ.

Предметом даного дослідження є вплив конструктивних особливостей та особливостей моделі експлуатації поршневих ДВЗ на об'єкт дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні пункти.

1. Створення загальної концепції комплексного критеріального розрахункового оцінювання показників рівня екологічної безпеки процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок з поршнеvim ДВЗ.

2. Вибір математичного апарату та методики його застосування на основі аналізу найбільш придатних для такого оцінювання з числа існуючих і широко використовуваних. Створення концепції вдосконалення математичного апарату обраного критерію.

3. Отримання первинного набору вихідних даних для досягнення мети дослідження шляхом експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді з автотракторним дизельним ПДВЗ, обладнаним ФТЧ, та модернізованою випускною системою та системою відбору проб ВГ на токсичність і димність. Аналіз конструкції та складу моторного стенду, дизеля, модернізованих систем. Виявлення аспектів техногенно-екологічної безпеки здійснення стендових моторних експериментальних досліджень.

4. Створення математичної моделі гідравлічного опору ФТЧ на основі аналізу даних стендових моторних досліджень та отримання з її застосуванням частини набору вихідних даних для досягнення мети дослідження.

5. Створення математичної моделі ефективності роботи ФТЧ на основі аналізу даних стендових моторних досліджень та отримання з її застосуванням частини набору вихідних даних для досягнення мети дослідження.

6. Створення математичної моделі впливу гідравлічного опору елементів випускної системи ПДВЗ на його паливну економічність на основі основних положень наукової дисципліни «Теорія ДВЗ» та отримання з її застосуванням частини набору вихідних даних для досягнення мети дослідження.

7. Створення методики розрахункового оцінювання параметрів бета-щільності для описання розподілу значень масових годинних викидів ТЧ з потоком ВГ, отриманих шляхом використання відомої формули перерахунку в функції показів димоміра й газоаналізатора з урахуванням їх інструментальної похибки та зменшення завдяки цьому методичної похибки отримання частини набору вихідних даних для досягнення мети дослідження.

8. Вдосконалення математичного апарату й методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію для забезпечення можливості здійснювати розрахункове дослідження для окремих режимів моделі експлуатації, виражати вартісні еквіваленти складових критерію в уніфікованих одиницях й використання якомога більш повного набору вихід-

них даних та зменшення завдяки цьому методичної похибки при досягненні мети дослідження.

9. Здійснення комплексного розрахункового критеріального оцінювання показників рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ з використанням вдосконалених авторами математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію та набору вихідних даних, отриманих за результатами стендових моторних дослідженнях та застосування розроблених авторами математичних моделей, на прикладі автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та розробленого за участю авторів ФТЧ. Отримання розподілів значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових та набору вихідних даних для його розрахунку. Здійснення порівняльного дослідження середньо-експлуатаційних значень критерію для різних моделей експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ.

10. Виконання SWOT-аналізу результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому.

1. Набули подальшого розвитку методологічні основи створення системи управління екологічною безпекою процесу безаварійної експлуатації енергетичних установок з поршнеvim двигуном внутрішнього згоряння у частині критеріального оцінювання її ефективності функціонування і замикання її зворотним зв'язком.

2. Вперше розроблено математичну модель гідравлічного опору фільтра твердих частинок дизельного поршневого двигуна внутрішнього згоряння, що враховує основні режимні й конструктивні особливості двигуна та фільтра, на основі даних стендових моторних досліджень.

3. Вперше розроблено математичну модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизельного поршневого двигуна внутрішнього згоряння, що враховує основні режимні і конструктивні особливості двигуна та фільтра, на основі даних стендових моторних досліджень.

4. Вперше розроблено математичну модель впливу гідравлічного опору елементів випускного тракту та системи нейтралізації нормованих поллютантів у відпрацьованих газах поршневого двигуна внутрішнього згоряння на паливну економічність двигуна на основі даних стендових моторних досліджень та положень теорії ДВЗ.

5. Вперше розроблено методику описання закону розподілу значень годинного масового викиду твердих частинок з потоком відпрацьованих газів дизельного поршневого двигуна внутрішнього згоряння, отриманих з використанням формули перерахунку проф. І.В. Парсаданова, з урахуванням інструментальної похибки визначення показників токсичності й димності відпрацьованих газів.

6. Вдосконалено математичний апарат і методику застосування

комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова у частині вибору раціональних одиниць вираження вартісних еквівалентів його складових, раціонального складу набору вихідних даних, раціональних способів отримання порежимних та середньоексплуатаційних значень критерію і його складових.

Практична цінність отриманих результатів полягає у такому.

1. Розроблена концепція критеріального оцінювання ефективності функціонування СУЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ придатна для створення відповідного їй універсального критеріального математичного апарату для індивідуального та порівняльного розрахункового оцінювання показників рівня ЕБ вказаного процесу на основі аналізу існуючих критеріальних апаратів.

2. Вдосконалені випускна система і система відбору проб ВГ на токсичність й димність моторного випробувального стенду, а також вдосконалена методика здійснення експериментальних досліджень за стандартизованими стаціонарними випробувальними циклами на ньому придатні для здійснення таких експериментальних досліджень для поршневого ДВЗ, обладнаного різнотипними пристроями системи нейтралізації полютантів у потоці ВГ.

3. Розроблена математична модель ГО ФТЧ придатна для прогнозування значень ГО будь-яких елементів системи нейтралізації полютантів у потоці ВГ, якими обладнано випускні системи ПДВЗ будь-яких типів, та побудови програм стендових моторних випробувань для отримання необхідних для прогнозування вихідних даних.

4. Розроблена математична модель ефективності роботи ФТЧ придатна для прогнозування значень ефективності очищення потоку ВГ від ТЧ за допомогою ФТЧ різноманітних конструкцій, якими обладнано випускні системи дизельних ПДВЗ, та побудови програм стендових моторних випробувань за стаціонарними випробувальними циклами для отримання необхідних для прогнозування вихідних даних.

5. Розроблена математична модель впливу ГО елементів випускного тракту та системи нейтралізації нормованих полютантів у ВГ ПДВЗ на його паливну економічність придатна для здійснення такого прогнозування величини грошових витрат на забезпечення виконання законодавчо встановлених норм токсичності ВГ впродовж міжрегенераційного періоду роботи вказаних елементів.

6. Розроблена методика описання закону розподілу значень годинного масового викиду ТЧ з потоком ВГ дизельного ПДВЗ придатна для оцінювання значень відповідної складової методичної похибки, спричиненої вибором формули перерахунку з числа відомих, одиниць вимірювання показників токсичності й димності ВГ та інструментальної похибки

засобів вимірювальної техніки та закону їх розподілу; а також вибору раціональної кількості повторних вимірювань на стаціонарному режимі роботи ПДВЗ при стендових моторних дослідженнях.

7. Вдосконалений математичний апарат і методика застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова придатний для індивідуального та порівняльного оцінювання: рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, ефективності функціонування відповідної СУЕБ, ефективності модернізації ПДВЗ; вибору раціональних: щільності розрахункової сітки при розрахункових дослідженнях та координат поля робочих режимів ПДВЗ при стендових моторних дослідженнях, структури та виду моделі експлуатації ЕУ, моделі й типу ПДВЗ для ЕУ з числа висунутих на тендер тощо.

8. Результати розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 за допомогою вдосконаленого математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію та його складових і набору вихідних даних для його розрахунку для всього поля робочих режимів дизеля придатні для здійснення порівняльних розрахункових досліджень широкого спектру тематик.

9. Отримані методики розрахункового оцінювання та розподіли значень усіх складових методичної похибки розрахункового критеріального паливно-екологічного оцінювання, зумовлені напрямками вдосконалення математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова, а також похибки визначення масового викиду ТЧ з потоком ВГ за формулою перерахунку, спричиненої інструментальними похибками засобів вимірювальної техніки моторного випробувального стенду, придатні для створення на їх основі методики комплексного покращення точності експериментального і розрахункового отримання значень показників рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

10. Комплекс з отриманих результатів придатний для побудови нового математичного критеріального апарату для розрахункового оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ із врахуванням усього спектра факторів ЕБ такого процесу, факторів їх вагомості та нормативно встановлених вимог до їх значень.

Результати досліджень, що увійшли до монографії знайшли наступного **впровадження**:

– в науково-дослідній роботі та навчальному процесі (при підготовці аспіранта за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки) відділу водневої енергетики Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України (м. Харків) (довідка про використання);

– у практиці науково-прикладної діяльності управління з модерніза-

ції та ремонту вертолітної техніки АТ «МОТОР СІЧ» (м. Запоріжжя) (акт про впровадження);

– у практиці виробничої діяльності авто-тракторного парку ПрАТ «Зміївська овочева фабрика» (м. Зміїв) (довідка про використання);

– навчальний процес кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України (м. Харків) (при підготовці бакалаврів і магістрів за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища» та ад'юнкта за спец. 21.06.01 – екологічна безпека) (чотири акти про впровадження).

Матеріали дослідження опубліковано у 120 працях, а саме: 3 монографіях (з яких 1 іноземною мовою, 1 видана у країні Європейської Співдружності – Республіці Польщі), 29 статтях (з яких 9 у закордонних виданнях (Російська Федерація, Республіка Білорусь, Республіка Казахстан), 6 іноземною мовою, 2 індексованих у наукометричній базі Scopus, 1 у електронному виданні), 2 звітах про НДР, тезах 75 доповідей (з яких 10 у матеріалах закордонних конференцій, 18 іноземною мовою, 56 у матеріалах міжнародних конференцій, 9 у електронних виданнях), 11 конкурсних наукових робіт студентів та курсантів, 6 з яких посіли призові місця на всеукраїнських та міжнародних конкурсах (див. додаток А).

Матеріали дослідження пройшли апробацію на 53 науково-технічних, науково-практичних і науково-методичних конференціях, 8 підсумкових конференціях конкурсів студентських наукових робіт та 3 конгресах, а саме: 15 закордонних (Російська Федерація, Республіка Білорусь, Республіка Казахстан), 41 міжнародного рівня і 18 загальнодержавного рівня (див. додаток А).

За результатами здійснених досліджень підготовлено 11 наукових робіт членів науково-технічного товариства курсантів та студентів (НТТКіС) кафедри прикладної механіки НУЦЗУ, з яких: 9 для участі у Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук та 2 для участі у Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт. Серед них: 11 робіт перемогли у I турі та 4 роботи посіли призові місця у II турі Всеукраїнського конкурсу; 2 роботи посіли призові місця у Міжнародному конкурсі (див. додаток А).

За результатами здійснених досліджень троє членів НТТКіС кафедри прикладної механіки НУЦЗУ висунуто на здобуття й удостоєно іменних стипендій: курсант Єжелей О.В. (2015 р.), курсант Поліканова О.В. (2017 р.) – Стипендія ім. О.С. Масельського, курсант Ачкасова М.А. (2017 р.) – Стипендія Харківського міського голови «Обдарованість».

Структура та обсяг роботи. Монографія викладена на 320 стор. основного тексту, містить передмову, вступ, чотири глави, 17 розділів, загальні висновки, список з 155 використаних джерел на 15 стор., один

додаток на 25 стор., відомості про авторів на 2 стор. У тексті монографії присутні 130 рисунків, 35 таблиць, 229 формул.

Слова вдячності. Авторський колектив висловлює вдячність за консультативну й практичну допомогу в отриманні наукових даних, що лягли в основу дослідження, яке відображене у цій монографії, наступним персоналіям: д. т. н., професору *В. М. Шмандію* (Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського), д. т. н., професору *І. В. Парсаданову* (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»), д. т. н., професору *О. П. Строкову* (Запорізький класичний приватний університет), к. т. н., с. н. с. *А. М. Левтєрову* (Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України).

Структура даного дослідження, що також являє собою його алгоритм, представлена на рис. В.1.

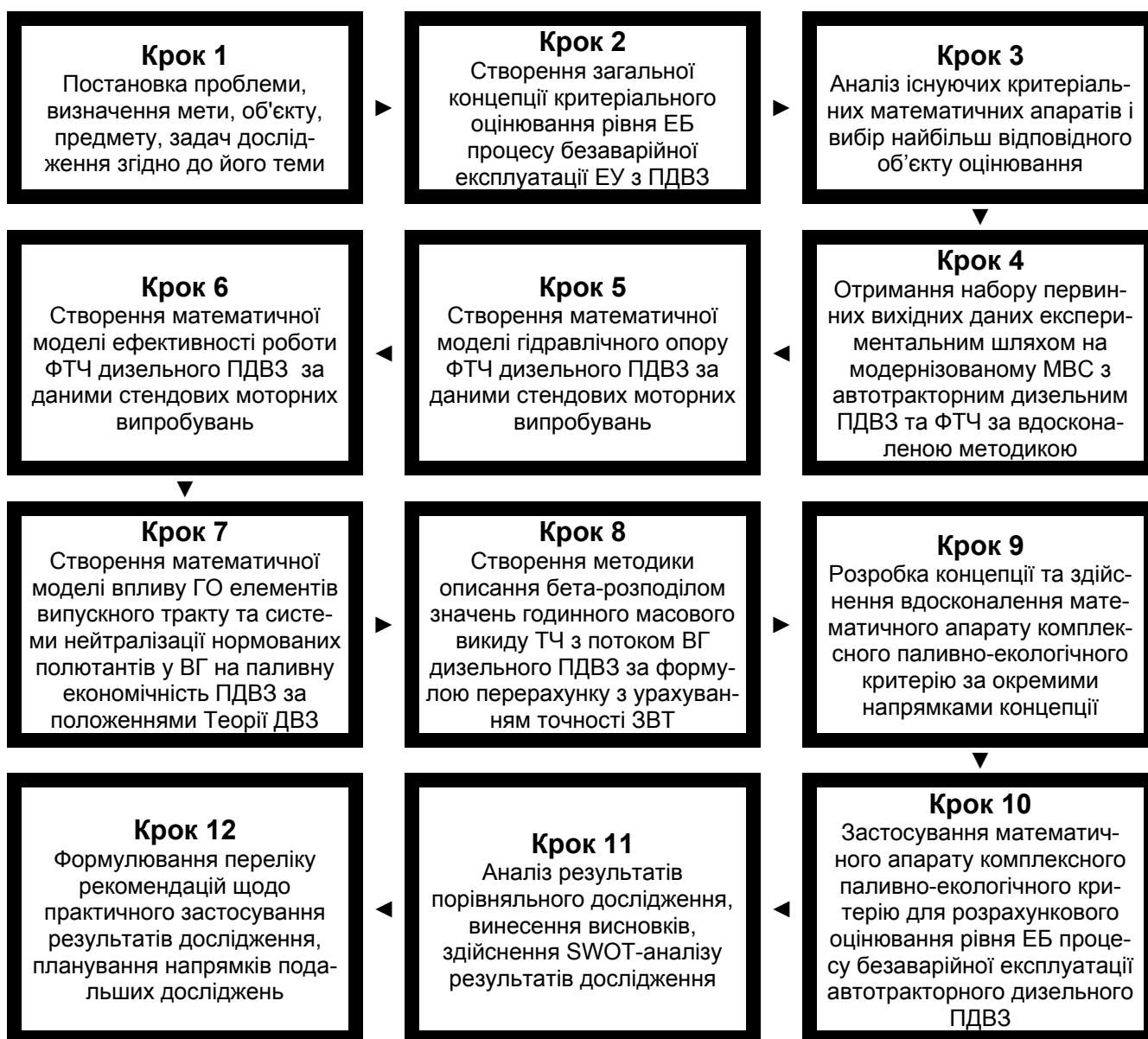


Рис. В.1 – Структура дослідження

Глава 1. ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Розділ 1.1. КОНЦЕПЦІЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ПОРШНЕВИМ ДВЗ

1.1.1. Постановка проблеми

Процес експлуатації енергетичної установки (ЕУ), джерелом механічної енергії в якій є поршневий двигун внутрішнього згоряння (ПДВЗ), являє собою лише частину життєвого циклу такого об'єкта. Однак, саме ця частина, і тільки вона, представляє практичний інтерес для кінцевого споживача, оскільки тільки в протягом її ЕУ та її ПДВЗ виконують покладені на них функції – продукує корисну роботу, приносить дохід і т.д.

Перебіг і особливості етапів життєвого циклу, що передують експлуатації – розробки, випробувань, доведення і виробництва – практичного інтересу для споживача собою не являють, а тільки лише їх результати – технічні характеристики нових, які не були в експлуатації, ЕУ й ПДВЗ, а також їх вартість.

Саме по співвідношенню цих показників з показниками інших, конкуруючих, пропозицій на ринку споживач і віддає свою перевагу при виборі необхідного для нього обладнання. Забезпечення конкурентоспроможних значень показників роботи ПДВЗ для ЕУ, перелік яких утворює технічну характеристику, та їх вартості – завдання фахівців в галузі двигунобудування.

Перебіг і особливості етапів життєвого циклу, що слідує за експлуатацією, тобто після досягнення ЕУ з ПДВЗ граничного технічного стану – утилізація, знешкодження та захоронення – практичного інтересу для споживача не представляють абсолютно ніякого. Тільки законодавчий примус за заохочення власника таких об'єктів, що вичерпали свій ресурс і являють собою в зв'язку з цим джерело безсумнівної й істотної екологічної небезпеки для навколишнього природного середовища (НПС) та урбосистем; до забезпечення комплексу заходів з їх переробки і постійний контроль за виконанням таких заходів, є дієвими організаційними способами підвищення рівня екологічної безпеки (ЕБ) стану НПС і функціонування урбосистем. Забезпечення законодавчо встановлених показників цих етапів життєвого циклу ЕУ з ПДВЗ – завдання фахівців в області екологічної безпеки.

Забезпечення певного рівня ЕБ компонентів НПС та урбосистем, джерелом небезпеки в яких є об'єкти техносфери, має базуватися на від-

повідному методологічному забезпеченні. Для кількісної оцінки ефективності застосування заходів щодо забезпечення ЕБ урбосистем з урахуванням техногенного навантаження на них потрібні відповідні критерії. Також за допомогою таких критеріїв представляється можливим порівнювати конкуруючі розробки та окремі технічні рішення для однієї розробки.

Таким чином, розробка критеріїв ефективності функціонування системи управління екологічною безпекою (СУЕБ) процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, що характеризуються як можна більшою універсальністю і враховують в зв'язку з цим якомога більше факторів екологічної небезпеки, є актуальним завданням, що вирізняється науковою новизною.

Метою даного дослідження є створення загальної концепції розробки критерію ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, що характеризується якомога більшою універсальністю.

Об'єктом даного дослідження є ефективність функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Предметом даного дослідження є концептуальні засади критерію, що характеризує об'єкт дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні:

- аналіз СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ;
- формулювання загальної концепції критеріального оцінювання ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ;
- формулювання загальних вимог до математичного апарату та методики його застосування критерію для оцінювання ефективності функціонування вказаної СУЕБ;
- визначення ієрархічного місця такого критерію у структурі життєвого циклу ЕУ з ПДВЗ, самої ЕУ та СУЕБ.

1.1.2. Аналіз літературних джерел

В роботі [1] на основі системного підходу, принципу багаторівневої декомпозиції та теорії ієрархічних структур створена СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ. Розроблена СУЕБ методологічно і структурно подібна СУЕБ, що використовує багатофазні дисперсні структури з роботи [2], СУЕБ процесу утилізації твердих вуглецевовмісних побутових і виробничих відходів з роботи [3], методології процесу утилізації деталей авіаційної техніки з роботи [4].

В роботі [5] запропоновано комплексний паливо-екологічний критерій для оцінки якості й конкурентоспроможності дизелів, наведено методику його розрахунку та результати застосування для різних моделей експлуатації дизеля, який знайшов широке застосування в роботах інших дослідників.

Необхідність зміни загальних підходів до якісної і кількісної ідентифікації складу відпрацьованих газів ПДВЗ як джерел екологічної небезпеки, зокрема введенням поняття супертоксикантов, описана і обґрунтована в роботі [6]. Понятійний апарат областей наукового знання «Цивільний захист», «Екологічна та техногенна безпека» розкритий в роботі [7].

1.1.3. Загальна концепція створення та застосування критерію ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ

Розроблена авторами дослідження [1] СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ складається з чотирьох послідовно здійснюваних функціонально завершених етапів, кожен з яких розбитий на два рівня, що слідує один за іншим.

У цій роботі наведені підходи та деякі варіанти вирішення завдань Етапу 1 «Вихідні дані для створення СУЕБ» та Етапу 2 «Вдосконалені й нові технології для забезпечення ЕБ, які використовуються СУЕБ».

Так, запропоновані класифікація чинників екологічної небезпеки, джерелом яких є ПДВЗ, класифікації способів і засобів очищення потоку відпрацьованих газів (ВГ) дизелів від твердих частинок (ТЧ) й регенерації фільтрів твердих частинок (ФТЧ). При цьому також застосовані системний підхід, принцип багаторівневої декомпозиції та теорія ієрархічних структур, а також принцип десяткового розподілу.

В даному дослідженні приведена загальна концепція вирішення завдань Етапу 4 такої СУЕБ – «Результати використання СУЕБ», зокрема Рівня 8 «Система моніторингу та контролю рівня ЕБ», завершального в структурі СУЕБ, який замикає її зворотним зв'язком шляхом застосування моніторингу показників ЕБ і контролю ефективності роботи самої СУЕБ.

Вирішення такого завдання пропонується шляхом розробки критерію ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, що характеризується якомога більшою універсальністю.

Функція всієї СУЕБ і розглянутого в даному дослідженні її Рівня 8, можуть бути описані наступними вербально-логічними формулами [1]:

$$F_j \{N\} = [A, B, C] = F \{ \text{система забезпечення ЕБ} \} = [\text{показники ЕБ (A) технологічного процесу вилучення та обробки відходів і полютантів, а також зниження впливу шкідливих факторів, джерелом яких є ПДВЗ у складі ЕУ (B), по раціональним організаційно-технічним параметрам шляхом застосування нових чи вдосконалення існуючих технологій забезпечення ЕБ (C)}]; \quad (1.1.1)$$

F^8 {Система моніторинга рівня ЕБ і контролю роботи СУЕБ} = [моніторинг і контроль рівня показників ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ (А) в процесі функціонування відповідної СУЕБ (В), при раціональних організаційно-технічних параметрах з використанням нових чи вдосконалених існуючих технологій забезпечення ЕБ (С)], (1.1.2)

де А – дія системи (компонента), яка призводить до необхідного результату; В – найменування об'єкта, на який спрямована дія системи;

С – формулювання особливих умов і обмежень, при яких виконується дія системи (компонента); *i* – номер рівня СУЕБ; *j* – номер структурного елемента рівня СУЕБ; *N* – найменування структурного елемента СУЕБ.

Структура цієї СУЕБ наведена на рис. 1.1.1 [1].

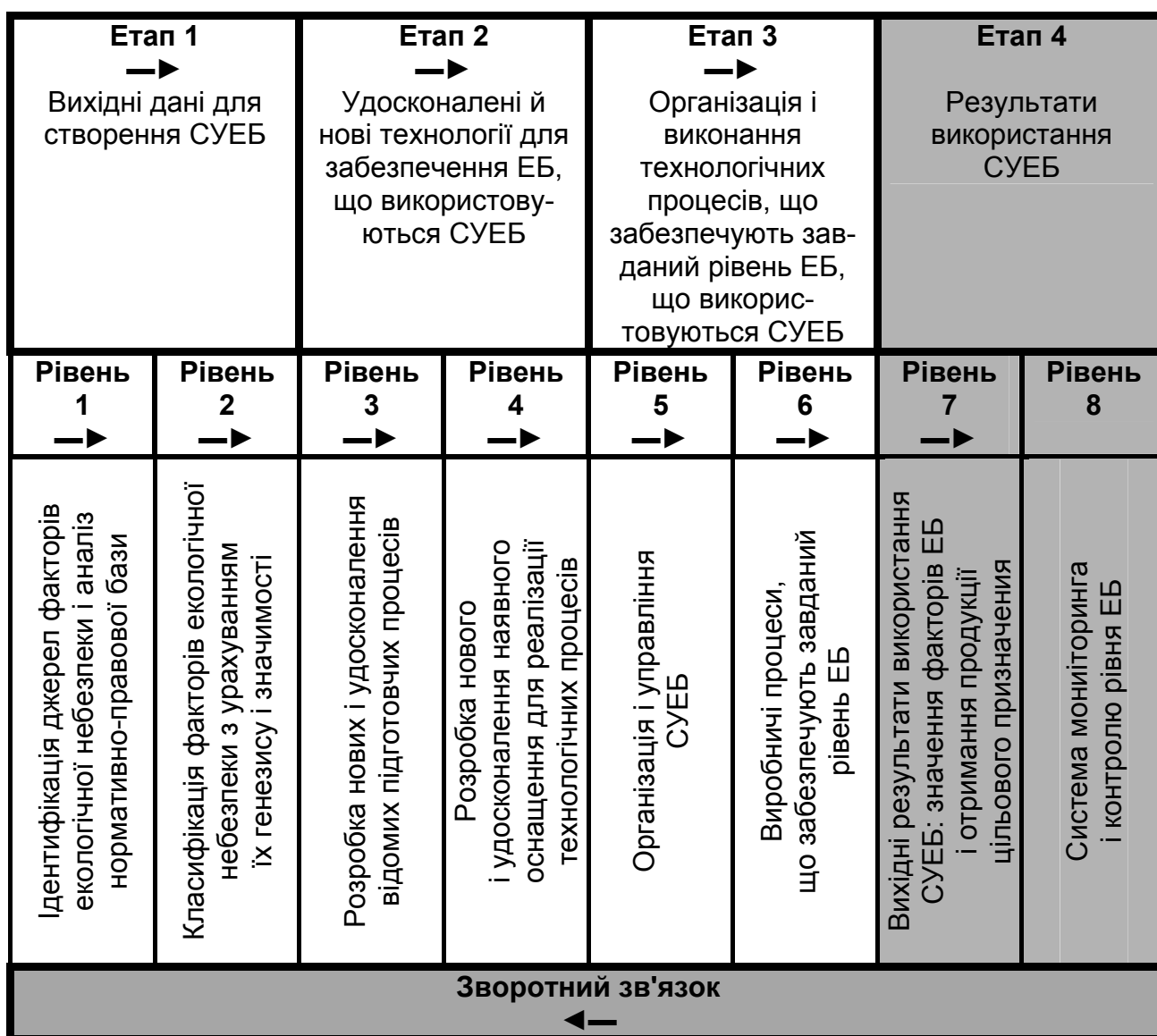


Рис. 1.1.1 – Схема СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ [1]

Пропонована концепція розробки критерію ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ і алгоритму його застосування передбачає:

Крок А «Базовий варіант об'єкта» – кількісна оцінка в абсолютних та/або відносних одиницях рівня значень комплексу техніко-економічних і екологічних порежимних та/або середньоексплуатаційних показників базового варіанту ЕУ з ПДВЗ, тобто до впровадження розроблених заходів щодо підвищення рівня ЕБ;

Крок Б «Дія СУЕБ на об'єкт» – розробка виду або послідовності заходів щодо забезпечення ЕБ в структурі СУЕБ експлуатації ТЕУ з ПДВЗ, визначення інтенсивності або характеру впливу окремо взятого заходу а також практична реалізація цих заходів.

Крок В «Модернізований варіант об'єкта» – кількісна оцінка рівня значень такого комплексу для модернізованого варіанту того ж об'єкта, тобто після розробки і впровадження заходів щодо підвищення рівня ЕБ на основі нових і вдосконалених способів й засобів (технологій);

Крок Г «Відгук об'єкт на дію СУЕБ». – встановлення абсолютного і відносного значення різниці величин комплексу для базового та модернізованого варіантів;

Крок Д «Нормування критерію ефективності функціонування СУЕБ» – порівняння отриманого значення різниці величин комплексу з її граничним значенням або реперними точками розробленої шкали значень та винесення певних висновків на основі результатів порівняння;

Крок Е «Коригування дії СУЕБ на об'єкт» – коригування виду та/або послідовності заходів щодо забезпечення ЕБ у структурі СУЕБ або об'єкта, інтенсивності, характеру впливу окремо взятого заходу;

Крок Ж «Зворотний зв'язок» – раціоналізація числового значення критерію ефективності функціонування СУЕБ в ітераційному процесі варіювання значень параметрів процесів і виконавчих органів, що забезпечують необхідний рівень ЕБ.

Вищенаведене проілюстровано на рис. 1.1.2.

Таким чином пропонований алгоритм є замкнутим зворотним зв'язком (тобто циклічним) і не є автономним відносно самої СУЕБ, оскільки містить Кроки «Б» і «Е», якими і реалізується його взаємодія з СУЕБ. Тому його можна назвати інтегрованим у СУЕБ. При цьому Крок «Б» є джерелом нової інформації в алгоритмі, а Крок «Е» – вже джерелом інформації для СУЕБ.

Для реалізації Кроку А «Базовий варіант об'єкта» і Кроку В «Модернізований варіант об'єкта» розроблюваного алгоритму, враховуючи в першу чергу специфіку технічного об'єкта впливу СУЕБ, пропонується використовувати комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В.

Парсаданова [5] та інші, подібні до нього, розроблені на його основі або за його подобою.

У якості порежимних вихідних даних для такого оцінювання слід використовувати результати експериментальних або розрахункових досліджень за відомими, вдосконаленими або розробленими методиками, наприклад з дослідження [13].

Для отримання середньоексплуатаційних значень, вочевидь, слід використовувати методики випробувань, що відповідають певній моделі експлуатації ПДВЗ або ЕУ і у зв'язку з цим містять перелік стаціонарних, перехідних або змішаних режимів їх роботи і характеристики самих режимів (для ПДВЗ – значення частоти обертання колінчастого вала, крутного моменту, вагового фактора і т.д.), а також відповідними методиками обробки експериментальних даних.

Крок	Назва та сутність кроку	
А ↓	« Базовий варіант об'єкта ». Кількісна оцінка у абсолютних і відносних одиницях рівня значень комплексу техніко-економічних і екологічних порежимних та/або середньоексплуатаційних показників базового варіанту ТЕУ з ПДВЗ, тобто до впровадження розроблених заходів щодо підвищення рівня ЕБ.	
Б ↓	« Дія СУЕБ на об'єкт ». Розробка виду або послідовності заходів щодо забезпечення ЕБ в структурі СУЕБ експлуатації ТЕУ з ПДВЗ, визначення інтенсивності або характеру впливу окремо взятого заходу а також практична реалізація цих заходів.	
В ↓	« Модернізований варіант об'єкта ». Кількісна оцінка рівня значень такого комплексу для модернізованого варіанту ТЕУ з ПДВЗ, тобто після розробки і впровадження заходів щодо підвищення рівня ЕБ на основі нових і вдосконалених способів й засобів.	
Г ↓	« Відгук об'єкт на дію СУЕБ ». Встановлення абсолютного і відносного значення різниці величин такого комплексу для базового та модернізованого варіантів ТЕУ з ПДВЗ, що і пропонується вважати критерієм ефективності функціонування СУЕБ.	▲
Д ↓	« Нормування критерію ефективності функціонування СУЕБ ». Порівняння отриманого значення різниці величин такого комплексу з його граничним значенням або розробленої шкалою значень і винесення певних висновків на цій основі.	Ж
Е ↓	« Коригування дії СУЕБ на об'єкт ». Коригування виду або послідовності заходів щодо забезпечення ЕБ в структурі СУЕБ експлуатації ТЕУ з ПДВЗ, а також інтенсивності або характеру впливу окремо взятого заходу.	
Ж	« Зворотний зв'язок ». Раціоналізація критерію ефективності функціонування СУЕБ в ітераційному процесі варіювання значень параметрів процесів і виконавчих органів, що забезпечують необхідний рівень ЕБ.	

Рис. 1.1.2 – Послідовність кроків пропонованого алгоритму

У разі неможливості проведення експериментальних досліджень за певною моделлю експлуатації й наявності даних попередніх досліджень для отримання необхідних даних можна скористатися математичним ап-

аратом апроксимації (наприклад, метод найменших квадратів або лінійної регресії), інтерполяції або екстраполяції [14].

Для реалізації Кроку Б «Дія СУЕБ на об'єкт» алгоритму пропонується використовувати результати інших Етапів СУЕБ, описаних в [1, 15].

Для реалізації Кроку Г «Відгук об'єкта в дію СУЕБ» розробляється алгоритм пропонується різницю величин комплексу техніко-економічних та екологічних показників базового й модернізованого варіантів ЕУ з ПДВЗ власне і вважати критерієм ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ – $\Omega_{СУЕБ}$ [5].

Склад комплексу техніко-економічних і екологічних показників роботи ПДВЗ, що враховуються таким критерієм, повинен бути якомога повнішим, що визначає рівень його універсальності та відповідати пунктам класифікації факторів небезпеки, джерелом яких є ПДВЗ в складі ЕУ, розробленої в роботі [1] і представленої на рис. 1.1.3.



Рис. 1.1.3 – Класифікація видів забруднення НПС факторами екологічної небезпеки, джерелом яких є ПДВЗ з ЕУ [1]

В якості одиниць вимірювання абсолютних значень комплексу техніко-економічних та екологічних показників, що беруть участь у визначенні значення $\Omega_{СУЕБ}$, раціонально використовувати грошові витрати на розробку та впровадження заходів щодо забезпечення необхідного рівня ЕБ, витрати на компенсацію негативного впливу факторів екологічної небезпеки на НПС або урбосистему.

Таким чином:

$$\Omega_{ESMS} = \frac{E_M - E_B}{E_B}, \quad (1.1.3)$$

де E_M и E_B – відповідно витрати для модернізованого та базового варіантів ЕУ з ПДВЗ.

Обґрунтування вибору одиниць вимірювання складових критерію $\Omega_{СУЕБ}$ – долари США (\$) – наведено у [14].

Таке рішення обумовлене, по-перше, виходячи з визначення коштів як товару максимальної ліквідності й універсального еквівалента вартості товарів та послуг [11].

По-друге, наявність вдалого досвіду застосування відомого підходу до оцінки техніко-економічних і екологічних показників ПДВЗ, розробленого проф. І.В. Парсадановим, як частина методики розрахункового визначення паливо-екологічного критерію K_{TE} [5].

По-третє, як стане зрозумілим з наведених далі міркувань, не всі складові вищевказаних витрат можливо привести до виду безрозмірної величини β і, тим більше, наділити їх фізичним змістом $g_{e\text{ сп } e}$, як у випадку K_{PE} [5].

В роботі [5] витрати, що входять до структури критерію K_{PE} , виражаються в українських гривнях (€). Однак в такому випадку виникає проблема оцінки ефективності заходів щодо забезпечення рівня ЕБ для ЕУ з ПДВЗ, що знаходяться в експлуатації тривалий час.

Так, для випадку підвищення рівня ЕБ автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 шляхом обладнання його випускної системи ФТЧ, розробленим у відділі поршневих енергоустановок ІПМаш НАНУ та вдосконаленим на кафедрі прикладної механіки НУЦЗУ [8, 9, 13], безпосереднє порівняння величин критерію K_{PE} для базового (дизель, не обладнаний ФТЧ) і модернізованого (дизель, обладнаний ФТЧ) варіанту виконати в гривні складно.

Це обумовлено наступними обставинами.

По-перше, дизель Д21А1 (2Ч10,5/12), який використовували як генератор аерозолу ТЧ у потоці ВГ в цих дослідженнях, випущений в середині 80-рр ХХ століття, сучасна його модифікація, що випускається Володимирським тракторним заводом (Російська Федерація), має суттєві конструктивні відмінності (наприклад, електронну систему управління паливоподачою). При цьому точно оцінити його загальне напрацювання і залишковий моторесурс, передісторію й індивідуальні особливості експлуатації саме цього екземпляру, переліку заходів з обслуговування та ремонту і, відповідно, поточний технічний стан та співвіднести його з яким-небудь вартісним показником вкрай складно.

По-друге, на момент його випуску такої грошової одиниці як гривня не існувало, та одиниця, в якій виражається його вартісні показники – карбованець СРСР – не існує нині; грошова одиниця, у якій оцінювалась його вартість на момент постановки такого дизеля на моторний випробувальний стенд – купоно-карбованець України – також наразі не існує; а нинішня модифікація цього дизеля оцінюється в російських рублях.

По-третє, в силу певних причин, курс гривні по відношенню до основних вільноконвертованих (так званих, твердих, світових резервних) валют вкрай нестабільний. Так, на момент введення в обіг гривні (1996 р.) її курс по відношенню до долара США (\$) становив менше 2 ₴/\$, на момент початку розробки концепції ФТЧ (2008 р.) - близько 5 ₴/\$, на момент отримання експериментальних даних для досліджень [8, 9] (2013 р.) - близько 8 ₴/\$, на момент створення математичних моделей з [8, 9] (2014 р.) – 12 ₴/\$, при отриманні результатів даного дослідження (2016 р.) – 25 ₴/\$, наразі (2018 р.) – 28 ₴/\$. Спрогнозувати поведінку цього макроекономічного показника з прийнятною точністю принаймні на півроку вперед не є можливим, не кажучи вже про більш довгострокову перспективу.

У зв'язку з вищенаведеними міркуваннями, представляється раціональним виражати величини витрат у формулі (1.1.3), що формують значення $KE_{СУЕБ}$, в одній з широкодоступних в Україні вільноконвертованих світових резервних валют – Євро (€) або долар США.

Однак тільки остання має історію, повністю охоплює історію ПДВЗ від зародження ідеї (1807 р. двигун де Ріваса, 1860 р. двигун Ленуара, 1863 р. двотактний двигун Отто, 1876 р. чотиритактний двигун Отто, 1880 р. двигун Костовича, 1897 р. двигун Дизеля) і по сьогоднішній день.

При цьому слід врахувати, що купівельна спроможність долара США протягом його існування від моменту створення першого ПДВЗ і по сьогоднішній день також не була постійною в силу прояву інфляції.

На основі вищесказаного можна зробити висновок, що величини витрат у формулі (1.1.3) слід виражати в доларах США, а врахування інфляції самого долара слід врахувати спеціальним коефіцієнтом, наприклад на основі індексу споживчих цін – Consumer Price Index *CPI* [11].

Для забезпечення можливості проведення порівняльних досліджень різних джерел енергії, наприклад ПДВЗ і комплексу з фотоелектричного перетворювача і суперконденсатора на основі наноструктурованих напівпровідників [12], в структурі розроблюваного критерію витрати на паливо слід перетворити в одиниці енергії або потужності.

Слід також звернути увагу на те, що обладнання випускної системи дизеля ФТЧ позначається на значенні $K_{ГЕ}$ одночасно позитивно – за рахунок зменшення масового викиду ТЧ з потоком ВГ (і відповідних грошових витрат на компенсацію впливу даного чинника екологічної небезпеки на ЗНС та урбосистеми), і негативно – за рахунок підвищення витрати палива, що витрачається на подолання гідравлічного опору ФТЧ [10].

Для реалізації Кроку Д «Нормування критерію ефективності функціонування СУЕБ» розроблюваного алгоритму пропонується використовувати дані з нормативно-правових актів, що є чинними на території, де

здійснюється експлуатація ЕУ з ПДВЗ, наприклад Правила ЄЕК ООН № 49 чи 96 [16, 17].

Для реалізації Кроку Е «Коригування дії СУЕБ на об'єкт» розроблюваного алгоритму пропонується спиратися на специфічні особливості конкретного заходу для забезпечення рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ чи комплексу таких заходів.

Для реалізації Кроку Ж «Зворотний зв'язок» розроблюваного алгоритму пропонується використовувати метод планування експерименту [18], математичний апарат багатокритеріальної оптимізації [19], а також математичний апарат нечіткої логіки, а саме узагальненої функції бажаності К.Е. Харрінгтона із застосуванням психо-фізичних шкал [21, 22].

1.1.4. Ієрархічне місце критерію

При розробці критерію $\Omega_{СУЕБ}$ слід взяти до уваги наступні аспекти ієрархічної структури СУЕБ, ЕУ та її ЖЦ.

Весь життєвий цикл ЕУ з ПДВЗ традиційно ділять на послідовний ланцюжок етапів, які в світлі специфіки даної проблематики і вищесказаного раціонально об'єднати в наступні блоки:

Блок I «Розробка і виробництво»;

Блок II «Експлуатація»;

Блок III «Утилізація».

Також не варто випускати з уваги наступні особливості ЕУ як таких та їх джерел енергії – ПДВЗ.

По-перше, один і той самий ПДВЗ може використовуватися для приводу різнотипних ЕУ (наприклад, автотракторні дизелі), тобто експлуатуватися за різними моделями експлуатації.

По-друге, одна ЕУ може містити більше одного ПДВЗ (наприклад, пересувний бетонозмішувач з приводом міксерів від окремого ПДВЗ, автотяг з тягача і енергоагрегату з електрогенератором, водяним насосом, повітряним компресором тощо), які можуть експлуатуватися як одночасно, нарізно, так і з деяким перекриттям часу роботи одне одного.

По-третє, сама ЕУ, без урахування наявності в її складі ПДВЗ та агрегатів його систем, винесених за межі підкапотного простору, також є джерелами екологічної та техногенної небезпеки, і повинні якісно й кількісно характеризуватися своїми власними факторами, критерії для оцінки яких також потребують розробки та/або доопрацювання.

По-четверте, у деяких ЕУ присутній ПДВЗ, що не є основним чи головним джерелом механічної енергії, або ж виробляє таку енергію переривчасто (наприклад, гібридні автомобілі), при цьому модель його експлуатації принципово відмінна від традиційних як по структурі, так і по параметрах окремих режимів роботи двигуна.

У зв'язку з вищенаведеним, особливо слід відзначити, що розроблений критерій ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ $\Omega_{СУЕБ}$ в пропонованій постановці займає наступне ієрархічне місце в структурі ЖЦ та складі ЕУ:

– характеризує лише II блок життєвого циклу ЕУ з ПДВЗ – експлуатацію;

– характеризує ЕБ лише частини ЕУ, а саме ПДВЗ і агрегатів систем, що його обслуговують, що відображено на рис. 1.1.4 та 1.1.5.

На рис. 1.5 наведено наступні позначення: індексами I, II та III позначено критерій $\Omega_{СУЕБ}$ для Блоку I, Блоку II та Блоку III ЖЦ відповідно; індексами DE та SE позначено критерій $\Omega_{СУЕБ}$ для джерел енергії ЕУ (наприклад, ПДВЗ та його агрегатів його систем, винесених за межі підкапотного простору) та споживачів енергії ЕУ (усі виконавчі органи ЕУ, деталі її остова, контрольно-вимірювального обладнання тощо) відповідно.

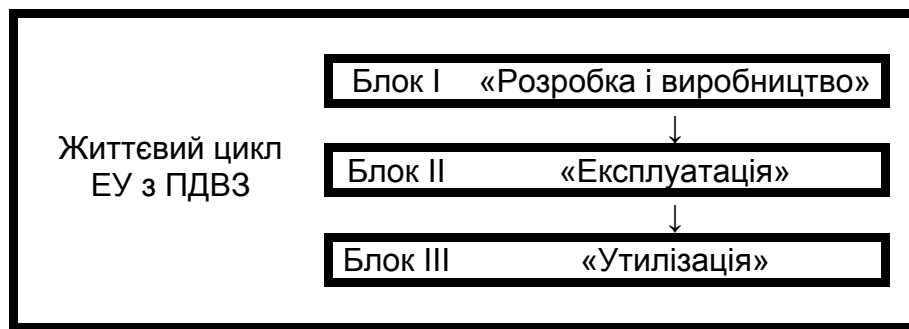


Рис. 1.1.4 – Поділ життєвого циклу ЕУ з ПДВЗ на блоки, придатні до використання у процесі розробки СУЕБ

Ієрархічне місце критерію $\Omega_{СУЕБ}$	у структурі енергетичної установки	
↓	Джерело енергії	Споживач енергії
у структурі життєвого циклу		
Блок I «Розробка і виробництво»	$\Omega_{СУЕБ I}^{DE}$	$\Omega_{СУЕБ I}^{SE}$
Блок II «Експлуатація»	$\Omega_{СУЕБ II}^{DE}$	$\Omega_{СУЕБ II}^{SE}$
Блок III «Утилізація»	$\Omega_{СУЕБ III}^{DE}$	$\Omega_{СУЕБ III}^{SE}$

Рисунок 1.1.5 – Ієрархічне місце розроблюваного критерію ефективності функціонування СУЕБ

Тому для СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ критерій ефективності функціонування $\Omega_{СУЕБ}$ можна виразити наступною формулою:

$$\Omega_{СУЕБII}^{EУ} = \frac{\sum_{j=1}^m \Omega_{СУЕБII}^{DE}}{m} \times \frac{\sum_{k=1}^n \Omega_{СУЕБII}^{CE}}{n}, \quad (1.4)$$

де f – деяка математична функція, що пов'язує складові критерію $\Omega_{СУЕБ}$; j – номер джерела енергії у складі ЕУ; k – номер споживача енергії у складі ЕУ; m – кількість джерел енергії у складі ЕУ; n – кількість споживачів енергії у складі ЕУ.



Рис. 1.1.6 – Алгоритм оцінки ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ

Підбиваючи вищенаведені міркування, структуру алгоритму оцінювання ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ та її місце у структурі самої СУЕБ подано на рис. 1.1.6.

Розроблюваний критерій ефективності СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ $\Omega_{СУЕБ}$, на відміну від комплексного паливо-екологічного крите-

рію проф. І.В. Парсаданова $K_{ЛЕ}$, також повинен враховувати такі фактори екологічної небезпеки, джерелом яких є ПДВЗ, як шум і вібрація, а в ідеалі – також і енергетичне забруднення НПС й урбосистем (теплове, електромагнітне та інформаційне) [1].

Забруднення НПС і урбосистем рідкими поллютантами (моторними паливами і маслами) й твердими відходами (деталлями, що вичерпали ресурс чи вийшли з ладу аварійно) ПДВЗ в процесі експлуатації ЕУ з ними відбувається або при технічному обслуговуванні та ремонті, або в аварійній ситуації [1]. Імовірнісний характер прояви останніх чинників обумовлює застосування для їх оцінки понятійного апарату та інструментарію екологічних ризиків.

При цьому сам комплексний паливо-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова $K_{ЛЕ}$ може виступити прообразом, складовою частиною та основою розробляемого критерію ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ $\Omega_{СУЕБ}$.

1.1.5. Висновки по розділу

Таким чином, в даному дослідженні в найбільш загальному вигляді наведено передумови і загальна концепція створення та алгоритму застосування критерію ефективності функціонування системи управління екологічною безпекою процесу експлуатації енергетичних установок з поршневіми двигунами внутрішнього згорання.

Критерій є основою реалізації останнього рівня такої СУЕБ, замикаючи її зворотним зв'язком шляхом застосування моніторингу показників екологічної безпеки навколишнього природного середовища і урбосистем, а також контролю ефективності роботи самої СУЕБ.

Визначено ієрархічне місце критерію в структурі життєвого циклу і складу енергетичної установки, структурі відповідної системи управління екологічною безпекою, обґрунтований вибір його складових.

Розділ 1.2. ВИБІР КРИТЕРІАЛЬНОГО АПАРАТУ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

1.2.1. Постановка проблеми

На бойовому чергуванні підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНСУ) перебуває велика кількість енергетичних установок (ЕУ) (одиниці пожежної та аварійно-рятувальної техніки, автотранспортні засоби (АТЗ) тощо), які оснащені поршнеvim двигуном внутрішнього згоряння (ПДВЗ), зокрема дизельним, як основним джерелом механічної енергії.

Кожна одиниця ПДВЗ є джерелом екологічної небезпеки, зокрема масових годинних викидів забруднюючих речовин (полютантів) з потоком відпрацьованих газів (ВГ), зокрема твердими частинками (ТЧ).

Найбільш ефективним способом підвищення рівня екологічної безпеки (ЕБ) процесу експлуатації таких об'єктів за рахунок приведення показників їх токсичності у відповідність з нормативними (законодавчо встановленими) вимогами є розробка та реалізація відповідних систем управління екологічною безпекою (СУЕБ).

У цьому випадку матеріальною основою комплексного вирішення цієї проблеми є розробка та впровадження систем нейтралізації для законодавчо нормованих полютантів в потоці ВГ та їх агрегатів, зокрема фільтрів твердих часток (ФТЧ) [1, 22].

Для якісної та кількісної оцінки ефективності застосування вже існуючих або нових розроблених систем нейтралізації та їх агрегатів необхідним є застосування відповідного математичного апарату та методики його застосування.

У зв'язку з цим представляється актуальним обґрунтування вибору такого апарату з відповідною методикою його застосування.

Метою даного дослідження є обґрунтування вибору критеріального математичного апарату з відповідною методикою його застосування для розрахункового оцінювання провадження заходів і технічних рішень щодо підвищення рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Об'єктом даного дослідження є рівень ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Предметом даного дослідження є критеріальний математичний апарат з відповідною методикою його застосування для розрахункового оцінювання об'єкту дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні:

1. Аналіз вже існуючих математичних апаратів для критеріального розрахункового оцінювання об'єкту дослідження.

2. Класифікація таких математичних апаратів з врахуванням специфічних особливостей оцінюваних об'єктів.

3. Обґрунтування пріоритетності застосування таких математичних апаратів для випадку оцінювання ЕУ з ПДВЗ.

4. Визначення впливу витрати палива ПДВЗ на фактори, що характеризують об'єкт дослідження.

5. Обґрунтування вибору найпридатнішого математичного апарату для розрахункового оцінювання об'єкту дослідження з числа відомих.

1.2.2. Аналіз літературних джерел

Аналіз науково-технічної літератури за темою дослідження дозволяє визначити дев'ять вже існуючих різних критеріальних математичних апаратів, які потенційно можуть бути застосовані для комплексного досягнення мети дослідження.

На основі результатів цього аналізу авторами запропонована класифікація критеріальних математичних апаратів, подана на рис. 1.2.1.

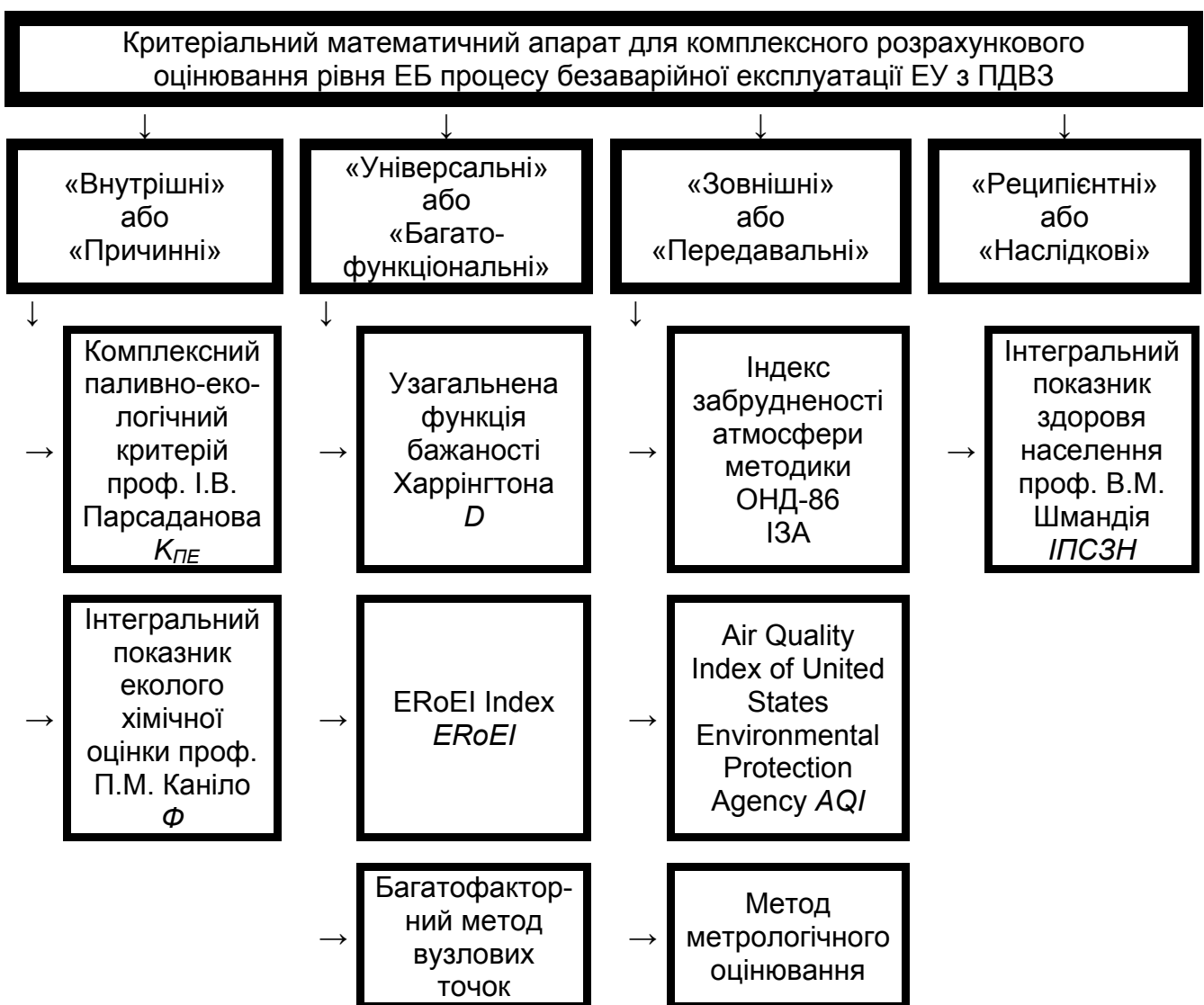


Рис. 1.2.1 – Класифікація критеріальних математичних апаратів для комплексного розрахункового оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ

1.2.3. Аналіз математичних апаратів відомих критеріїв

Розглянемо математичний апарат критеріїв, поданих на рис. 2.1.

Комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова $K_{ПЕ}$ описується формулою (1.2.1) та її складові – формулами (1.2.2) – (1.2.8), і в решті решт, це зводиться до формули (1.2.9) [5] (тут і далі по тексту монографії позначення складових формул наведено у редакції, придатній для публікації у закордонних виданнях).

$$K_{FEme} = \eta_{eme} \cdot (1 - \beta) = \eta_{eme} \cdot \left(1 - \frac{Z_{eme}}{Z_{fme} + Z_{eme}} \right); \quad (1.2.1)$$

$$\eta_{eme} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{eme}}; \quad (1.2.2)$$

$$g_{eme} = \frac{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} \cdot WF_i)}; \quad (1.2.3)$$

$$Z_{fme} = g_{eme} \cdot P_f; \quad (1.2.4)$$

$$Z_{eme} = \frac{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot WF_i \cdot U_{ei})}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} \cdot WF_i)}; \quad (1.2.5)$$

$$N_{ei} = \frac{M_{Ti} \cdot n_{csi}}{9550}; \quad (1.2.6)$$

$$U_{ei} = \delta \cdot \sigma \cdot f \cdot g_{pri}; \quad (1.2.7)$$

$$g_{pri} = \sum_{k=1}^h \left(\frac{A_k \cdot G_{pki}}{G_{fi}} \right); \quad k = \{NO_x, PM, C_n H_m, CO\}, \quad (1.2.8)$$

$$K_{FEme} = \frac{3600}{H_u \cdot \frac{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot \bar{P}_i)}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} \cdot \bar{P}_i)}} \times \frac{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot \bar{P}_i)}{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot \bar{P}_i) + \delta \cdot f \cdot \sum_{i=1}^z \left[G_{fi} \cdot \bar{P}_i \cdot \sum_{m=1}^h \frac{A_m \cdot G_{mi}}{G_{fi}} \right]}, \quad (1.2.9)$$

де індексом i позначено i -й режим роботи моделі експлуатації; η_{eme} – середньоексплуатаційне значення ефективного ККД ПДВЗ; g_{eme} – середньоексплуатаційне значення питомої ефективної масової годинної витрати палива ПДВЗ, кг/(кВт·год); H_u – нижча теплота згоряння моторного палива ($H_u = 42,7$ МДж/кг [5]); N_{ei} – ефективна потужність ПДВЗ, кВт; G_{fi} – масова годинна витрата палива ПДВЗ, кг/год; U_{ei} – грошова оцінка компенсації екологічної шкоди, \$/кг; G_{mki} – масовий годинний викид m -го поллютанту з потоком ВГ ПДВЗ, кг/год; g_{pri} – приведений питомий ефектив-

ний масовий годинний викид поллютанту з потоком ВГ ПДВЗ, кг/(кВт·год); A_m – безрозмірний показник відносної агресивності m -го поллютанту як компоненту ВГ ПДВЗ ($A_{NO_x} = 41,1$; $A_{PM} = 200$; $A_{CnHm} = 3,16$; $A_{CO} = 1,0$ [5]); h – кількість законодавчо нормованих поллютантів у ВГ ПДВЗ; ($h = 4$ [1,23, 5]); δ – безрозмірний показник відносної небезпеки забруднення для різних територій (для дизельного ПДВЗ АТЗ $\delta = 1,0$, для тракторного дизеля $\delta = 0,25$ [5]); f – безрозмірний коефіцієнт, що враховує характер розсіювання ВГ у атмосфері (для території України $f = 1,0$ [5]); σ – розмірний коефіцієнт для перетворення бальної оцінки шкоди в грошову ($\sigma = P_f$ [5]); WF_i – ваговий фактор робочого режиму у моделі експлуатації (відносне напрацювання ПДВЗ на i -му полігоні (режимі) моделі експлуатації); η_e – ефективний ККД дизельного ПДВЗ; β – коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних грошових витрат; Z_e , Z_f та Z_{fe} – грошові витрати на компенсацію екологічної шкоди, на спожите моторне паливо та сумарні паливно-екологічні відповідно, $\$/(\text{кВт}\cdot\text{год})$; g_e – питома ефективна масова годинна витрата палива дизельним ПДВЗ, $\text{кг}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$; P_f – ціна одиниці маси моторного палива (результати вибору одиниць вартісних еквівалентів складових критерію $K_{\text{ПЕ}}$ наведено у дослідженні [22], $P_f = 0,871$ $\$/\text{кг}$ при $P_f = 20,0$ $\text{грн}/\text{л}$, $\rho_f = 0,85$ $\text{кг}/\text{м}^3$ та обмінному курсі станом на грудень 2016 р. 27,0 $\text{грн}/\text{\$}$); $M_{\text{кр}i}$ – крутний момент ПДВЗ, Н·м; $n_{\text{ке}i}$ – частота обертання колінчастого валу ПДВЗ, хв^{-1} .

Інтегральний показник еколого хімічної оцінки проф. П.М. Каніло Φ описується формулою (1.2.10) у $\text{м}^3/\text{тест}$ [26].

$$F_j = 10^{-6} \cdot \left\{ \frac{M_{CO}}{[CO]} + \frac{M_{CH}}{[CH]} + a \cdot \frac{M_{NO_x}}{[NO_x]} + b \cdot \frac{M_{Soot}}{[Soot]} \right\} + \left\{ c \cdot \frac{M_{SO_2}}{[SO_2]} + d \cdot \frac{M_{b(a)p}}{[b(a)p]} \right\}, \quad (1.2.10)$$

де M_j – загальний масовий викид поллютанта з потоком ВГ ПДВЗ впродовж періоду випробувань за Європейським їздовим циклом, $\text{г}/\text{тест}$; $[j]$ – гранично допустима денна концентрація (ГДК) j -го поллютанту у повітрі населених пунктів, $\text{мг}/\text{м}^3$; a , b , c , d – коефіцієнти, значення яких приймаються за результатами експериментальних досліджень.

Індекс забрудненості атмосфери методики ОНД-86 /3А (або безрозмірна концентрація q) описується формулою (10), а її складові – формулою (1.2.11) [27].

$$q = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{MPC_i}; \quad (1.2.10)$$

$$c = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (1.2.11)$$

де індексом i позначено i -й поллютант, що викидається у повітря; c – ма-

сова концентрація полютанта, мг/м³; MPC – ГДК полютанта, мг/м³; A – безрозмірний коефіцієнт, значення якого залежать від температурної стратифікації атмосфери; M – масовий секундний викид полютанта, г/с; F – безрозмірний коефіцієнт, значення якого враховують швидкість осадження полютантів у атмосферному повітрі; m та n – безрозмірні коефіцієнти, значення яких враховують умови виходу газоповітряної суміші з витоку джерела викиду; η – безрозмірний коефіцієнт, значення якого враховують вплив рельєфу місцевості; H – висота джерела викиду над рівнем землі, м; ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші у викиді та температурою повітря навколишнього природного середовища (НПС), °C; V_1 – об'ємні секундні витрати газоповітряної суміші, м³/с.

Air Quality Index of United States Environmental Protection Agency AQI описується формулою (1.2.12) [28].

$$AQI = \frac{AQI_{high} - AQI_{low}}{C_{high} - C_{low}} \cdot (C - C_{low}) + AQI_{low}, \quad (1.2.12)$$

де C – кратність перевищення нормативного значення ПДК; C_{high} – межа кратності перевищення нормативного значення ПДК, яка більша чи дорівнює C ; C_{low} – межа кратності перевищення нормативного значення ПДК, яка менша за C ; AQI_{high} – значення індекса, що відповідає значенню C_{high} ; AQI_{low} – значення індекса, що відповідає значенню C_{low} .

ERoEI Index (Energy Returned on Energy Invested) $ERoEI$ описується формулою (1.2.13), а її складові – формулою (1.2.14) [29].

$$ERoEI = \frac{E_{Consumable}}{E_{Expended}} = \frac{NEG}{E_{Expended}} + 1; \quad (1.2.13)$$

$$NEG = E_{Consumable} - E_{Expended}, \quad (1.2.14)$$

де $E_{Consumable}$ – енергія (робота), вироблена джерелом (ресурсом), що придатна для використання (корисна, ексергія); $E_{Expended}$ – енергія (робота), витрачена для отримання джерела; NEG – чистий вигреш у енергії (Net Energy Gain), Дж.

Узагальнена функція бажаності Харрінгтона D описується формулою (1.2.15), а її складові – формулами (1.2.16) – (1.2.17) [21].

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^n WF_i}; \quad (1.2.15)$$

$$D_i = \sum_{k=1}^n v_k \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n d_{ki}^{v_k}}, \quad (1.2.16)$$

$$d_{ki} = \exp[-\exp(a_{ki} + b_{ki} \cdot r_{ki})], \quad k = \{g_{NOxri}, g_{PMri}, g_{CnHmri}, g_{COri}, g_{ei}\} \quad (1.2.17)$$

де індексом k позначено k -й впливаючий фактор; d – часткова функція бажаності; r – значення впливаючого фактора; a та b – постійні коефіцієнти, за допомогою яких співвідносять значення впливаючого фактора з реперними точками шкали бажаності; v – показник ступеня, за допомогою якого враховується вагомість впливаючого фактора.

Інтегральний показник здоров'я населення проф. В.М. Шмандія ІПСЗН описується формулою (1.2.18), а її складові – формулами (1.2.19) – (1.2.20) [33].

$$IIPHS = ABA - IBA, \quad (1.2.18)$$

де ABA – дійсний біологічний вік, років; IBA – незалежний біологічний вік, років.

$$ABA = \gamma + \sum_{i=1}^5 (\alpha_i \cdot \Pi_i) - \sum_{j=1}^3 (\beta_j \cdot I_j); \quad (1.2.19)$$

$$IBA = 0,58 \cdot CE + 17,24; \quad (1.2.20)$$

де α , β , γ – емпіричні коефіцієнти; Π_1 – суб'єктивний показник здоров'я за опитуванням; Π_2 – систолічний кров'яний тиск, мм. рт. ст.; Π_3 – діастолічний кров'яний тиск, мм. рт. ст.; Π_4 – пульсовий кров'яний тиск, мм. рт. ст.; Π_5 – тривалість затримки дихання після глибокого вдихання, хв; I_1 – живий об'єм легень, дм^3 ; I_2 – тривалість затримки дихання після глибокого видихання, хв; I_3 – статичне балансування, хв.; CE – календарний вік, р.

Метод метрологічного оцінювання описується формулами (1.2.21) – (1.2.23) [34].

$$\begin{cases} V = (-\infty; V_{me} - \sigma_V) \Rightarrow G = 4; \\ V = [V_{me} - \sigma_V; V_{me}] \Rightarrow G = 3; \\ V = [V_{me}; V_{me} + \sigma_V] \Rightarrow G = 2; \\ V = (V_{me} + \sigma_V; +\infty) \Rightarrow G = 1; \end{cases} \quad (1.2.21)$$

де V – приведений викид полютанта, т/км^2 ; V_{me} – математичне очікування величини викиду полютанта, т/км^2 ; σ_V – стандартне (середньоквадратичне) відхилення величини викиду полютанта, т/км^2 ; G – номер групи локалізації за рівнем ЕБ (1 – висока; 2 – середня; 3 – низька; 4 – мінімальна).

$$V_{me} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N V_i; \quad (1.2.22)$$

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (V_i - V_{me})^2}; \quad (1.2.23)$$

де N – кількість вимірювань приведенного викиду полютанта; i – номер вимірювання.

Багатофакторний метод вузлових точок [35] дозволяє комплексно оцінити вплив відносних значень впливаючого на рівень ЕБ фактора на значення деяких критеріїв рівня ЕБ за допомогою внутрішньої універсальної шкали з одною реперною (вузловою) точкою. Багатовимірною поверхнею, яка відображає такий вплив описується формулою (1.2.25), а для отримання абсолютних значень критерію можливо за допомогою формули (1.2.26).

$$g = \prod_{i=1}^n \varphi_i(x_i), \quad (1.2.24)$$

$$G = G_0 \cdot g, \quad (1.2.25)$$

де g – відносне значення критерію рівня ЕБ; φ – функція, що дозволяє врахувати вплив значення i -го фактора ЕБ на значення критерію рівня ЕБ; x – значення i -го фактора ЕБ; G – абсолютне значення критерію рівня ЕБ; G_0 – значення i -го фактора ЕБ у вузловій точці.

1.2.4. Класифікація критеріальних математичних апаратів

Як видно з даних, представлених на рис. 1.2.1, основною класифікаційною ознакою у запропонованій класифікації є тип набору вихідних даних для розрахункової оцінки.

Відповідно до запропонованого принципу:

– до числа «внутрішніх» або «причинного» критеріальних апаратів ми пропонуємо віднести такі, що оперують режимними та/або середньо-експлуатаційними значеннями даних про вміст полютантів у потоці ВГ ПДВЗ, отриманому шляхом розрахунку або експериментально, наприклад, як у дослідженнях [9, 23];

– до числа «зовнішніх» або «передавальних» критеріальних апаратів ми пропонуємо віднести такі, що оперують даними про вміст полютантів у атмосферному повітрі урбосистеми, отриманих шляхом розрахунку або експериментально;

– до числа «універсальних» або «багатофункціональних» критеріальних апаратів пропонуємо віднести такі, що однаково успішно оперують з обома типами наборів вихідних даних.

– до числа «реципієнтних» або «результуючих» («наслідкових») критеріальних апаратів які ми пропонуємо віднести такі, що оперують з даними про значення відгуки (реакції) об'єктів впливу факторів ЕБ.

До числа переваг «внутрішніх» критеріїв можна віднести можливість індивідуального оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації окремих одиниць техніки. Це особливо актуально для техніки спеціального призначення, парк якої складає невелику частину автопарку населеного пун-

кту або його району, де розташовується пожежна частина, і порівнювати отримані результати зі вимогами стандартів токсичності потоку ВГ ПДВЗ.

До числа недоліків «внутрішніх» критеріїв можна віднести складність отримання набору вихідних даних, отримуваних експериментальним шляхом, а саме необхідність наявності випробувального моторного стенду з навантажувальним пристроєм та спеціальним вимірювальним обладнанням.

До числа переваг «зовнішніх» критеріїв, на відміну від «внутрішніх», можна віднести можливість оцінки рівня ЕБ урбаністичної системи в цілому та порівняння отриманих результатів зі значеннями гранично допустимих концентрацій забруднювачів в атмосферному повітрі НПС.

Ці критеріальні апарати також використовують як набори вихідних даних з мережі метеорологічних станцій та пунктів спостереження, від дистанційного супутникового сканування поверхні Землі, ГІС-систем й ін.

До числа недоліків «зовнішніх» критеріїв можна віднести принципову неможливість оцінювання індивідуального внеску окремих одиниць спеціальної техніки й АТЗ в забруднення НПС.

Спільною перевагою «внутрішніх» та «зовнішніх» критеріїв є вузькоспеціалізована усталена структура їх математичного апарату і добре відпрацьована (а іноді й ГОСТована) методика застосування. Але ця особливість водночас робить їх непридатними для оцінки рівня ЕБ будь-яких інших об'єктів.

«Універсальні» критерії, на відміну від двох попередніх пунктів класифікації, відрізняються саме гнучкістю їх математичних апаратів і варіативності методики застосування.

Враховуючи, що для врахування факторів ЕБ, котрі принципово за фізичною суттю відрізняються від масових годинних викидів поллютантів у потоці ВГ ПДВЗ (а саме, шум, вібрація, інформаційне та енергетичне забруднення, викиди рідких поллютантів та виділення твердих відходів [1]) неможливо обійтися без використання «універсальних» критеріальних апаратів. Але в цьому випадку необхідним є налаштування параметрів математичного апарату та коректування методики його застосування.

«Реципієнтні» або «результуючі» критеріальні апарати характеризуються тими перевагами, що безпосередньо описують кінцевий результат дії проявів факторів ЕБ на об'єкт впливу, тобто на частини НПС, на захист яких спрямовані заходи, розроблені у відповідній СУЕБ. Таким чином, аналіз такої інформації може дати найбільш об'єктивну картину рівня ЕБ урбосистеми та її компонентів.

Але такий підхід характеризується суттєвими недоліками, головними з яких є складність та висока вартість отримання наборів вихідних даних, а також істотні відмінності між типом наборів вихідних даних для різних видів об'єктів впливу факторів ЕБ (реципієнтів), а також для різних одиниць та особин одних і тих самих реципієнтів.

1.2.5. Визначення пріоритетності застосування критеріїв

Виходячи з наведеного вище, слід зазначити, що об'єктивно існує пріоритет застосування критеріальних апаратів у порядку зменшення для випадку ЕУ з ПДВЗ, що особливо актуально для випадку техніки й АТЗ спеціального призначення (пожежна, аварійна та рятувальна техніка тощо), як показано на рис. 1.2.2.



Рис. 1.2.2 – Пріоритетність застосування критеріальних математичних апаратів у порядку зниження для випадку ЕУ з ПДВЗ

При цьому перед налаштуванням математичних апаратів «універсальних» критеріїв (як більш перспективних і гнучких) слід оцінити окремі аспекти математичного апарату «внутрішніх» критеріїв (як більш пріоритетних) та коригувати методику її застосування для випадків нових і вже існуючих моделей і одиниць ПДВЗ спеціальної техніки та агрегатів систем нейтралізації поллютантів у потоці їх ВГ, як це показано в дослідженнях [24, 25].

У зв'язку з викладеним вище, слід обрати за пріоритетністю застосування між двома «внутрішніми» критеріальними апаратами, представленими на рис. 1.2.1, а саме комплексним паливно-екологічними критерієм проф. І.В. Парсаданова $K_{ПЕ}$ та інтегральним показником екологіхімічної оцінки проф. П.М. Каніло Φ .

Результати аналізу їхніх математичних апаратів дає можливість рекомендувати використання критерію $K_{ПЕ}$ як такого, який, на відміну від критерію Φ , працює з набором вихідних даних, що містить виключно показники токсичності ВГ ПДВЗ (тобто фактори ЕБ процесу експлуатації ПДВЗ), вимоги до яких законодавчо нормовані на території України (Правила ЄЕК ООН № 49 та № 96 [16, 17]), при цьому їх перелік є повним набором.

Крім того, з двох порівнюваних критеріальних апаратів тільки критерій $K_{ПЕ}$ має фізичний зміст, а саме середньоексплуатаційне значення ефективного ККД ПДВЗ з урахуванням грошових витрат для компенсації екологічної шкоди від забруднення НПС нормативними забруднюючими речовинами в потоці ВГ.

Для випадку ПДВЗ з ідеальними екологічними показниками, тобто з нульовим викидом поллютантів, величина критерію $K_{ПЕ}$ дорівнює серед-

ноексплуатаційному значенню ефективного ККД ПДВЗ η_{eme} .

У зв'язку з цим можна стверджувати, що математичний апарат критерію $K_{ГЕ}$ містить внутрішню шкалу і співставляє отримані результати розрахункового оцінювання з реперними точками цієї шкали автоматично, що вигідно вирізняє цей критерій з числа інших «внутрішніх».

Крім того, ця шкала містить лише одну реперну точку, а саме величину коефіцієнта η_{eme} , яка не пов'язана із законодавчо нормованими параметрами, при цьому значення цієї величини у реперній точці є різними для різних типів та моделей ПДВЗ, хоча і наближаються до об'єктивно зумовленої межі.

З числа «універсальних» критеріальних апаратів таким атрибутом характеризується узагальнена функція бажаності Харрінгтона D , але його внутрішня шкала набагато гнучкіша і може містити будь-які дві реперні точки для будь-якого враховуваного впливаючого фактора.

Важливим є той факт, що лише математичний апарат критерію $K_{ГЕ}$ ураховує споживання палива ПДВЗ як у формі середноексплуатаційного значення питомої ефективної масової годинної витрати палива g_{eme} , так і у формі порежимних значень масової годинної витрати палива G_f як міри порежимних значень масових годинних викидів законодавчо нормованих полютантів.

Але було виявлено, що рекомендований вище критерійний апарат позбавлений наступних важливих можливостей:

- врахування законодавчо встановлених норм або інших особливих значень впливаючих факторів;
- отримання порежимних значень (дає лише середноексплуатаційні значення);
- врахування більш широкого спектру факторів ЕБ.

1.2.6. Аналіз впливу витрат палива ПДВЗ на фактори екологічної безпеки процесу експлуатації ЕУ

Хоча витрати палива двигуном не відносять до факторів ЕБ, їх значення чинить суттєвий вплив на увесь відомий спектр таких факторів.

Аналіз спеціалізованої науково-технічної літератури виявив, що споживання палива ПДВЗ як у формі середноексплуатаційного значення масової годинної витрати палива G_{fme} (у кг/год) (має екстенсивний характер впливу), так і у формі середноексплуатаційного значення питомої ефективної масової годинної витрати палива g_{eme} (у кг/(кВт·год)) (має інтенсивний характер впливу), неоднозначно характеризує всі аспекти рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ. Інші речі, коли вони сформульовані вище, показані нижче.

За рівних інших умов, що описані вище, такий вплив проявляється наступним чином.

Результати аналізу передусім дозволяють доповнити та уточнити класифікацію типів забруднення НПС від ПДВЗ як частини ЕУ, представлену в монографії [1] (див. рис. 1.1.3) та розповсюджену на випадок без-

аварійної експлуатації.

1. Моторне паливо нафтового походження є невідновним джерелом енергії.

Тому, чим нижче значення G_{fme} і g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу в глобальному масштабі [1, 5].

2. Джерелом деяких типів законодавчо нормованих поллютантів у потоці ВГ, зокрема продуктів неповного згоряння, а саме незгорілих газоподібних вуглеводнів моторного палива та мастила C_nH_m , монооксиду вуглецю СО, твердих частинок ТЧ, є екзотермічні окислено-відновні реакції згоряння палива, що здійснюється в умовах далеких від ідеальних.

Тому, чим повніше такі реакції проходять (що означає нижче значення G_{fme} і g_{eme}), тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу [1, 5, 16, 17].

3. Моторне паливо містить атомарну і зв'язану сірку, кількість якої обмежена відповідними нормативними документами [30]. Це означає, що масовий годинний викид оксидів сірки SO_x в потоці ВГ також є нормованим поллютантом, хоча й опосередковано.

Тому, чим меншим є значення G_{fme} , тим нижчим є величина викиду цього поллютанта, і вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу [1].

Значення g_{eme} має вплив на співвідношення між SO_x та іншими сполуками сірки в потоці ВГ, зміщуючи баланс у бік SO_x .

4. ПДВЗ традиційної конструкції з кривошипно-шатунним механізмом є потужним джерелом шуму та вібрацій (факторів зовнішньої невірноваженості) [1], інтенсивність яких тим вище, чим більшою є вироблена ПДВЗ індикаторна потужність на робочому режимі. Обидва ці фактори ЕБ за своєю суттю є дисипативними процесами.

Тому, чим меншим є значення G_{fme} і g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

5. Будь-який ПДВЗ – це теплова машина, і вся енергія, що виділяється під час процесу згоряння моторного палива у камері згоряння у робочому процесі в процесі експлуатації, так чи інакше в кінцевому підсумку перетворюється на теплову енергію й передається в НПС і є частиною його теплового забруднення [1].

Хімічна енергія, що потенційно міститься в споживаному моторному паливі, може бути розділена на недоотриману (через недосконалість робочого процесу), механічні втрати (через недосконалість конструкції ПДВЗ та необхідності забезпечення здійснення робочого процесу) та корисну (передану споживачеві).

Споживач витрачає ефективну потужність, отриману від ПДВЗ, для подолання дисипативних сил (головним чином сил тертя), а також під час виконання функцій, для яких він призначений (наприклад, здійснення механічної роботи), як для подолання недосконалості його конструкції.

Співвідношення між першими двома і третіми компонентами енергетичного балансу характеризується значенням g_{eme} , співвідношення між першим і другим – показниками токсичності ВГ, а значення G_{fme} характеризують абсолютне значення теплового забруднення НПС.

Однак, ефективна потужність спочатку витрачається на виконання корисної роботи і лише після цього неминуче перетворюється на тепло.

Тому, чим меншим є значення G_{fme} і g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

6. Моторне паливо, що в процесі виготовлення піддається каталітичному риформінгу, містить опосередковано нормовані потенційно шкідливі компоненти, а саме: поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) (наприклад, бензин(а)пірен) та присадки з сполуками важких металів (наприклад, тетраетилсвинець, повністю заборонений сучасними нормативними документами) [26].

Також з масовою годинною витратою палива співвідноситься витрата моторної оливи на угар, що також містить сполуки важких металів. Це відбувається через те, що моторна олива потрапляє в камеру згоряння ПДВЗ, а для деяких видів ПДВЗ є це компонентом моторного палива, як у ПДВЗ з кривошипно-камерною продуквою.

Тому, чим нижча меншим є значення G_{fme} і g_{eme} , тим нижчою є величина масового годинного викиду незгорілих ПАВ у потоці ВГ, а значить і вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу [1].

Кореляції між значеннями викиду сполук важких металів та інших непрямо нормованих поллютантів у ВГ та значення g_{eme} не виявлено.

7. Моторне паливо та олива містять азотовмісні присадки, які у процесі згоряння разом із азотом повітря утворюють оксиди азоту NO_x , що також є законодавчо нормованими поллютантами [1, 5, 16, 17].

Чим краще організовано робочий процес ПДВЗ, тим вищою є температура в камері згоряння і, відповідно, вищою є величина масового годинного викиду NO_x в потоці ВГ (значення цієї величини не досягає нуля навіть при значному погіршенні чи порушенні робочого процесу ПДВЗ).

Тому, чим меншим є значення G_{fme} і більшим є значення g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

8. До числа продуктів повного згоряння моторного палива відносяться вода H_2O та вуглекислий газ CO_2 .

Друга з цих речовин – продукт екзотермічних окисно-відновних реакцій, що являє собою парниковий газ і сприяє глобальному потеплінню на Землі.

Викиди CO_2 в певній країні не повинні перевищувати квот, встановлений Кіотським протоколом [1, 31]. Це означає, що CO_2 також є законодавчо нормованим поллютантом, хоча і опосередковано.

Тому, чим більше і ефективніше моторного палива згоряє в камері згоряння ПДВЗ, тим меншим є значення G_{fme} і g_{eme} , і тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

9. Загальновідомо, що будь-який АТЗ, що споживає рідке моторне паливо, забруднює НПС випарами цього палива через прояв явищ великого та малого дихання резервуару.

Саме так проявляється той тип факторів ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, як забруднення НПС рідкими поллютантами [1].

Чим більшою є кількість спожитого ПДВЗ палива і менш ефективним є його згоряння, тим більшим паливний баком оснащують ЕУ, і тим частіше відбувається повне вичерпання палива з резервуара й, відповідно, повна заправка бака, що екстенсивно збільшує ефект великого дихання резервуара.

За тих самих умов при великій амплітуді зміни температури повітря також НПС впродовж доби спостерігається інтенсифікація ефекту малого дихання резервуара.

Тому, чим меншим є значення G_{fme} і g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

10. Під час експлуатації ПДВЗ виділяються так звані картерні гази, що складаються з випарів моторного палива та оливи, мілких крапель рідкого незгорілого палива, повітря свіжого заряду, компонентів ВГ, що потрапляють у картер ПДВЗ, де зберігається моторна олива крізь зазори у циліндропоршневій групі (ЦПГ) КШМ, а також краплі туману моторної оливи, що утворився як результат процесу змащення ЦПГ розбризкуванням [1].

Картерні гази створюють надлишковий тиск у внутрішніх порожнинах картера та піддону ПДВЗ і тому періодично скидаються в НПС.

Від дисперсної фази аерозолі картерних газів, а саме крапель туману моторної оливи, очищаються системою суфлювання ПДВЗ.

Дисперсійне середовище аерозолі картерних газів, а саме суміш перелічених вище газів, в ПДВЗ без системи нейтралізації поллютантів у потоці ВГ також не очищається від його шкідливих компонентів.

Тому, чим меншим є значення G_{fme} і g_{eme} (у одиницях ПДВЗ, які ще не досягли граничного стану через фізичний знос), тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

11. Робота ПДВЗ сучасних конструкцій керується електронною системою автоматичного керування, яка складається з джерела електричної енергії (генератора та акумулятора), датчиків, електронного блоку керування, виконуючих пристроїв та проводів.

Деякі види ПДВЗ мають систему запалювання, яка складається з електричних кіл високої та низької напруги.

Обидві ці системи є джерелами потужного електромагнітного забруднення НПС.

Чим вищим є значення G_{fme} , тим інтенсивніше працюють ці системи та чим нижчим є значення g_{eme} , тим ефективніше ці системи працюють.

Тому, чим вищим є значення G_{fme} та чим нижчим є значення g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

12. Описані вище системи є потужними джерелами інформаційного забруднення НПС, особливо при використанні бездротових інтерфейсів для передачі даних, наприклад GPS, Wi-Fi, Bluetooth – хибної інформації, інформаційного шуму, турбуючи факторів.

Чим вищим є значення G_{fme} , тим інтенсивніше працюють ці системи та чим нижчим є значення g_{eme} , тим ефективніше ці системи працюють.

Тому, чим вищим є значення G_{fme} та чим нижчим є значення g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

13. Чим більш інтенсивно працює ПДВЗ, тим більше він споживає моторного палива за одиницю часу G_{fme} , і відповідно тим швидше він вичерпає свій фізичний ресурс – сплави чорних і кольорових металів, полімери і гума, кераміка і скло.

Чим ефективніше він використовує споживане паливо g_{eme} , тим рідше він потребує технічного обслуговування та ремонту з урахуванням того, що подія відмови є явищем, що насить випадковий характер.

У разі досягнення ПДВЗ граничного технічного стану він потребує капітального ремонту або утилізації, що супроводжується забрудненням НПС твердими поллютантами (відходами), тобто деталями.

Тому, чим нижчим є значення G_{fme} та g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

14. Викладене вище у рівній мірі стосується забруднення НПС ПДВЗ рідкими поллютантами, а саме відходами технічних рідин – моторних палива і мастила; охолоджуючої, оживаючої й гальмівної рідин, консистентних і консерваційних змазок.

Тому, чим нижчим є значення G_{fme} та g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

15. Продуктом повного згоряння моторного палива є пара дігидрогену монооксиду H_2O , яка потрапляє у НПС з потоком ВГ та конденсується за відповідних температур. При цьому ця речовина сама по собі не є шкідливою чи небезпечною. Однак, по-перше, сприяє підвищенню вологості повітря, корозії виробів зі сплавів чорних металів та утворенню кислотних дощів, реагуючи з такими компонентами ВГ, як оксиди азоту NO_x і сірки SO_x .

Тому, чим нижчим є значення G_{fme} та g_{eme} , тим вищим є рівень ЕБ оцінюваного процесу.

Наведені вище міркування про характер кореляції між чинниками ЕБ та впливаючих на них факторів ЕБ наведено в табл. 1.2.1.

Слід зазначити, що з числа представлених на рис. 1 критеріальних апаратів тільки математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова враховує споживання палива ПДВЗ як у вигляді масової годинної витрати G_{fme} і у вигляді питомої ефективної масової годинної витрати g_{eme} .

У табл. 1.2.1 застосовано наступні умовні позначення (*):

– позначка «+» вказує на те, що збільшення значення величини впливаючого фактора спричиняє збільшення значення величини фактора ЕБ;

– позначка «-» вказує на те, що збільшення значення величини впливаючого фактора спричиняє зменшення значення величини фактора ЕБ.

Таблиця 1.2.1 – Вплив витрати палива ПДВЗ на різні компоненти рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ними

№	Фактор екологічної безпеки	Впливаючий фактор		
		G_{fme}	g_{eme}	η_{eme}
		кг/год	кг/(кВт·год)	–
Характер кореляції*				
1	Споживання невідновного джерела енергії	+	+	–
2	Викид законодавчо нормованих газоподібних речовин-полютантів, а саме продуктів неповного згоряння моторного палива, у потоці аерозолі ВГ (C_nH_m , CO, PM)	+	+	–
3	Викид опосередковано законодавчо нормованих полютантів, а саме оксидів сірки у потоці аерозолі ВГ (SO_x)	+	–	+
4	Забруднення НПС шумом та вібрацією	+	+	–
5	Забруднення НПС теплотою	+	+	–
6	Викид ПАВ та сполук важких металів у потоці аерозолі ВГ (бенз(а)пірен, ТЕС)	+	+	–
7	Викид законодавчо нормованих газоподібних речовин-полютантів, а саме продуктів повного згоряння моторного палива, у потоці аерозолі ВГ (NO_x)	+	–	+
8	Викид опосередковано законодавчо нормованих полютантів, а саме парникових газів у потоці аерозолі ВГ (CO_2)	+	–	+
9	Викид випарів моторного палива та оливи, спричинені явищами великого та малого дихання резервуару	+	+	–
10	Викид аерозолі картерних газів	+	+	–
11	Забруднення НПС електромагнітними полями	+	+	–
12	Забруднення НПС інформацією	+	+	–
13	Забруднення НПС твердими речовинами-полютантами (відходами)	+	+	–
14	Забруднення НПС рідкими речовинами-полютантами	+	+	–
15	Підвищення вологості атмосферного повітря (H_2O)	+	+	–

Отже, з огляду на вищенаведене можна уточнити і деталізувати запропоновану раніше класифікацію типів забруднення НПС від ПДВЗ як частини ЕУ, представлену в монографії [1] (див. рис. 1.1.3). Таку уточнену класифікацію представлено на рис. 1.2.3.

1.2.7. Визначення поняття «Безаварійна експлуатація ЕУ з ПДВЗ» як частини життєвого циклу

Чинна редакція Правил безпеки дорожнього руху України (ПДР) [32] в розділі 31 «Технічний стан транспортних засобів та їх обладнання» в пункті 31.1 визначає наступне: «технічний рівень транспортних засобів та їх обладнання повинні відповідати вимогам стандартів, що стосуються безпеки дорожнього руху та охорони довкілля, а також правил технічної експлуатації, інструкцій підприємств-виробників та іншої нормативно-технічної документації».

Види факторів ЕБ, джерелом яких є ПДВЗ у складі ЕУ

А. ПОЛЮТАНТИ

А.а. Газоподібні й аерозольні речовини-полютанти

А.а.1. Законодавчо нормовані прямо

А.а.1.1. Викид продуктів неповного згоряння моторного палива у потоці аерозолю ВГ (C_nH_m , CO, PM)

А.а.1.2. Викид продуктів повного згоряння моторного палива, у потоці ВГ (NO_x)

А.а.2. Законодавчо нормовані опосередковано

А.а.2.1. Викид оксидів сірки у потоці аерозолю ВГ (SO_x)

А.а.2.2. Викид ПАВ та сполук важких металів у потоці аерозолю ВГ (бенз(а)пірен, ТЕС)

А.а.2.3. Викид парникових газів у потоці аерозолю ВГ (CO_2)

А.а.3. Законодавчо ненормовані

А.а.3.1. Викид випарів моторного палива та оливи, спричинені явищами великого та малого дихання резервуару

А.а.3.2. Викид аерозолю картерних газів

А.а.3.3. Підвищення вологості атмосферного повітря (H_2O)

А.б. Рідкі речовини-полютанти

А.б.1. Горючі й вибухонебезпечні

А.б.1.1. Моторне паливо

А.б.1.2. Моторна олива

А.б.2. Негорючі

А.б.2.1. Охолоджуюча рідина

А.б.2.2. Гальмівна рідина

А.б.3. Надв'язкі

А.б.3.1. Консистентні змазки

А.б.3.2. Консерваційні змазки

В. ШКІДЛИВІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ

В.а. Енергетичне забруднення НПС

В.а.1. Забруднення НПС шумом та вібрацією

В.а.2. Забруднення НПС теплотою

В.а.3. Забруднення НПС електромагнітними полями

В.б. Інформаційне забруднення НПС

В.б.1. Хибна інформація

В.б.2. Інформаційний шум

В.б.3. Турбуючі фактори

В.с. Споживання невідновного джерела енергії

С. ВІДХОДИ (тверді речовини-полютанти)

С.а. Сплави чорних і кольорових металів

С.б. Полімери і гума

С.с. Кераміка і скло

Рис. 1.2.3 – Уточнена класифікація факторів ЕБ, джерелом яких є ПДВЗ у складі ЕУ

Пункт 31.4 містить наступне: «забороняється експлуатація транспортних засобів згідно із законодавством за наявності таких технічних несправностей і невідповідності таким вимогам» і далі наведено перелік таких несправностей у відповідних підпунктах.

Так, у підпункті 31.4.6 «Двигун» зазначено наступне: «а) вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах або їх димність перевищує встановлені норми стандартів; б) негерметичність паливної системи; в) несправна випускна система».

Пункт 31.5 містить наступне: «у разі виникнення в дорозі несправностей, перерахованих в пункті 31.4 цих Правил, водій повинен вжити заходи щодо їх усунення, а якщо це зробити неможливо, то рухатися якомога коротшим шляхом до місця стоянки або ремонту. ... У разі виникнення під час перевезення несправностей, зазначених у підпункті 31.4.7 ... подальший рух заборонено до їх усунення ... ».

Тобто, в ПДР поняття «експлуатація автотранспортного засобу» ніяк не пов'язане з фактом наявності можливості його самостійного пересування, а тільки в сумі з фактом перебування його в прийнятному або задовільному технічному стані.

АТЗ, які за технічним станом порушує вимоги підпункту 31.4 ПДР і, тим більше, аварійно вийшло з ладу, незалежно від наявності факту його технічної або фактичної здатності самостійно рухатися, не вважається таким, що перебуває в процесі експлуатації.

Також можна зробити висновок, що АТЗ, що знаходиться в стані технічного обслуговування або ремонту, також не може вважатися таким, яке знаходиться в процесі експлуатації.

Тому в табл. 1.2.1 представлені результати аналізу впливу на значення факторів ЕБ витрати палива ПДВЗ тільки в тій частині, яка характеризує процес безаварійної експлуатації.

Одним з напрямків подальших досліджень є якісна й кількісна градація факторів ЕБ в повному їх наборі, представленому в табл. 1.2.1.

1.2.8. Концепція вдосконалення математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію

Основними перевагами математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію є наступні.

А) Врахування значень повного набору законодавчо встановлених показників токсичності ВГ ПДВЗ – питомі масові годинні викиди з потоком ВГ незгорілих вуглеводнів моторного палива і мастила C_nH_m g_{CnHm} , оксидів азоту NO_x g_{NOx} , монооксиду вуглецю CO g_{CO} та твердих частинок (ТЧ) g_{PM} у г/(кВт·год).

Б) Врахування значень питомих ефективних масових годинних витрат палива ПДВЗ g_e у г/(кВт·год), які чинить суттєвий вплив на усі показники ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

В) Має фізичний зміст, а саме є середньоексплуатаційним значен-

ням ефективного ККД ПДВЗ η_{eme} з урахуванням грошових витрат на компенсацію екологічної шкоди НПС, джерелом якої є ПДВЗ.

Г) Врахування особливості моделі експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Д) Врахування питомих значень факторів ЕБ.

Е) Наявність складових, що мають вираз у вартісних еквівалентах.

Альтернативою такому критеріальному апарату може виступити математичний апарат узагальненої функції бажаності Харрінгтона, що має наступні переваги.

А) Наявність внутрішньої психо-фізичної шкали з двома довільно призначеними реперними точками.

Б) Однаково успішне оперування усіма типами наборів вихідних даних, що характеризують відповідно джерело екологічної небезпеки, НПС та реципієнта.

В) Можливість врахування особливостей моделі експлуатації, значень витрат палива двигуном та законодавчо встановлених нормативів токсичності ВГ.

Г) Можливість оперування довільним набором питомих значень факторів ЕБ.

Пропонований підхід базується на аналізі математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію передбачає здійснити означене вдосконалення за наступними напрямками і визначення значень відповідних складових методичної похибки:

а) вибір раціональних одиниць для вираження вартісних еквівалентів складових критерію;

б) вибір раціонального складу набору вихідних даних при незмінній їх кількості;

в) вибір раціонального складу набору вихідних даних при розширенні їх кількості до врахування нових факторів ЕБ;

г) вибір раціональної формули перерахунку для отримання значень масового викиду ТЧ в потоці ВГ з числа відомих;

д) вибір раціонального типу внутрішньої шкали критерію та її реперних точок, що враховує нормативно встановлені вимоги до значень його складових;

е) вибір раціональних критеріїв вагомості окремих складових набору однотипних і різнотипних вихідних даних (враховуваних факторів ЕБ);

ж) вибір раціонального закону розподілу точності вихідних даних, отриманих за обраною формулою перерахунку для отримання значень масового викиду ТЧ в потоці ВГ з урахуванням точності доступних засобів вимірювальної техніки і кількості повторних вимірювань в ході стендових моторних досліджень;

к) вибір раціональних одиниць вимірювання складових критерію – ppm чи % для об'ємних концентрацій газоподібних поллютантів; %, 1/м чи одиниці шкали Bosch для димності;

л) вибір раціонального значення рівнів варіювання координат поля робочих режимів ПДВЗ (щільності розрахункової сітки) в ході отримання

набору вихідних даних стендових моторних досліджень стендових моторних досліджень;

м) розробка і вибір раціональних способів отримання порежимних значень критерію та його складових;

н) розробка і вибір раціональних способів отримання середньоексплуатаційних значень критерію та його складових за наявності закону розподілу значень критерію на всьому полі робочих режимів ПДВЗ;

п) розробка раціональної моделі експлуатації ПДВЗ для ЕУ особливого призначення (наприклад одиниць пожежної та аварійно-рятувальної техніки, військової техніки тощо);

р) розробка методики оцінювання методичної точності формул перерахунку показників токсичності й димності у показники масового годинного викиду ТЧ в потоці ВГ дизельного ПДВЗ.

1.2.9. Наближення комплексного оцінювання показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ

З аналізу наведеного вище у цьому розділі випливає, що у питанні комплексного оцінювання показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ історично можливо виділити три ступеня наближення.

I (перше) наближення – нарізне оцінювання за нормативами викидів поллютантів з потоком ВГ чи ПДК поллютантів у повітрі НПС, середина 80-х рр. – кінець 90-х рр. ХХ ст.

II (друге) наближення – комплексне критеріальне оцінювання за вихідними даними, що складала основу I наближення (врахування лише законодавчо прямо чи опосередковано нормованих показників), наприклад комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова чи інтегральний показник еколого хімічної оцінки проф. П.М. Каніло, кінець 90-х рр. ХХ ст. – середина 10-х рр. ХХІ ст.

III (третє) наближення – комплексне критеріальне оцінювання за вихідними даними, що являють собою повний комплекс (врахування всіх відомих факторів ЕБ), середина 10-х рр. ХХІ ст. – теперішній час.

Такий підхід може бути проілюстрований вмістом табл. 1.2.2.

1.2.10. Висновки по розділу

Таким чином, в даному дослідженні описані результати обґрунтування вибору математичного апарату для комплексного розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації одиниць ЕУ з ПДВЗ, на основі аналізу вже відомих.

Запропоновано класифікацію таких математичних апаратів, найбільш придатних для врахування особливостей об'єкта оцінювання, за видом набору вихідних даних на «внутрішні», «зовнішні», «універсальні» й «реципієнтні».

Таблиця 1.2.2 – Наближення комплексного оцінювання показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ

Наближення	I (перше)	II (друге)	III (третє)
Номенклатура факторів	1. Викиди, питомі викиди. 2. ПДК, нормативи.	1. Викиди, питомі викиди. 2. ПДК, нормативи. 3. Витрата палива.	1. Викиди, питомі викиди. 2. ПДК, нормативи. 3. Витрата палива. 4. Інші.
Тип факторів	Законодавчо нормовані прямо	Законодавчо нормовані прямо і опосередковано	Законодавчо нормовані прямо і опосередковано та ненормовані
Спосіб врахування	Нарізно	Комплексно	Комплексно
Період	серед. 80-х рр. – кін. 90-х рр. XX ст	кін. 90-х рр. XX ст. – серед. 10-х рр. XXI ст.	серед. 10-х рр. XXI ст. – тепер. час

Проведено аналіз переваг і недоліків таких апаратів й методик їх застосування. Виявлено, що жоден з досліджених критеріальних апаратів не враховує повний набір факторів ЕБ процесу безаварійної експлуатації оцінюваних об'єктів. Обґрунтовано пріоритетність використання типів критеріальних математичних апаратів. Пріоритетними визнані «внутрішні» критеріальні апарати.

Обґрунтовано рекомендація використання переважного із пріоритетних критеріальних математичних апаратів – комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова як єдиного, який оперує повним набором законодавчо нормованих факторів ЕБ, має фізичний сенс, враховує витрату палива двигуном, має внутрішню шкалу з однією реперною точкою.

Визначено обмеження на застосування поняття «безаварійна експлуатація ЕУ з ПДВЗ».

Проаналізовано вплив витрати палива двигуном на фактори ЕБ процесу безаварійної експлуатації оцінюваних об'єктів.

Розширено класифікацію факторів ЕБ, джерелом яких є ПДВЗ у складі ЕУ.

Виявлено, що рекомендований критеріальний математичний апарат позбавлений можливості враховувати законодавчо встановлені нормативи чинників, що враховуються, отримання їх порежимних значень, а також врахування більш широкого спектра факторів ЕБ. Розроблено концепцію вдосконалення математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію.

Виділено і описано наближення комплексного оцінювання показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Розділ 1.3. МОТОРНИЙ ВИПРОБУВАЛЬНИЙ СТЕНД ЯК ДЖЕРЕЛО ФАКТОРІВ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.3.1. Постановка проблеми

Як відомо, метою будь-яких наукових досліджень є створення нового інтелектуального продукту фундаментального чи прикладного характеру, що вирізняється науковою новизною і практичною цінністю.

При цьому цей продукт на шляху від початкової ідеї до її втілення у вигляді впровадженого у серійне виробництво конкурентоздатного виробу певного найменування обов'язково проходить стадію експериментальних досліджень його робочих характеристик.

Остання обставина зумовлює потребу у розробці відповідних програм і методик, проектуванні й виготовленні експериментальних зразків та створення і вдосконалення відповідної матеріальної бази – стендів, установок, засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та ін.

Однак, будь-які експериментальні дослідження об'єктів що мають відношення до енергетичних установок (ЕУ), окрім так званого мисленого експерименту, характеризуються тими чи іншими факторами небезпеки.

Тому роботи, що направлені на виявлення, аналіз та максимальне зниження чи повне виключення факторів небезпеки, джерелами яких можуть бути експериментальні установки і стенди, є актуальними, оскільки здоров'я і життя дослідника – це цінності значно більшого порядку, аніж будь-які нові наукові знання.

1.3.2. Аналіз літературних джерел

У відділі поршневих енергоустановок (ПЕУ, наразі – відділ водневої енергетики) Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України (ІПМаш НАНУ) за участю співробітників кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України (НУЦЗУ) розроблено фільтр твердих частинок (ФТЧ) дизельного поршневого двигуна внутрішнього згорання (ПДВЗ) з модульним фільтрувальним елементом (ФЕ) нової нетрадиційної конструкції з насипкою з природного цеоліту у сітчастих касетах [13, 36, 39]. Декілька варіантів його конструкції втілено «в металі» у вигляді діючих макетів ФЕ ФТЧ.

Їх робочі характеристики у реальних умовах експлуатації досліджено на моторному випробувальному стенді (МВС) лабораторії відділу ПЕУ [13, 36 – 39]. Як вказано у вступі, моторні дослідницькі стенди є унікальними виробами, що вирізняються високою науковістю, енергонасиченістю та різноманітним принципом роботи окремих агрегатів.

Для цих агрегатів, як і для самого приміщення лабораторії, вироблено вимоги техніки безпеки при роботі та заходи і засоби їх реалізації.

Проте, науково-дослідних робіт, що мають на меті всебічне і, головне, комплексне дослідження аспектів виробничої, екологічної, пожежної та вибухової безпеки проведення експериментальних моторних дослід-

жень, вочевидь проводиться недостатньо. Для такого дослідження, перш за все, необхідні вихідні дані щодо переліку і значень факторів такої небезпеки. Цьому аспекту і присвячено дане дослідження.

Метою даного дослідження є описання будови МВС для подальшого виявлення і аналізу факторів виробничої, екологічної, пожежної та вибухової безпеки проведення експериментальних моторних досліджень на ньому.

Об'єктом даного дослідження є фактори виробничої, екологічної, пожежної та вибухової небезпеки, джерелом яких є МВС.

Предметом даного дослідження є склад і особливості конструкції МВС як унікального об'єкта і джерела наукових даних.

Задачі даного дослідження відповідають окремим пунктам мети, тобто це наступні пункти.

1. Виокремлення загальних конструктивних особливостей МВС, що характеризують об'єкт дослідження.

2. Аналіз і описання складу й конструкції МВС, системи його ЗВТ, модернізованих випускної системи та системи відбору проб ВГ на токсичність та димність.

3. Аналіз факторів небезпеки, джерелом яких є трансмісія МВС, зокрема маховик дизеля.

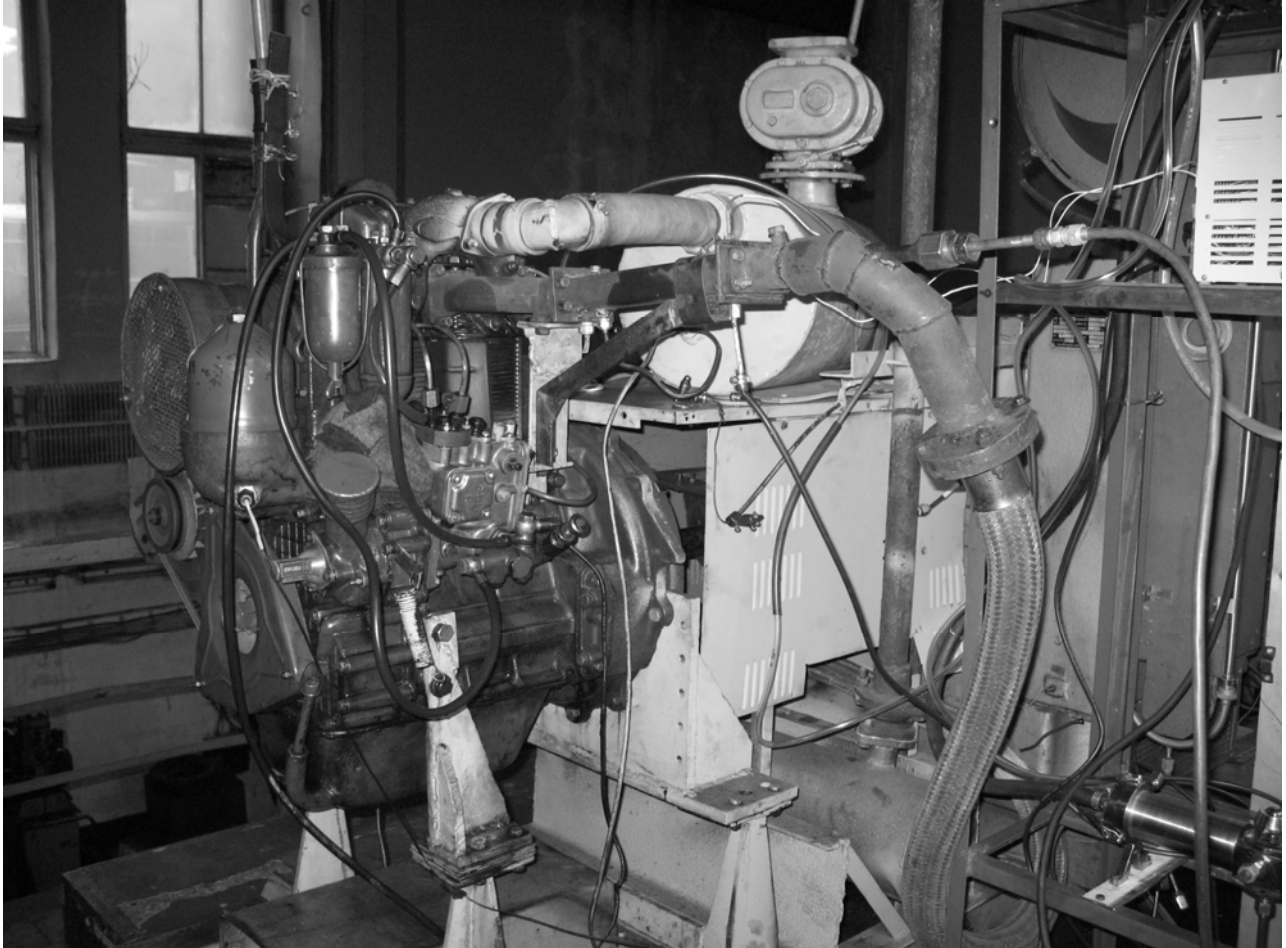
1.3.3. Описання складу, конструкції моторного і технічних характеристик випробувального стенду і дизеля 2Ч10,5/12

МВС являє собою складну систему взаємопов'язаних ЕУ. Зовнішній вид МВС і модернізовану систему його ЗВТ подано на рис. 1.3.1 і 1.3.2, а його схему – на рис. 1.3.3.

На рис. 1.3.3 застосовано наступні позначення:

1 – дизель Д21А1; 2 – навантажувальна машина (мотор-генератор IDP 924-4); 3 – пульт керування; 4 – карданний вал з захисним кожухом; 5 – фундаментна рама; 6 – витяжна вентиляція; 7 – динамометр DS 742-4/N; 8 – паливний насос високого тиску; 9 – всережимний регулятор частоти обертання колінчастого валу; 10 – муфта зміни кута випередження впорскування; 11 – бак паливний; 12 – вказувач рівня палива у баці; 13 – електрогідравлічний автоматичний клапан доливу палива; 14 – ваги лабораторні 2 кл. ВЛР-200; 15 – оптичний датчик; 16 – витратна ємність вимірювача витрат палива; 17 – навіска (еталонна вага); 18 – щуп-оливомір чи датчик температури оливи у піддоні дизеля; 19 – датчик температури оливи у піддоні дизеля ТМ100В; 20 – випускний колектор; 21 – впускний ресивер; 22 – лічильник газу ротаційний РГ-100; 23, 40 – ртутний термометр ТЛ-4 №2 (0 – 50 °С); 24 – психрометр; 25 – дроселююча шайба вимірювача витрат повітря на впуску; 26, 34 – диференційний U-подібний манометр ДМ; 27 – вентилятор системи охолодження дизеля; 28 – випускний колектор; 29 – глушитель шуму ВГ; 30 – відбірник проб ВГ на токсичність; 31 – тримач фільтра для визначення димності ВГ; 32 – газоаналізатор п'ятикомпонентний Автотест-02.03П; 33 – випускний тракт; 35 –

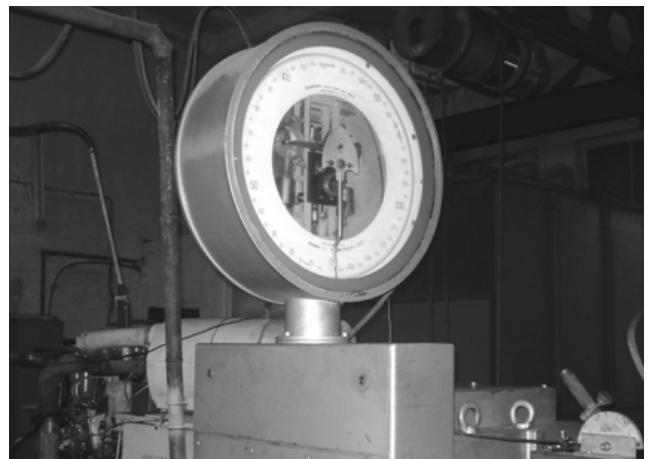
від'єднувальна муфта навантажувальної машини; 36, 37 – ручка і канат керування; 38 – барометр-анероїд БАММ-1М; 39 – таймер; 41 – прилад А-565; 42, 43, 45 – частотомір-хронометр Ф-5040 чи Ф-5041; 44 – прилад А-566; 46 – відмітчик ВМТ; 47 – термометр опору ТСМ; 48 – датчик тиску оливи; 49 – манометр МО



а



б



в

Рис. 1.3.1 – Моторний випробувальний стенд:
 а – загальний вид стенду; б – пульт керування стендом;
 в – навантажувальна машина з динамометром [А.1]

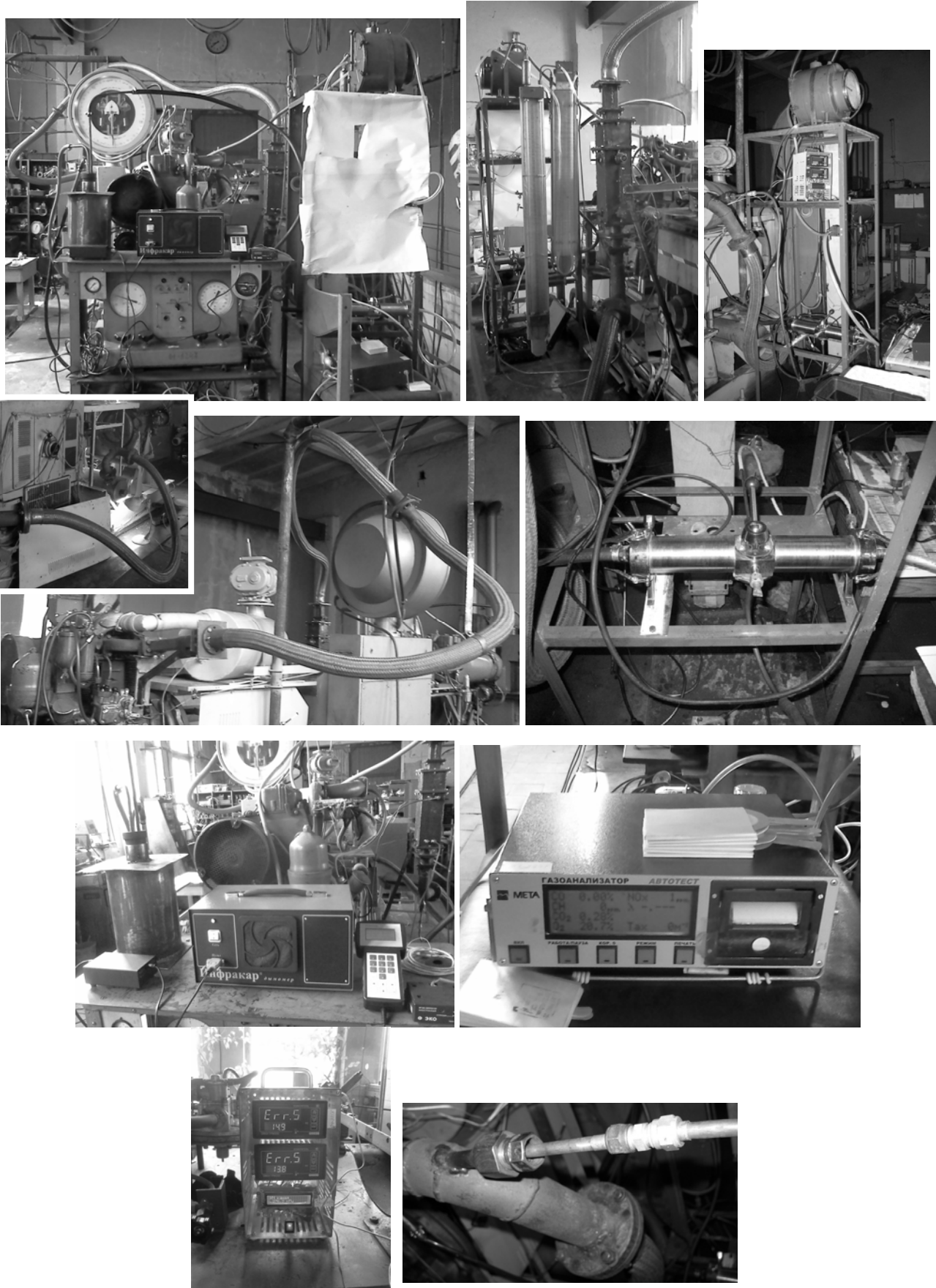


Рис. 1.3.2 – Засоби виміральної техніки моторного випробувального стенду [А.1]

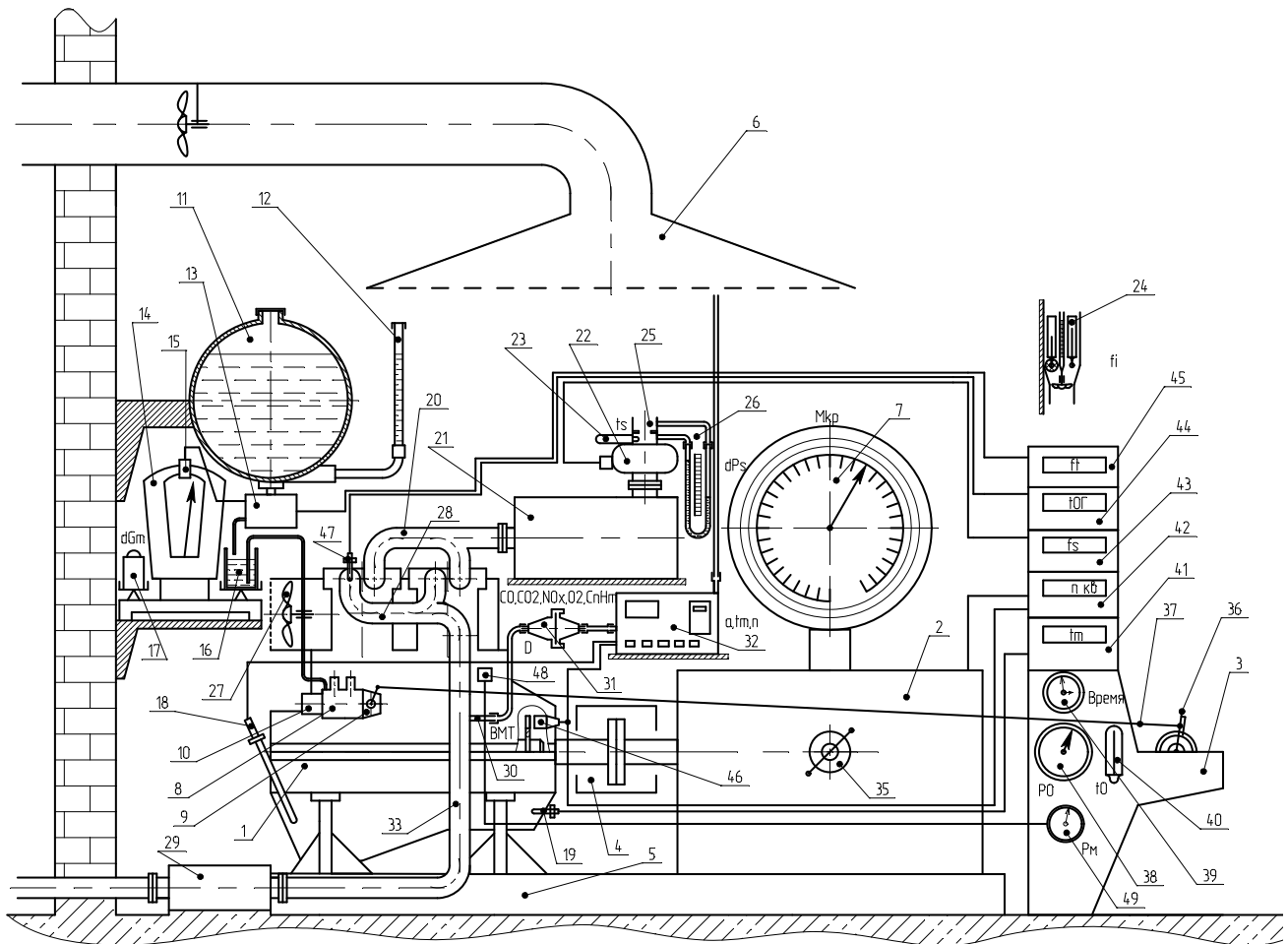


Рис. 1.3.3 – Схема моторного випробувального стенда [A.5]

Перелік і описання установок подано далі.

1) Стенд містить електричну навантажувальну машину фірми VSE-TIN з динамометром постійного струму типу DS 742/4-N, у складі якої є шафа управління типу VH 136, двохмашинний агрегат (мотор-генератор) типу IDP 942-1 і пульт керування [37].

2) На МВС встановлено автотракторний дизель 2Ч10,5/12 (Д21А1) [38] у якості об'єкту дослідження (див. рис. 1.3.4 – 1.3.6). У випадку дослідження робочих характеристик розробленого ФТЧ дизель є генератором аерозолі твердих частинок (ТЧ) у потоці відпрацьованих газів (ВГ).

Коротка характеристика дизеля наступна [38].

Д21А1 (2Ч10,5/12) – це автотракторний безнаддувний двоциліндровий рядний чотиритактний двоклапаний поршневий двигун внутрішнього згорання із внутрішнім сумішоутворенням та займанням від стискування, якісним регулюванням потужності. Дизель має систему повітряного охолодження обдуванням окремих орєбраних циліндрів зі спрямним кожухом та їх головок всмоктувальним вентилятором з приводом від клиноремінної передачі. Двигун має традиційний тронковий аксіальний кривошипно-шатунний механізм з повноопірним колінчастим валом та маховиком. Діаметр циліндра дизеля 105 мм, хід поршня 120 мм і довжина шатуна 270 мм, з робочий об'єм 2,0 л і ступінь стиску 16,5, середня швидкі-

сть поршня 7,2 м/с. Газорозподільчий механізм дизеля має нижнє розміщення розподільчого валу і його приводу, що приводить до руху впускні й випускні клапани циліндрів через штанги і коромисла, а також обладнано декомпресійним механізмом. Двигун обладнано системою врівноваження сил і моментів інерції поступально рухаючихся мас I роду та обертально рухаючихся мас. Пуск дизеля відбувається від електростартера та з використанням свічок розжарювання. Номінальна потужність дизеля 21,3 кВт (при 1800 хв⁻¹), максимальний крутний момент 111 Н·м (при 1200 хв⁻¹), частота обертання колінчастого валу режиму мінімального холостого ходу 800 хв⁻¹, максимальна – 1900 хв⁻¹. Середньоексплуатаційні значення питомих ефективних масових годинних витрат палива 235 г/(кВт·год), ефективного ККД 0,352, механічного ККД 0,625, індикаторного ККД 0,575. Максимальний тиск згоряння (на режимі номінальної потужності) 8,0 МПа, максимальна температура згоряння 1900 °С, максимальний середній ефективний тиск 0,35 МПа. Двигун має систему паливободачі з безпосереднім впорскуванням палива у нерозділену напівсферичну несиметричну камеру згоряння у поршні гідромеханічними форсунками від одноплунжерного паливного насосу високого тиску розподільчого типу з всережимним механічним регулятором (не обладнаний системою автоматичного керування). Маса дизеля 280 кг, габаритні розміри 693 × × 687 × 855 мм.

Він виготовлений Володимирським тракторним заводом, є членом типорозмірного ряду (сімейства) дизелів з 1 – 4 циліндрами та застосовується на тракторах, самохідних шасі й селекційних комбайнах, асфальто і бетоноукладчиках, пересувних електрозварювальних, водонасосних й повітрокомпресорних станціях.

На рис. 1.3.4 – 1.3.6 містяться наступні позначення:

1 – привід тахоспидометра чи лічильник мотогодин; 2 – насос паливний; 3 – свічка підігріву; 4 – трубопровід впускний; 5 – трубопровід випускний; 6 – фільтри паливні; 7 – кронштейн; 8 – пробка мастилозаливної горловини; 9 – вказувач рівня мастила; 10 – пробка спускного отвору; 11 – картер мастильний; 12 – генератор; 13 – картер двигуна; 14 – стартер; 15 – хомут кріплення вентилятора; 16 – кожух напрямлюючий вентилятора; 17 – фільтр мастильний (реактивна центрифуга); 18 – вентилятор; 19 – вказувач ВМТ; 20 – форсунка; 21 – клапан; 22 – головка циліндра; 23 – циліндр; 24 – поршень; 25 – шатун; 26 – вал колінчастий; 27 – валик врівноважувального механізму; 28 – шестерня проміжна газорозподільного механізму; 29 – дефлектор передній; 30 – мастилозабірник; 31 – стартер; 32 – задній рефлектор системи охолодження; 33 – трубопровід впускний; 34 – фільтр повітряний; 35 – поршневий палець; 36 – циліндр; 37 – картер маховика; 38 – валик врівноважувального механізму.

3) Система ЗВТ стенду, що містить датчики, прилади та інформаційні канали, які надають інформацію щодо регульовальних та режимних параметрів роботи дизеля, навантажувальної машини й інших агрегатів стенду та їх контролюють [39].

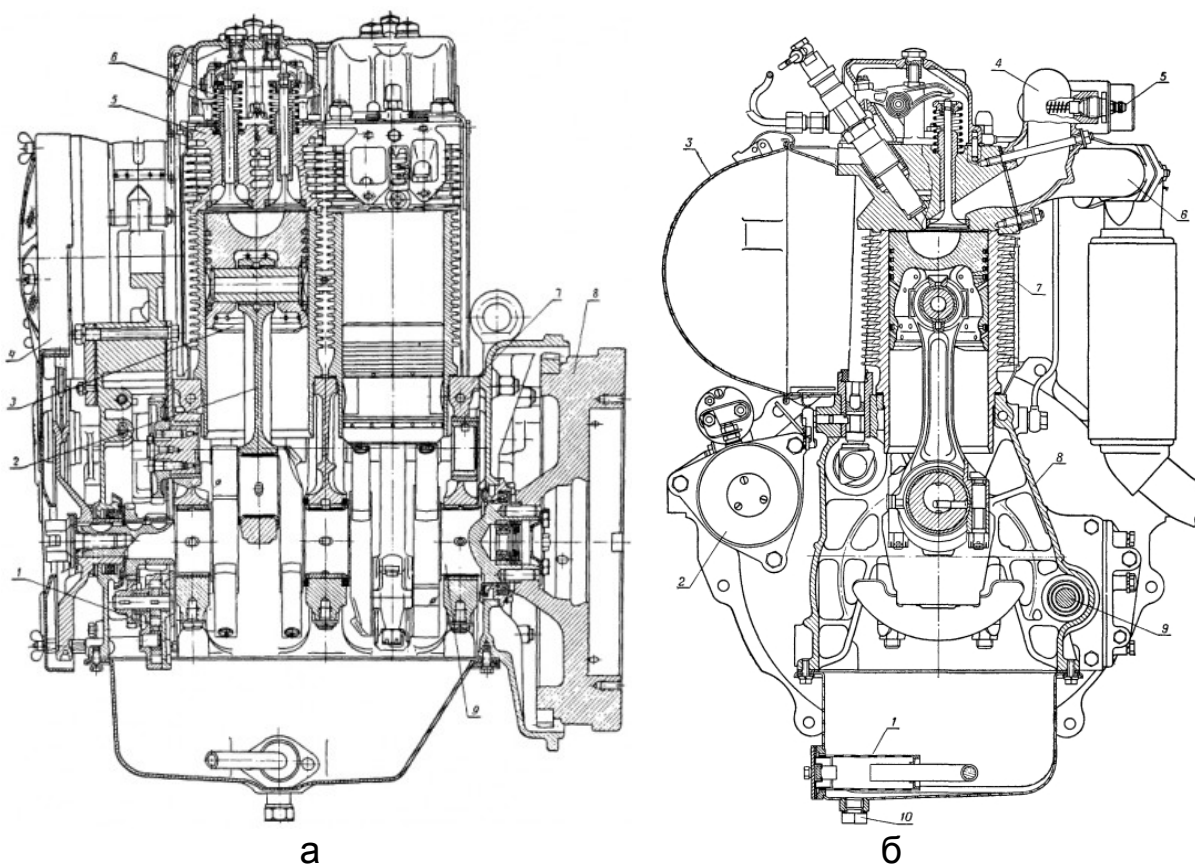


Рис. 1.3.4 – Дизель Д21А1 (2С10,5/12) – повздовжній (а) і попереківий (б) перерізи [38]

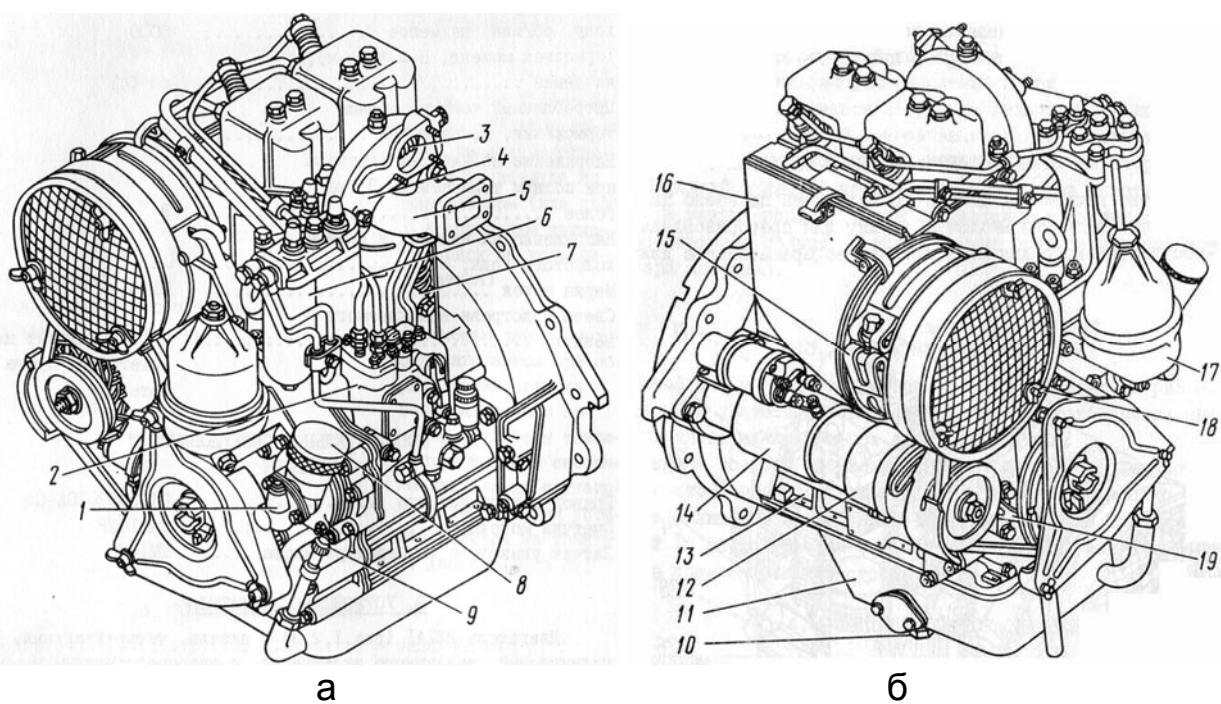
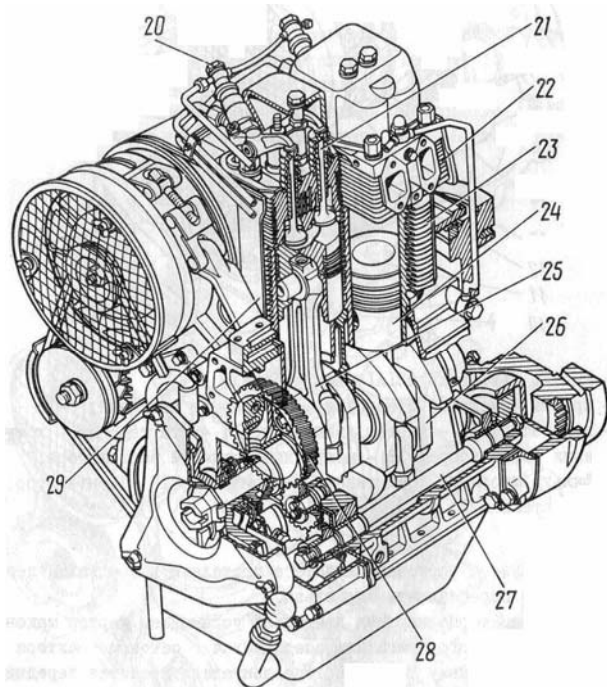
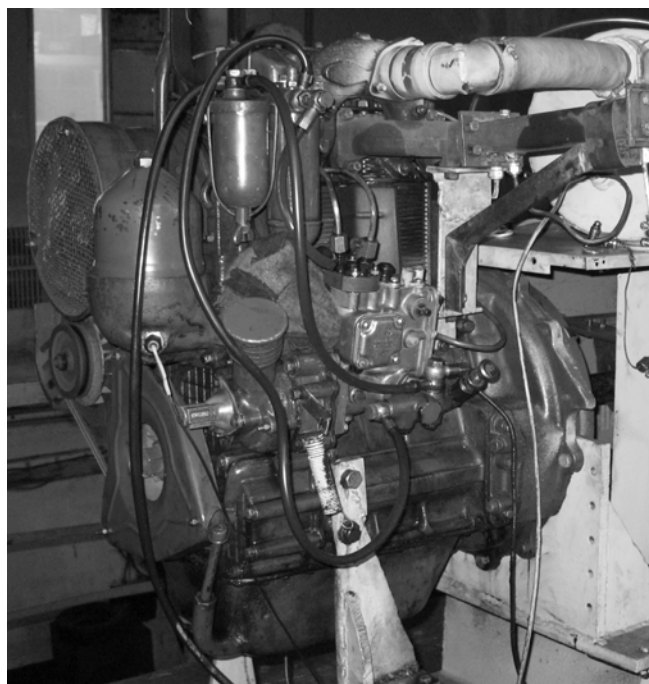


Рис. 1.3.5 – Дизель Д21А1 (2С10,5/12): вид з правого боку (а), вид з лівого боку (б) [38]



а



б

Рис. 1.3.6 – Дизель Д21А1 (2С10,5/12): аксонометричний розріз (а), зовнішній вид на МВС (б) [38, А.1]

4) Дизель і навантажувальна машина встановлені на зварній сталевій фундаментній рамі, що спирається на демпферовану бетонну основу (фундамент).

5) Трансмісія стенду, що сполучає шліцьовим валом з карданними шарнірами маховик дизеля і фланець мотор-генератора, закритий захисним кожухом.

1.3.4. Модернізована випускна система стенду і система відбору проб ВГ на токсичність і димність

Для забезпечення проведення випробувань дизельного ПДВЗ з ФТЧ випускною системою МВС було модернізовано, шляхом доповнення її місцем встановлення експериментальних зразків (макетотримачем – МТ), новими системами відбору проб ВГ на токсичність і димність та вимірювання газодинамічних параметрів потоку ВГ.

Схему модернізованих систем наведено на рис. 1.3.7 і докладно описано у дослідженнях [36, 39]. МВС з модернізованою випускною системою використовувався для досліджень у роботах [13, 39]. Попередні результати таких досліджень наведено у [43 – 47]. Схему розміщення датчиків у модернізованій випускній системі наведено на рис. 1.3.9.

Ескіз та зовнішній вид МТ у різних його положеннях на МВС наведено на рис. 1.3.8.

Випробування на стенді проводяться у відповідності до програм і методик відділу ПЕУ ІПМаш НАНУ, а також положеннями наступних стандартів: ГОСТ 18509-88 і ГОСТ 14846-87 [40, 41].

Таблиця 1.3.1 – ЗВТ та допоміжні пристрої МВС [51 – 62]

Найменування вимірюваного параметра	Позначення і діапазон вимірювання	№поз. на схемі	Засіб вимірювальної техніки
Частота обертання колінчастого валу	$n_{кв}$, 800 – 1800 хв ⁻¹	7 46 32	Вимірювальний комплекс IDS-742 4/N чи відмітчик ВМТ та газоаналізатор 5-ти компонентный Автотест-02.03П
Крутний момент	$M_{кр}$, 0 – 120 Н·м	7	Вимірювальний комплекс IDS-742 4/N
Час витрати навіски дизельного палива	τ , 0 – 600 с	14 і 17 17 13 15 45	Ваги 1 кл. ВЛР-1 та навіска та електрогідравлічний автоматичний клапан долива палива та оптичний датчик та частотомір-хронометр Ф-5041
Об'ємна годинна витрата повітря	$V_{пов}$, 30 – 100 м ³ /ч	22 43	Лічильник газу РГ-100 та частотомір-хронометр Ф-5040
Перепад тиску на впуску повітря	$\Delta P_{вп}$, 0 – 300 мм в. ст.	25 26	Дроселюча шайба та Дифманометр типу ДМ
Перепад тиску на випуску ВГ	$\Delta P_{вип}$, 0 – 300 мм в. ст.	34	Дифманометр типу ДМ
Температура ВГ	$t_{ВГ}$, 0 – 1400 °С	47 44	Прилад А566 та Термопара типу ТХА
Температура мастила	t_M , 80 – 100 °С	19 41 18 32	Датчик ТМ100В та прилад А565 чи датчик та газоаналізатор 5-компонентный Автотест-02.03П
Температура палива	$t_{пал}$, 10 – 40 °С	-	Прилад А566, датчик 10011
Температура повітря на впуску	$t_{пов}$, 5 – 40 °С	23	Ртутний термометр лабораторний ТЛ-4 ГОСТ 215–73 0 – 50 °С
Температура атмосферного повітря	t_0 , 0 – 50 °С	40	– // –
Атмосферний тиск	B_0 , 80 – 106 кПа	38	Барометр-анероїд БАММ-1М
Вологість повітря	φ_0 , 0 – 100 %	24	Психрометр
Лінійні розміри зразків, l , мм	0 – 500 1 – 250	–	Штангенциркуль ШЦ-1 і слюсарна лінійка
Час відбору проби ВГ	$\tau_{пр}$, 0 – 300 с	–	Секундомір СОСпр-2а
Об'ємна концентрація у ВГ NO _x	C_{NOx} , 0 – 5000 млн ⁻¹	32	Газоаналізатор Автотест-02.03.П
СО	$C_{СО}$, 0 – 5 %	32	– // –
O ₂	C_{O_2} , 0 – 21 %	32	– // –
СО ₂	$C_{СО_2}$, 0 – 16 %	32	– // –
C _n H _m	$C_{СН}$, 0 – 2000 млн ⁻¹	32	– // –
Димність ВГ	D , 0 – 100 % N_D , 0 – 100 %, K , м ⁻¹	30 31	Відбірник проб ВГ та фільтр тефлоновий у тримачі Димомір ИНФРАКАР-Д

Програми досліджень побудовано на основі стандартизованих випробувальних 13-ти і 8-ми режимних циклів, що являють собою моделі експлуатації автомобільних і тракторних дизельних ПДВЗ відповідно та описані у Правилах ЄЕК ООН № 49 і № 96.

Їх адаптовано до можливостей матеріальної бази лабораторії відділу ПЕУ, особливості адаптації описано у [36].

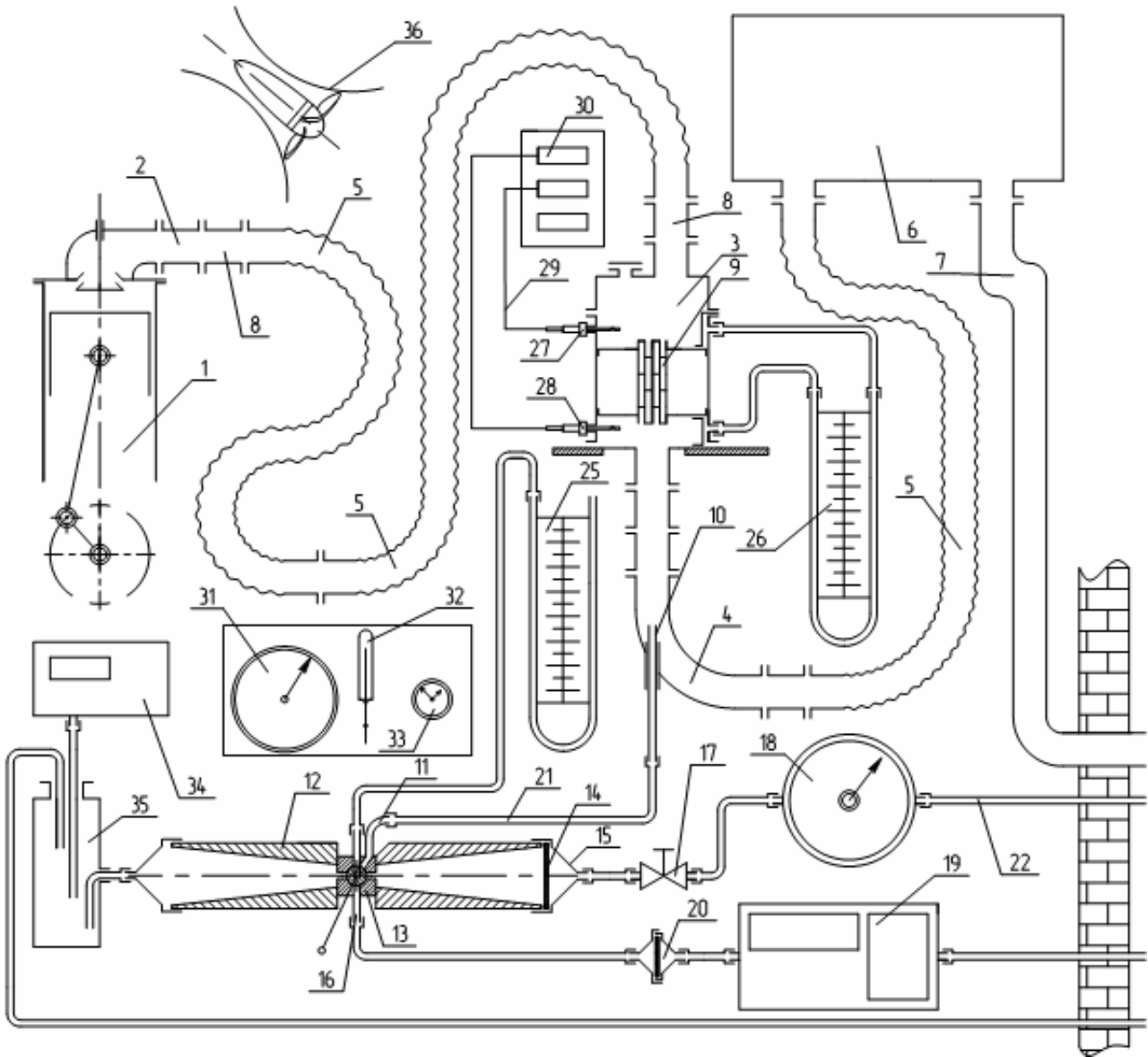
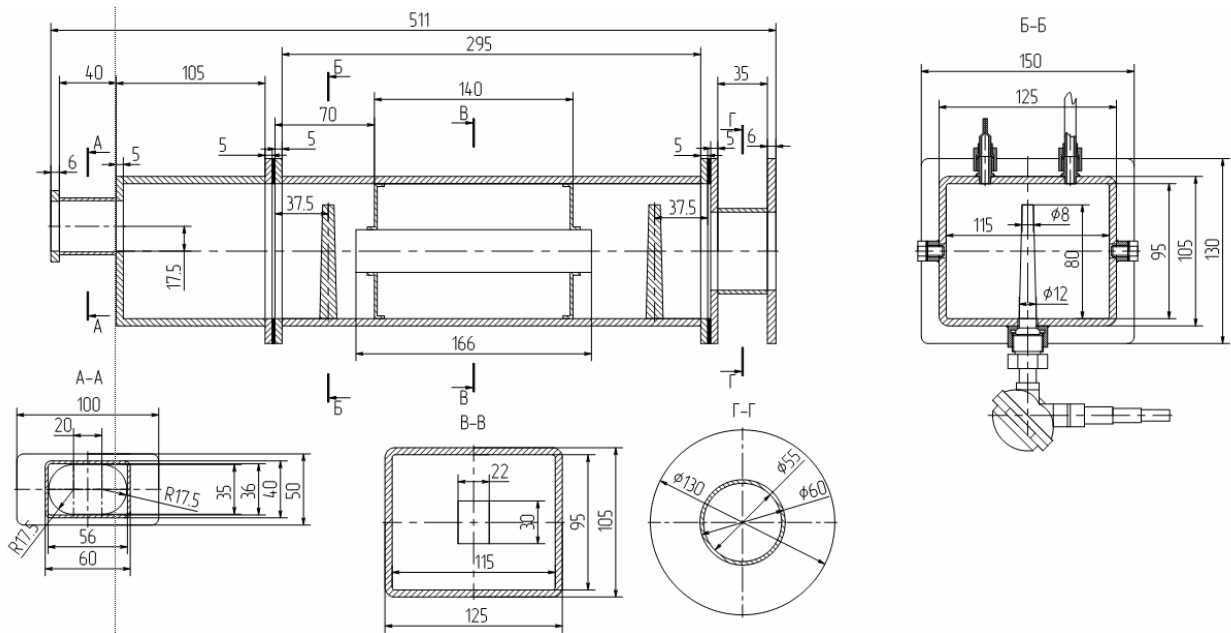


Рис. 1.3.7 – Схема модернізованої системи відбору проб ВГ на токсичність і димність МВС [А.11]

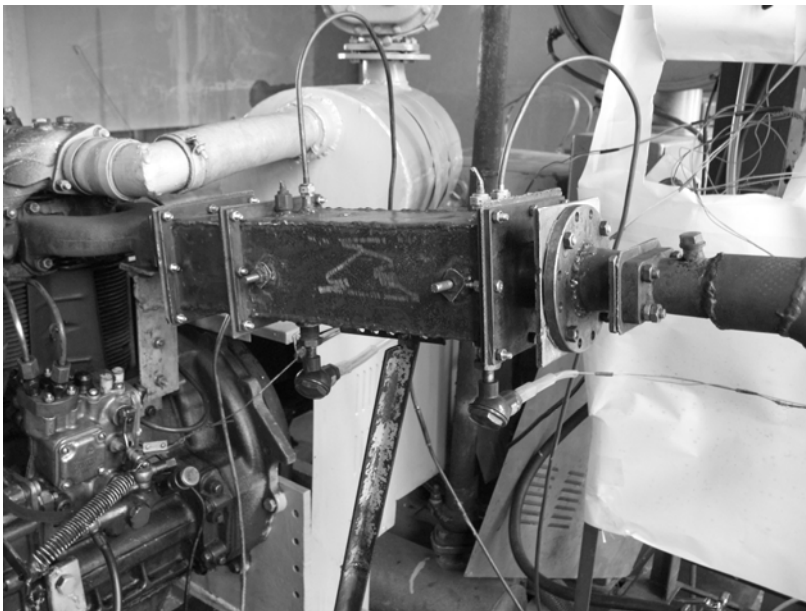
На рис. 1.3.7 застосовано наступні позначення:

1, 2 – дизель 2Ч10,5/12 і його випускний колектор; 3, 9 – макетотримач (МТ) і макет ФТЧ; 4, 5, 6, 7, 8 – кутовий і гнучкі газопроводи, глушник шуму, газовивідна труба і перехідники відповідно; 10, 21, 22, 23, 24 – пробо-відбірний зонд і його з'єднувальний газопровід, вивідні газопроводи; 11, 12, 13, 14, 15, 16 – відповідно вхідний штуцер, конус, чотирьохходовий

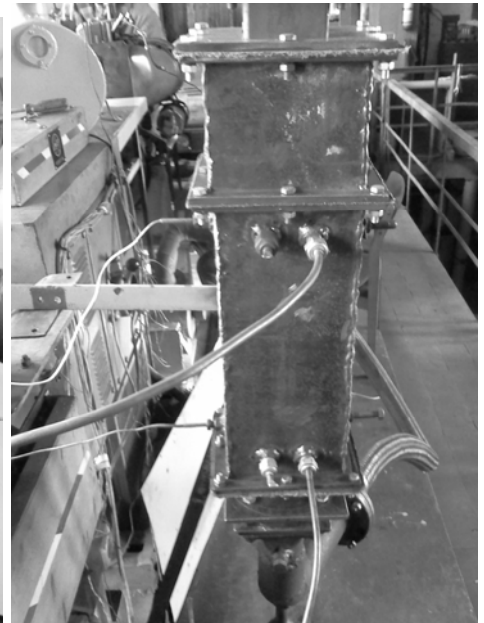
кран, змінний тефлоновий фільтр, ковпак та вихідний штуцер алонжа; 17 – регулюючий кран і вивідні трубопроводи; 18 – витратомір газу ГСБ-400; 19, 20 – п'ятикомпонентний газоаналізатор Автотест-02.03П і його захисний фільтр з тримачем; 25, 26 – дифманометри ДМ; 27, 28, 29 – датчики термометричні ТХА і їх дроти; 30 – прилади ОВЕН ТРМ 200; 31 – барометр-анероїд БАММ-1М; 32 – термометр ртутний ТЛ-4; 33 – секундомір СОСпр-2б-2; 34 – димомір ІНФРАКАР-Д, 35 – вимірювальний ресивер (6,36 дм³); 36 – повітрорудувка



а



б



в

Рис. 1.3.8 – Макетотримач:
а – ескіз; б – у горизонтальному положенні на МВС;
в – у вертикальному положенні на МВС [А.11]

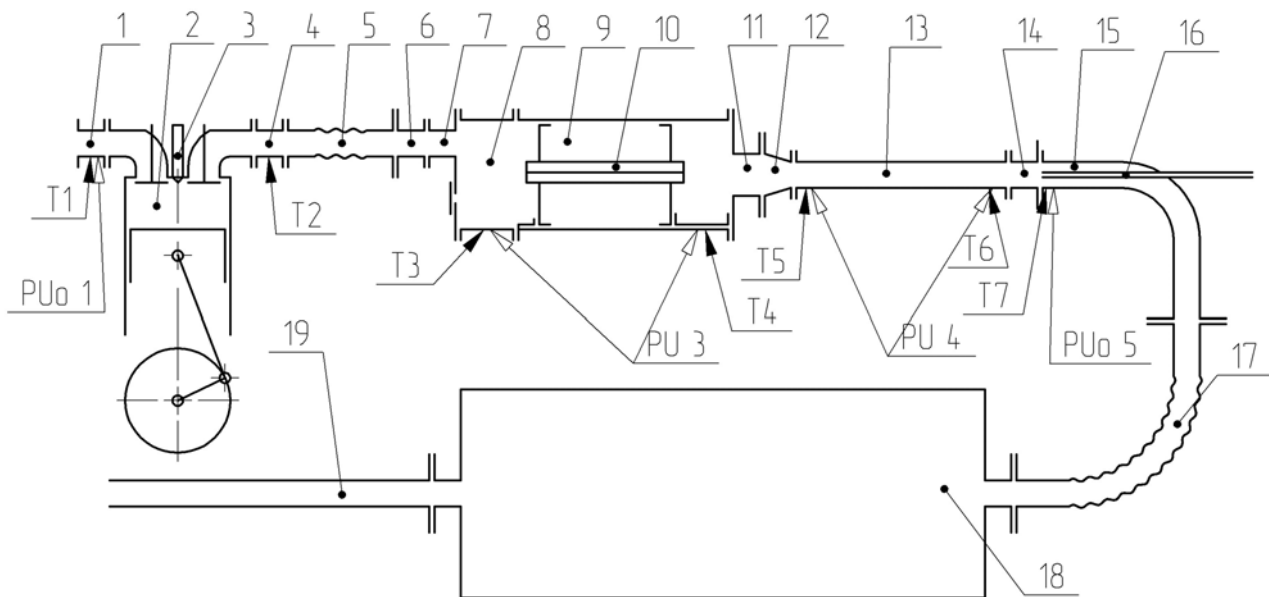


Рис. 1.3.9 – Схема розміщення датчиків у модернізованій випускній системі

На рис. 1.3.9 застосовано наступні позначення:

1 – впускний колектор дизеля; 2 – камера згоряння дизеля; 3 – паливна форсунка дизеля; 4 – випускний колектор дизеля; 5, 17 – гнучкий жароміцний трубопровід; 6 – перехідник на вході у корпус фільтра універсальний; 7 – вхідний патрубок корпусу фільтра; 8 – камера згоряння корпусу фільтра; 9 – корпус фільтра; 10 – діючий макет фільтрувального елемента; 11 – вихідний патрубок корпусу фільтра; 12 – перехідник на виході з корпусу фільтра; 13 – потокозаспокійлива трубка пробовідбірної системи; 14 – перехідник на виході з трубки універсальний; 15 – коліно пробовідбірної системи; 16 – пробовідбірний зонд; 18 – глушник шуму випуску дизеля; 19 – газовивідна трубка; T1 ... T7 – місця встановлення (штуцери) датчиків температури (термопар ТХА); PU_{0.1} і PU_{0.5} – місця встановлення (штуцери) імпульсних трубок U-подібних рідинних диференційних манометрів, друга імпульсна трубка яких сполучена з атмосферою; PU3 і PU4 – місця встановлення (штуцери) імпульсних трубок U-подібних рідинних диференційних манометрів, що вимірюють перепад тисків на елементах випускної системи дизеля

1.3.5. Аналіз факторів небезпеки при стендових моторних дослідженнях

Усі перелічені структурні складові МВС характеризуються певним набором факторів виробничої, екологічної, пожежної та вибухової небезпеки.

Фактори небезпеки досліджень на МВС доцільно розглянути для агрегатів МВС окремо одне від одного, що і буде предметом подальших досліджень [42].

Також стенд, як унікальний виріб, являє собою достатньо складний

об'єкт метрологічних досліджень. У роботі [49] ці його особливості проаналізовано.

У даному дослідженні також виявлено і проаналізовано фактори, джерелом яких є трансмісія ственду, їх докладно описано і проаналізовано у дослідженні [48].

Креслення і розрахункову схему маховика наведено на рис. 1.3.10.

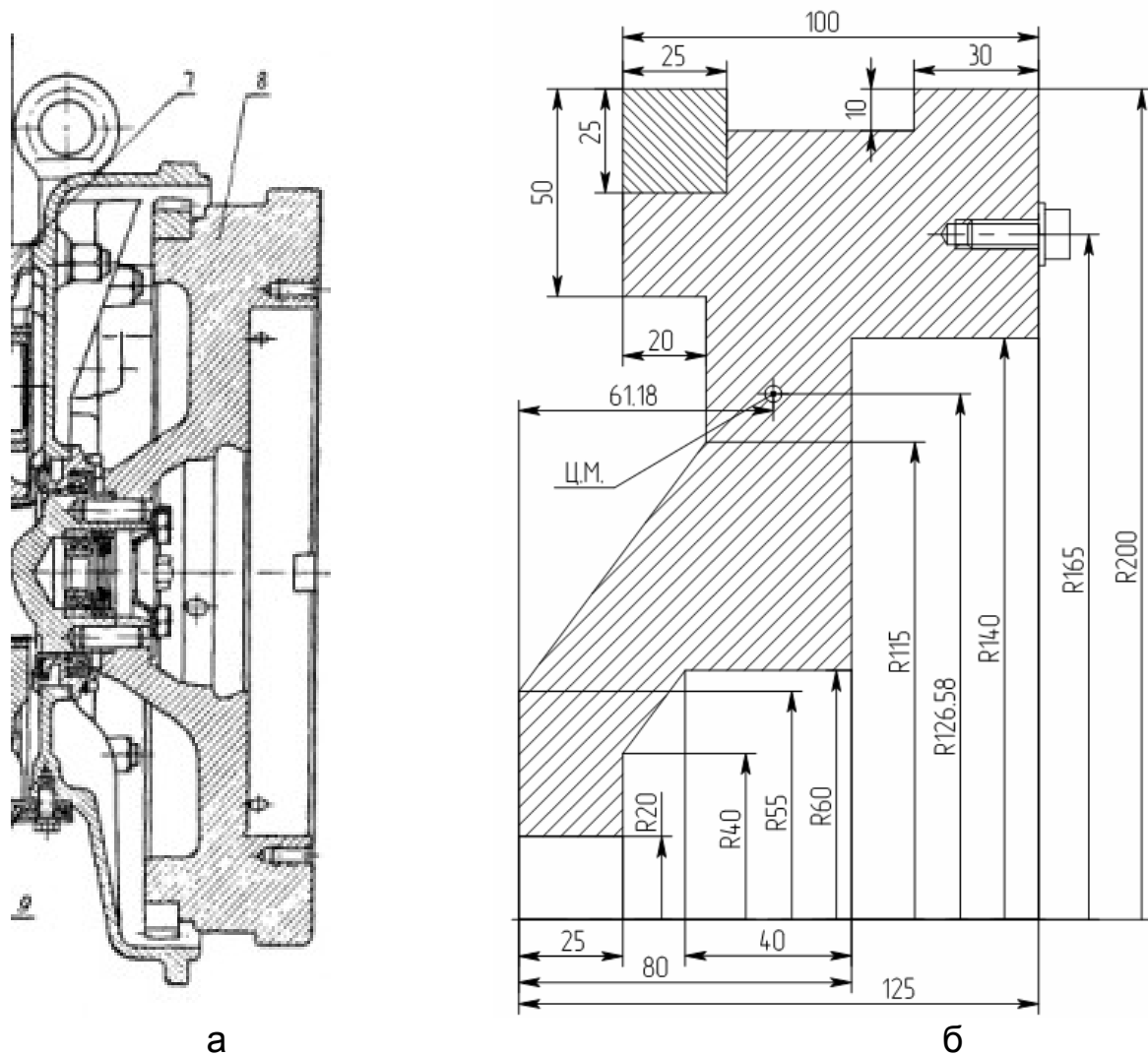


Рис. 1.3.10 – Маховик дизеля 2Ч10,5/12 (а)
і розрахункова схема маховика (б) [А.14]

Трансмісія МВС сполучає маховик дизеля і вхідний фланець валу мотор-генератора, містить накопичувачі механічної енергії (маховик і вал мотор-генератора), деталі карданних шарнірів та дрібні деталі їх кріплення, що рухаються з великими радіальними швидкостями та розміщені на великих радіусах.

Середня швидкість поршня дизеля Д21А1 складає 7,2 м/с.

Момент інерції маховика складає $0,95494 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, його механічна енергія 16,965 кДж (для порівняння – дульна енергія пострілу автомату АК-74 патроном 7,62x39 мм становить до 2,0 кДж), маса 59,6 кг, найбільший

радіус 0,200 м.

Лінійна швидкість руху зубців вінцю маховика на режимі з максимальною частотою обертання колінчастого валу дизеля 1800 хв^{-1} складає $37,7 \text{ м/с}$, а їх доцентрове прискорення – $7106,5 \text{ м/с}^2$, що при масі одного зубця 15 г надає відламаному зубцю кінетичної енергії $10,7 \text{ Дж}$ і силу інерції $106,6 \text{ Н}$.

Лінійна швидкість руху деталей кріплення (гайок, бовтів, шайб, гроверів) у трансмісії МВС складає $30,2 \text{ м/с}$, а їх доцентрове прискорення $5862,8 \text{ м/с}^2$, що при масах, співставних з масою зубця дає значення кінетичної енергії $6,8 \text{ Дж}$ і сили інерції $87,9 \text{ Н}$.

1.3.6. Описання конструкції ФТЧ

Для забезпечення покращення рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації дизельного ПДВЗ, яким обладнано МВС, а значить ЕБ процесу стендових моторних експериментальних досліджень, розроблено дві конструкції модульного ФЕ для ФТЧ нової нетрадиційної конструкції [39].

Ескіз конструкції ФЕ № 1 наведено на рис. 1.3.11, ескіз її модуля – на рис. 1.3.12, а зовнішній вигляд діючого макету з такою конструкцією – на рис. 1.3.13. Ескіз конструкції ФЕ № 2 наведено на рис. 1.3.14, ескіз її модуля – на рис. 1.3.15, а зовнішній вигляд діючого макету з такою конструкцією – на рис. 1.3.16.

Технічну характеристику обох конструкцій наведено у монографії [1], а їх властивості у роботах [8, 9].

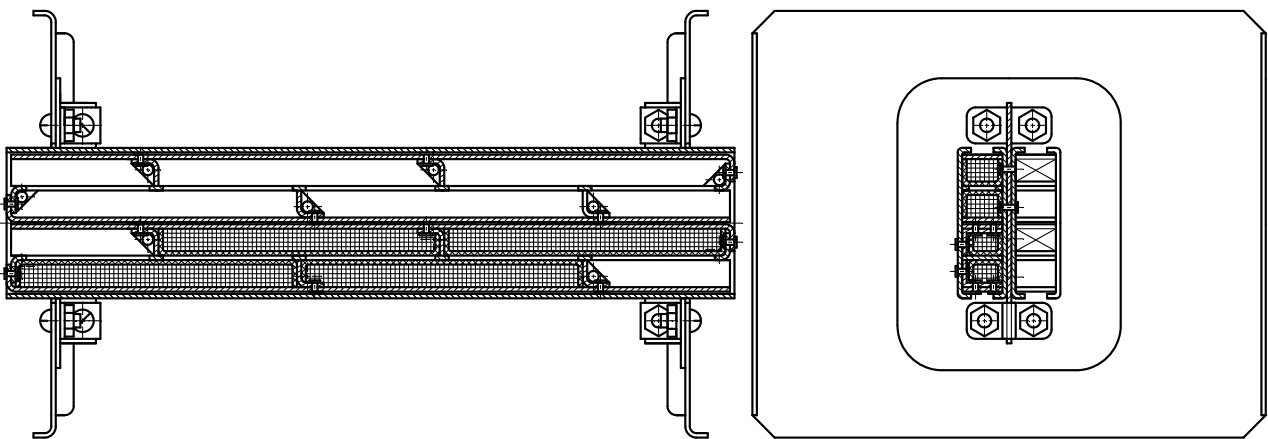


Рис. 1.3.11 – Ескіз конструкції ФЕ № 1 [А.1]

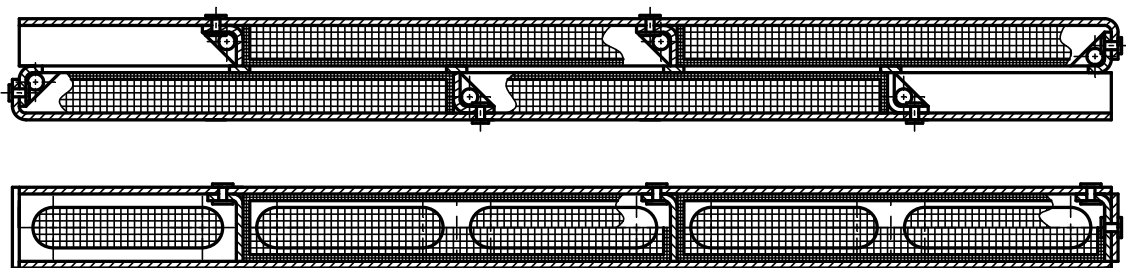


Рис. 1.3.12 – Ескіз модуля конструкції ФЕ № 1 [А.1]

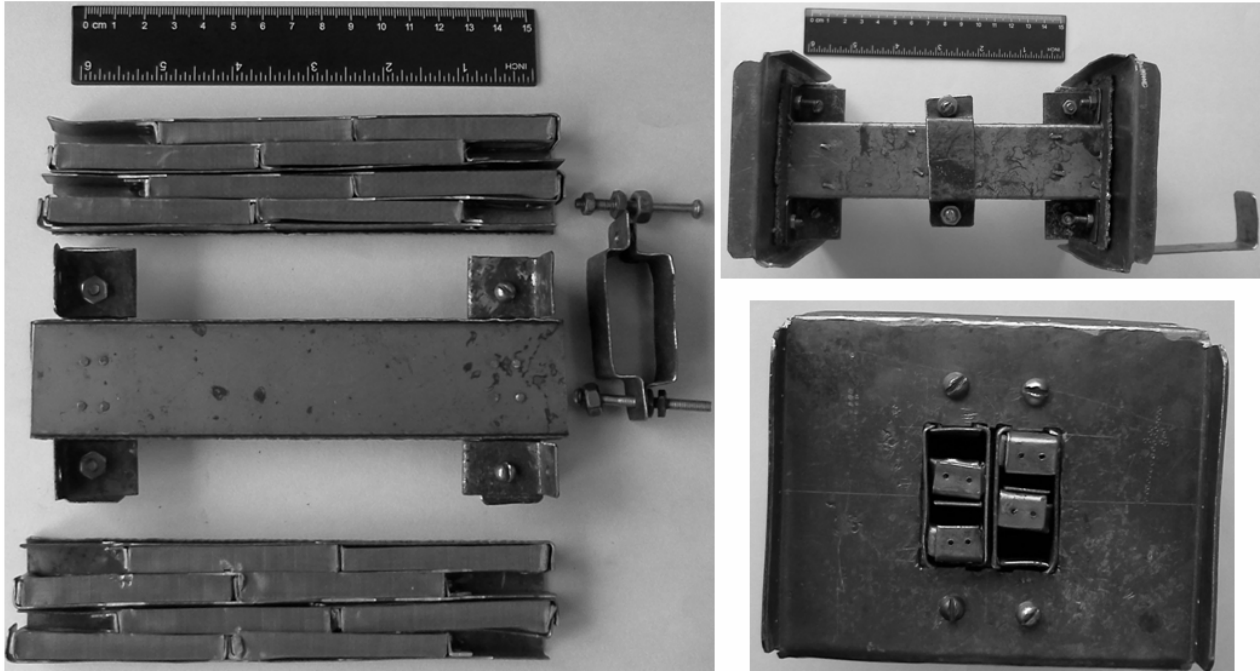


Рис. 1.3.13 – Зовнішній вид діючого макетного зразка конструкції ФЕ № 1 [A.1]

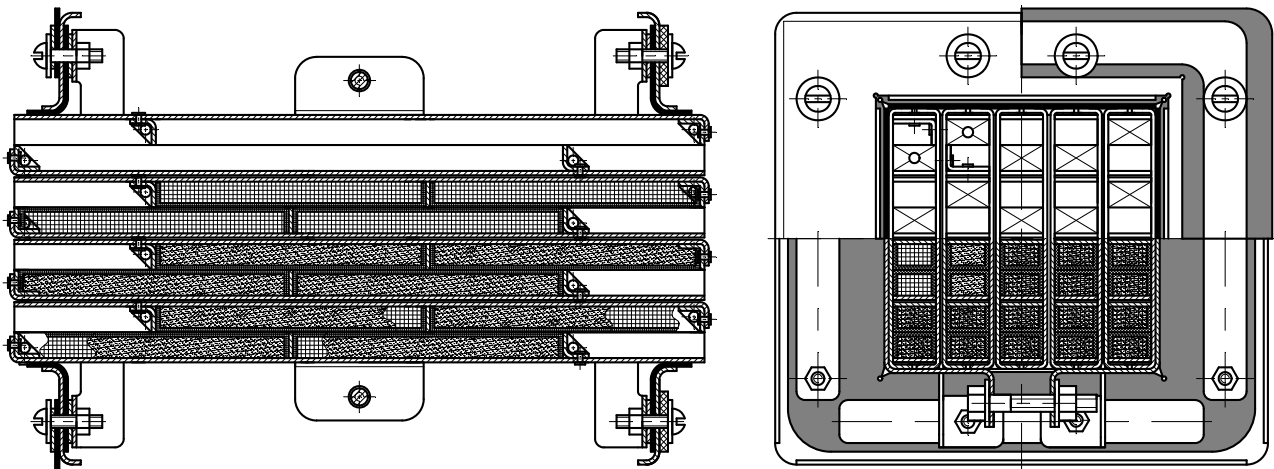


Рис. 1.3.14 – Ескіз конструкції ФЕ № 2 [A.1]

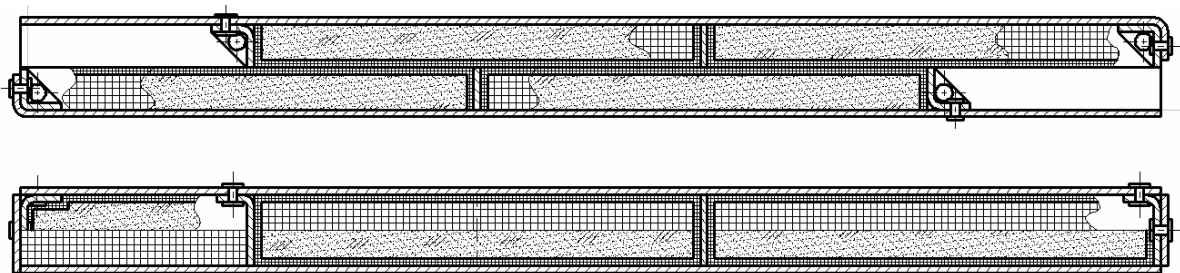


Рис. 1.3.15 – Ескіз модуля конструкції ФЕ № 2 [A.1]

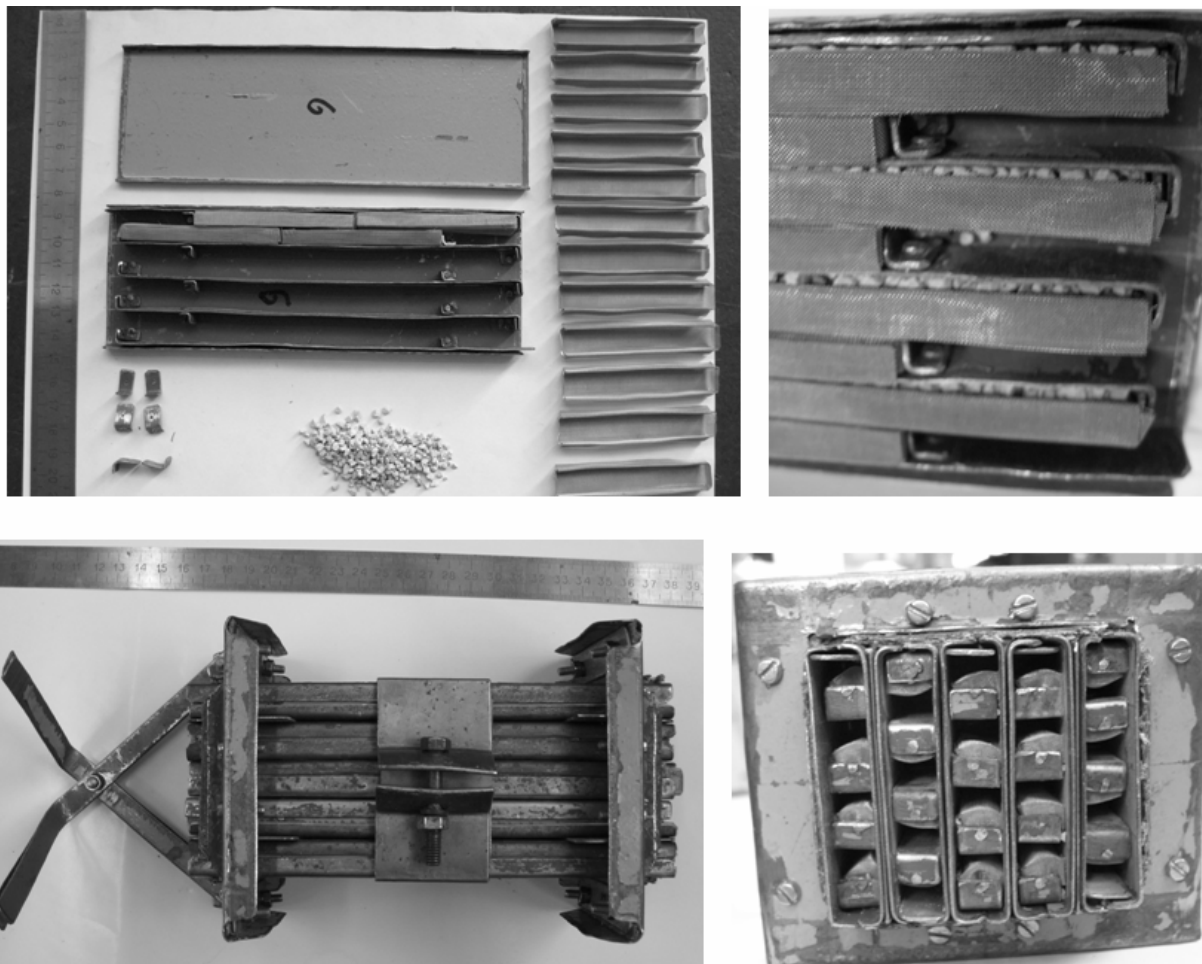


Рис. 1.3.16 – Зовнішній вид діючого макетного зразка конструкції ФЕ № 2 [А.1]

Конструкція досліджуваного ФТЧ, що може бути віднесена до нетрадиційних, наступна [1]. Він містить:

- модульний фільтрувальний елемент (ФЕ) з насипкою з природного цеоліту у сітчастих касетах;
- теплоізований корпус з входним і вихідним фланцями, патрубками, порожнинами;
- систему термічної регенерації I роду з камерою згоряння;
- система автоматичного управління з датчиками, електронним блоком керування, дротами.

ФЕ складається з певної кількості однакових і рознімно сполучених між собою модулів, заглишених у шаховому порядку.

Кількість модулів відповідає умовам рівності об'єму ФЕ робочому об'єму дизельного ПДВЗ і площі поперечного перетину випускного колектора дизельного ПДВЗ і сумарній площі перетину входних отворів модулів ФЕ.

Принцип роботи досліджуваного ФТЧ є комбінованим і оснований на використанні таких способів очищення ВГ дизеля від ТЧ:

- фільтрація конгломератів ТЧ сітчастою поверхнею касети і насипкою при проходженні потоку ВГ крізь них;

– осадження ТЧ на поверхнях сталевих листів з великою шорсткістю і сітки при омиванні цих поверхонь спеціальним чином організованим (для реалізації інерційної складової процесу очищення) потоком аерозолу «ВГ –ТЧ»;

– адсорбція ТЧ на поверхнях насипки з природного цеоліту при проходженні крізь неї потоку ВГ.

Модуль складається з двох типів деталей, що рознімно сполучені між собою:

– кожух – 2 шт.;

– касета – 4 шт.,

що виконані з недефіцитних матеріалів вітчизняного походження:

– сталевий листовий прокат;

– сталева нержавіюча тканина сітка;

– насипний середньофракційний природний цеоліт;

і не містять каталітичних покриттів.

Конструкція досліджуваного ФЕ вирізняється невисокою собівартістю виробництва і обслуговування за рахунок:

– рознімності з'єднань деталей,

– високої технологічності деталей;

– загальнодоступності матеріалів ФЕ;

– невисокої ціни матеріалів ФЕ (наразі становить 0,25 \$ для одного модуля).

Високу експлуатаційну надійність розробленої конструкції ФЕ забезпечено за рахунок:

– відсутності схильності його матеріалів до термошокового руйнування;

– відсутності каталітичних покриттів, що виходять з ладу при використанні неякісних дизельного палива і оливо.

Універсальність такого ФЕ обумовлена:

– модульністю конструкції;

– широким вибором методів його регенерації;

– можливістю використання ФТЧ як глушника шуму і/або іскрогасника випускної системи дизельного ПДВЗ (за певних умов);

– розміщення ФТЧ на борту АТЗ поза підкапотним простором.

Порівняно високу ефективність очищення потоку ВГ від ТЧ досягнуто завдяки використанню комбінованого способу роботи.

Гідравлічний опір і масогабаритні показники такого ФЕ перевищують показники аналогів.

Для автотракторного дизеля з робочим об'ємом 2,0 дм³:

– важить 2,0 кг;

– містить не менше 30 модулів;

– його габаритні розміри становлять 60 × 90 × 170 мм.

Серійне виробництво ФТЧ з розробленим ФЕ може бути налагоджено на вітчизняних підприємствах машинобудівної галузі.

Ефективність роботи ФТЧ, тобто ступінь очищення потоку ВГ від

ТЧ, для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (Д21А1) досягає максимуму – 77,5 % на режимі максимального крутного моменту дизеля (63 % за 13-режимним випробувальним циклом) і залежить від:

- абсолютної величини масового годинного викиду ТЧ у кг/год;
- значення секундного масового потоку ВГ у ФЕ у кг/(кВт·год);
- часу роботи дизельного ПДВЗ на усталеному режимі у год.

Гідравлічний опір ФТЧ не перевищує 4 кПа у всьому діапазоні робочих режимів дизельного ПДВЗ для дизеля 2Ч10,5/12 і залежить від тих самих факторів, що й ефективність роботи ФТЧ.

1.3.6. Висновки по розділу

У даному дослідженні розглянуто будову, склад і особливості моторного випробувального стенду лабораторії відділу ПЕУ ІПМаш НАНУ як джерела факторів виробничої, екологічної, пожежної та вибухової небезпеки.

Встановлено, що особливості стенду як унікального комплексного технічного об'єкту, зумовлюють застосування окремого індивідуального підходу до виявлення і аналізу вищевказаних факторів небезпеки для окремих агрегатів стенду: навантажувальної машини, трансмісії, засобів вимірювальної техніки, дизеля 2Ч10,5/12, і експериментальних зразків ФТЧ.

Описано результати модернізації випускної системи та системи відбору проб ВГ на токсичність і димність стенду.

Проаналізовано фактори небезпеки, джерелом яких є трансмісія стенду, зокрема маховик дизеля.

Описано конструкцію двох конструкцій модульного ФЕ для ФТЧ нової нетрадиційної конструкції, яким обладнано випускную систему моторного випробувального стенду для підвищення рівня ЕБ процесу експериментальних досліджень.

Розділ 1.4. СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ 2410,5/12 ЗА СТАНДАРТИЗОВАНИМИ ЦИКЛАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ФТЧ

1.4.1. Постановка проблеми

Екологічні показники поршневих двигунів внутрішнього згорання (ПДВЗ) взагалі, і дизельних зокрема, чинять значний вплив на показники екологічної безпеки (ЕБ) життєдіяльності людини у світі та нашій країні.

Це підтверджується тим, що у переліку основних задач, які комплексно вирішують спеціалісти у двигунобудівній галузі, а саме:

- поліпшення паливної економічності;
- підвищення екологічності;
- забезпечення технологічності;
- та надійності ДВЗ;

а також специфічні (форсування і дефорсування, конверсія, багатопаливність, застосування альтернативних видів палива та ін.) – лише показники екологічності законодавчо закріплено, а рівень інших показників ПДВЗ формується лише конкурентною боротьбою їх виробників [1, 22].

Вихідні дані для комплексного критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації енергетичних установок (ЕУ) з ПДВЗ можуть бути отримані виключно на основі аналізу результатів експериментальних досліджень – випробувань ПДВЗ на спеціальних стендах.

Проте організація таких експериментальних досліджень пов'язана з необхідністю вирішення багатьох проблем методологічного та технічного плану. Вирішенню деяких з них присвячене дане дослідження.

1.4.2. Аналіз літературних джерел

У країнах Європейської Спільноти для дизелів наразі діють норми Правил ЄЕК ООН № 49 (для легкових автотранспортних засобів (АТЗ)) і № 96 (для тракторів і спеціальної техніки) [16, 17] рівня EURO V. На території України діють такі самі норми рівня EURO III.

У цих документах містяться не лише граничні значення середньо-експлуатаційних викидів нормованих шкідливих речовин з потоком відпрацьованих газів (ВГ) дизелів, але і методики проведення стендових випробувань й аналізу отриманих результатів, а також перелік режимів, на яких ці випробування мають проводитись (13 – для Правил № 49 [16] і 8 – для Правил № 96 [17]), що разом утворюють випробувальний цикл, який є моделлю експлуатації даного типу АТЗ. Такі цикли є стаціонарними, тобто вони не враховують роботу дизельного ПДВЗ на перехідних режимах.

При цьому встановлюється спосіб визначення масового викиду твердих частинок (ТЧ) – непрямым вимірюванням гравіметричним способом, а також засіб його реалізації – повно- чи частковопоточні тунелі [1].

Висока вартість сертифікованих тунелів, що знаходяться у виробництві та експлуатації, вкрай висока наукоємність їх розробки та складні-

сть проведення їх сертифікації зумовлюють той факт, що на території України наразі мається лише два частковопоточні тунелі, лише один з яких сертифіковано (оскільки виготовлений за кордоном) [1].

Такі обставини визначають необхідність і актуальність пошуку способів та засобів визначення масового викиду ТЧ, що альтернативні тунелям та придатні для попередніх і порівняльних лабораторних моторних стендових досліджень.

Метою даного дослідження є адаптація методики та експериментальне отримання показників токсичності, димності та масового викиду твердих частинок (ТЧ) автотракторного дизельного ПДВЗ, а також показників роботи розробленого фільтра твердих частинок (ФТЧ) за стандартизованими циклами діючих норм токсичності ВГ.

Об'єктом даного дослідження є робочі характеристики ФТЧ з ФЕ нової нетрадиційної конструкції.

Предметом даного дослідження є вплив режимних параметрів дизельного ПДВЗ на об'єкт дослідження.

Задачі даного дослідження відповідають окремим пунктам мети, тобто це наступні пункти.

1. Адаптація методики здійснення експериментального дослідження на моторному випробувальному стенді (МВС).
2. Модернізація конструкції випускної системи.
3. Отримання даних що формують об'єкт дослідження шляхом стендових моторних експериментальних досліджень.

1.4.3. Вдосконалена методика стендових моторних досліджень

У відділі поршневих енергоустановок (ПЕУ) Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України (ІПМаш НАНУ) за участю співробітників кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України (НУЦЗУ) розроблено фільтруючий елемент (ФЕ) ФТЧ дизельного ПДВЗ модульної конструкції [63].

Результати розробки і вибору раціональної конструкції ФТЧ для транспортних дизелів шляхом математичного і фізичного моделювання процесів у ньому, мають підтверджуватися експериментальними дослідженнями робочих характеристик діючих макетних експериментальних зразків ФТЧ в реальних умовах експлуатації [63, 64].

Такі умови створено у лабораторії відділу, що містить МВС, описаний у роботі [64] зі встановленим на нього автотракторним дизелем Д21А1 (2С10,5/12) [38].

Для досягнення мети дослідження випускную систему МВС обладнано конструктивними елементами для установки різних зразків ФТЧ (макетотримач (МТ)) та системою відбору проб ВГ на токсичність і димність.

При випробуваннях проводяться прямі та непрямі вимірювання:

а) режимних параметрів дизеля:

– частота обертання колінчастого валу $n_{кв}$;

– крутний момент $M_{кр}$;

- масові годинні витрати повітря $G_{пов}$;
- масові годинні витрати палива $G_{пал}$;
- масові годинні витрати ВГ $G_{ВГ}$;
- температура моторного мастила t_M ;
- ВГ на виході з випускного колектора $t_{ВГ}$;

б) параметри повітря навколишнього природного середовища (НПС):

- температура t_0 ;
- барометричний тиск B_0 ;

в) термодинамічних параметрів ВГ:

- температура на вході у МТ $t_{ФТЧех}$;
- температура на виході з МТ $t_{ФТЧвих}$;
- перепад статичного тиску на МТ ΔP_{MT} ;
- перепад статичного тиску на всій випускній системі, що розміщена за МТ $\Delta P_{вип}$;

г) параметри токсичності ВГ:

– об'ємні концентрації нормованих шкідливих речовин у ВГ (газоаналізатор п'ятикомпонентний АВТОТЕСТ-02.03.П):

- монооксиду вуглецю C_{CO} , %;
- незгорілих вуглеводнів палива і мастила $C_{СНх}$, млн⁻¹;
- оксидів азоту C_{NOx} , млн⁻¹;

д) параметри димності ВГ (димомір ІНФРАКАР-Д):

- коефіцієнт ослаблення світлового потоку N_D , %;
- коефіцієнт поглинання світлового потоку K_D , м⁻¹.

МТ з діючим макетним зразком розробленого ФТЧ розміщувалась на раціональній відстані від випускного колектора за довжиною випускного тракту МВС – $L_{вип} = 5$ м, що досягнуто за допомогою подовження тракту набором гнучких жаростійких газопроводів.

МВ розміщувалось у вертикальному положенні задля досягнення ущільнення насипки з природного цеоліту (ПЦ) у сітчастих касетах ФЕ розробленого ФТЧ, як описано у роботах [63, 64].

Модернізована випускна система МВС містить систему відбору проб ВГ на токсичність і димність, схему і зовнішній вид якої наведено на рис. 1.3.6 і 1.3.7 (див. розділ 1.3), а докладний опис – у роботах [63, 64].

Згаданими стандартами [16, 17] нормується середньоексплуатаційний масовий годинний викид ТЧ з потоком ВГ дизельних ПДВЗ, що має визначатися за формулою (1.4.1), кг/(кВт·год):

$$\bar{g}_{ТЧ} = \frac{\bar{G}_{ТЧ}}{N_e}, \quad (1.4.1)$$

де $\bar{G}_{ТЧ}$ – середній за цикл випробування масовий годинний викид ТЧ, кг/год; \bar{N}_e – середня за цикл випробування ефективна потужність дизельного ПДВЗ, кВт.

Величини $\bar{G}_{ТЧ}$ і \bar{N}_e визначаються за наступними формулами:

$$\bar{G}_{ТЧ} = \sum_{i=1}^n \bar{G}_{ТЧi} = \sum_{i=1}^n (WF_i \cdot G_{ТЧi}), \quad (1.4.2)$$

$$\bar{N}_e = \sum_{i=1}^n \bar{N}_{ei} = \sum_{i=1}^n (WF_i \cdot N_{ei}), \quad (1.4.3)$$

де індексом i позначено величини, що визначені для певного представницького стаціонарного режиму роботи дизеля, $i = 1 \dots n$, $n = 8$ для [17] чи 13 для [16]; WF_i – ваговий фактор; $G_{ТЧi}$ – масовий годинний викид ТЧ з потоком ВГ дизельного ПДВЗ, кг/год; N_{ei} – ефективна потужність дизеля, кВт.

Ефективна потужність дизеля у кВт визначається за формулою (1.2.6) у функції значень крутного моменту $M_{кр}$ у Н·м та частота обертання колінчастого валу дизеля $n_{кеi}$ у $xв^{-1}$.

Величина $G_{ТЧ}$, зазвичай має визначатися гравіметричним методом із застосуванням повно- чи частковопоточних тунелів, але зважаючи на обмежені можливості матеріальної бази лабораторії, визначається непрямыми вимірюваннями, тобто розрахунком за формулою (1.4.5) у функції величин N_D та C_{CH} , отриманих прямими вимірюваннями, що розроблена для автотракторних дизелів проф. І.В. Парсадановим (НТУ «ХПІ»), та отримана на основі сертифікатційних випробувань дизеля СМД-31 на моторному стенді фірми Ricardo, що обладнаний повнопоточним тунелем [5]:

$$G_{ТЧ} = \left(2,3 \cdot 10^{-3} \cdot N_D + 5 \cdot 10^{-5} \cdot N_D^2 + 0,145 \cdot \frac{C_{CH} \cdot 4,78 \cdot 10^{-7} \cdot (G_{пов} + G_{пал})}{0,7734 \cdot G_{пов} + 0,7239 \cdot G_{пал}} + 0,33 \cdot \left(\frac{C_{CH} \cdot 4,78 \cdot 10^{-7} \cdot (G_{пов} + G_{пал})}{0,7734 \cdot G_{пов} + 0,7239 \cdot G_{пал}} \right)^2 \right) \cdot \frac{(0,7734 \cdot G_{пов} + 0,7239 \cdot G_{пал})}{1000}, \quad (1.4.5)$$

Як видно з аналізу формули (1.4.5), величина $G_{ТЧ}$ у кг/год у всьому полі робочих режимів дизеля залежить здебільшого від величини N_D , а вплив на неї величини C_{CH} стає помітним лише за значень, більших за 100 млн^{-1} , що спостерігається на режимах роботи дизельного ПДВЗ з нульовою чи малою ефективною потужністю.

Ефективність очищення потоку ВГ дизеля від ТЧ для масового годинного викиду ТЧ і для окремих параметрів їх токсичності, що, як видно з аналізу формули (1.4.5), впливають на величину масового викиду ТЧ, визначається коефіцієнтами ефективності очищення за наступними формулою, %:

$$K_{EO}(X) = \frac{(X_{ДВЗ} - X_{ФТЧ}) \cdot 100}{X_{ДВЗ}}, \quad (1.4.6)$$

де індекси $ДВЗ$ і $ФТЧ$ відносяться до випадків відсутності та наявності ФТЧ у випускному тракті МВС; X – показник токсичності ВГ, тобто це або $G_{ТЧ}$ (визначається розрахунком за формулою (1.4.5)), або $C_{СН}$ (визначається за показами п'ятикомпонентного газоаналізатора АВТОТЕСТ-02.03.П), або N_D (визначається за показами димоміра ИНФРАКАР-Д).

Також структура формули (1.4.5) має особливість, що зумовлена тим, що величина $G_{ТЧ}$ містить залежність від величин $C_{СН}$ і N_D як у першому, так і у другому ступені.

Тому лише за нульового значення величини $C_{СН}$ величина $K_{EO}(G_{ТЧ})$ переважає величину $K_{EO}(N_D)$ у всьому діапазоні значень N_D .

При значеннях $C_{СН} = 100 \text{ млн}^{-1}$ $K_{EO}(N_D)$ переважає $K_{EO}(G_{ТЧ})$ у діапазоні зміни N_D до 22 %, при $C_{СН} = 500 \text{ млн}^{-1}$ – у діапазоні до 65 %, а при $C_{СН} = 100 \text{ млн}^{-1}$ – взагалі у всьому діапазоні значень N_D .

Оскільки у формулу (1.4.6) входять різниці й відношення величин $G_{ТЧ}$ і N_D й більшість методологічних та інструментальних похибок такого способу розрахункового визначення величини $G_{ТЧ}$ взаємно скорочуються, тоді застосування формули (1.4.5) для визначення масового годинного викиду ТЧ слід визнати якісним індикатором рівня викиду ТЧ і коефіцієнтів ефективності очищення ФТЧ, що не претендує на високу точність.

Перелік режимів у випробувальних циклах та параметрів дизеля, що їм відповідають, подано у табл. 1.4.1.

Законодавчо встановлені вимоги до показників токсичності ВГ дизельних ПДВЗ у історичній ретроспективі містяться у табл. 1.4.2.

Робота дизеля на МВС на деяких режимах (з нульовою чи близькою до неї ефективною потужністю – режими №№ 2 і 12 у 13-режимному циклі) взагалі, та на всіх інших з достатньою точністю додержання режимних параметрів неможлива через відсутність електронного автоматичного керування дизелем і стендом.

Також для цих режимів характерне потрапляння значень досліджуваних параметрів роботи дизеля і ФТЧ у зони нижніх меж діапазонів вимірювання засобів вимірювальної техніки МВС, через що можливим стає вихід похибки прямих вимірювань цих величин за нормативно встановлені межі [40, 41].

Тому випробування проводились шляхом зняття наступних характеристик:

- зовнішньої швидкісної (ЗШХ) (з максимальними навантаженням і паливоподачою у діапазоні $n_{кв} 900 - 1800 \text{ хв}^{-1}$),
- навантажувальної за $n_{кв}$ режиму максимального крутного моменту (НХМ) (для дизеля 2Ч10,5/12 це 1200 хв^{-1}),
- навантажувальної за $n_{кв}$ режиму номінальної потужності (НХН) (для дизеля 2Ч10,5/12 це 1800 хв^{-1});

– характеристики холостого ходу (XXX) (з нульовою ефективною потужністю у діапазоні $n_{ке}$ 800 – 1800 хв⁻¹).

Таблиця 1.4.1 – Параметри режимів випробувальних циклів та їх значення для дизеля 2Ч10,5/12 [1, 16, 17]

№ реж. (i)	$n_{кеi}, \text{хв}^{-1}$		$M_{кpi}, \text{Н}\cdot\text{м}$		WF_i
	позн.	знач.	% M_H	знач.	
13-режимний цикл (Пр. ЕЭК ООН № 49)					
1	х.х.min	800	0	0	0,25/3
2	$M_{крmax}$	1200	2	2,2	0,08
3	$M_{крmax}$	1200	25	27,5	0,08
4	$M_{крmax}$	1200	50	55	0,08
5	$M_{крmax}$	1200	75	82,5	0,08
6	$M_{крmax}$	1200	100	110	0,25
7	х.х.min	800	0	0	0,25/3
8	ном.	1800	100	95	0,10
9	ном.	1800	75	71,3	0,02
10	ном.	1800	50	47,5	0,02
11	ном.	1800	25	23,8	0,02
12	ном.	1800	2	1,9	0,02
13	х.х.min	800	0	0	0,25/3
8-режимний цикл (Пр. ЕЭК ООН № 96)					
1	ном.	1800	100	95	0,15
2	ном.	1800	75	71	0,15
3	ном.	1800	50	57,5	0,15
4	ном.	1800	10	9,5	0,10
5	пром.	1200	100	110	0,10
6	пром.	1200	75	82,5	0,10
7	пром.	1200	50	55	0,10
8	х.х.min	800	–	0	0,15

Таблиця 1.4.2 – Законодавчо встановлені вимоги до екологічних показників дизельних ПДВЗ [1, 22]

Рівень EURO	Рік введення у дію	Питомий масовий годинний викид поллютанта, г/(кВт·год)			
		PM	NO _x	C _n H _m	CO
I	1992	0,612	8,0	1,1	4,5
II	1996	0,25...0,15	7,0	1,1	4,0
III	2000	0,10	5,0	0,66	2,1
IV	2005	0,02	3,5	0,46	1,5
V	2008	0,02	2,0	0,25	1,5
VI	2012	0,01	0,5	0,2	1,0

1.4.4. Результати випробувань

Отримані за результатами стендових моторних експериментальних досліджень значення параметрів роботи ПДВЗ і ФТЧ за вищевказаними характеристиками описано поліномами 2 – 4 ступеня методом найменших квадратів [65]. Параметри режимів у табл. 1.4.1 отримано з аналізу отриманих поліномів.

Поліноми, що описують залежності величин $G_{ТЧ}$ і $K_{EO}(G_{ТЧ})$ від режимних параметрів дизеля 2Ч10,5/12 мають наступний вигляд.

– Для зовнішньої швидкісної характеристики:

$$G_{ТЧ_ДВЗ} = -5,25 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^2 + 1,424 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв} - 7,102 \cdot 10^{-2}, R^2 = 0,98833; \quad (1.4.7)$$

$$G_{ТЧ_ФТЧ} = 7,14 \cdot 10^{-9} \cdot n_{кв}^2 - 1,109 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 1,645 \cdot 10^{-2}, R^2 = 0,75957; \quad (1.4.8)$$

$$K_{EO}(G_{ТЧ}) = -1,36 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв}^2 + 0,356 \cdot n_{кв} - 156,1, R^2 = 0,97759. \quad (1.4.9)$$

– Для характеристики холостого ходу:

$$G_{ТЧ_ДВЗ} = 4,15 \cdot 10^{-9} \cdot n_{кв}^2 + 1,252 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 1,001 \cdot 10^{-2}, R^2 = 0,97919; \quad (1.4.10)$$

$$G_{ТЧ_ФТЧ} = 2,87 \cdot 10^{-9} \cdot n_{кв}^2 - 8,561 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв} + 6,852 \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,97328; \quad (1.4.11)$$

$$K_{EO}(G_{ТЧ}) = -1,196 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 + 1,411 \cdot 10^{-2} \cdot n_{кв} - 44,3, R^2 = 0,39843. \quad (1.4.12)$$

– Для навантажувальної характеристики з $n_{кв} = 1200 \text{ хв}^{-1}$ (у тому числі й режим максимального крутного моменту дизеля):

$$G_{ТЧ_ДВЗ} = 5,39 \cdot 10^{-10} \cdot n_{кв}^4 - 7,749 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^3 + 4,433 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 - 5,943 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 1,277 \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,99880; \quad (1.4.13)$$

$$G_{ТЧ_ФТЧ} = 3,10 \cdot 10^{-7} \cdot n_{кв}^2 + 9,906 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв} + 6,945 \cdot 10^{-4}, R^2 = 0,99735; \quad (1.4.14)$$

$$K_{EO}(G_{ТЧ}) = 5,4 \cdot 10^{-3} \cdot n_{кв}^2 - 0,207 \cdot n_{кв} + 34,5, R^2 = 0,99429. \quad (1.4.15)$$

– Для навантажувальної характеристики з $n_{кв} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ (у тому числі й режим номінальної потужності дизеля):

$$G_{ТЧ_ДВЗ} = 4,72 \cdot 10^{-10} \cdot n_{кв}^4 - 5,253 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^3 + 2,575 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 - 2,43 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 1,024 \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,99901; \quad (1.4.16)$$

$$G_{TЧ_ФТЧ} = 1,213 \cdot 10^{-6} \cdot n_{КВ}^2 + 3,80 \cdot 10^{-5} \cdot n_{КВ} + 8,187 \cdot 10^{-4}, R^2 = 0,99021; \quad (1.4.17)$$

$$K_{EO}(G_{TЧ}) = 2,591 \cdot 10^{-3} \cdot n_{КВ}^2 - 9,197 \cdot 10^{-2} \cdot n_{КВ} + 28,7, R^2 = 0,80335. \quad (1.4.18)$$

Традиційна форма представлення таких результатів – графіки розподілу величин масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ та коефіцієнту ефективності очищення ВГ від ТЧ по режимах випробувальних циклів – подана на рис. 1.4.1 і 1.4.2.

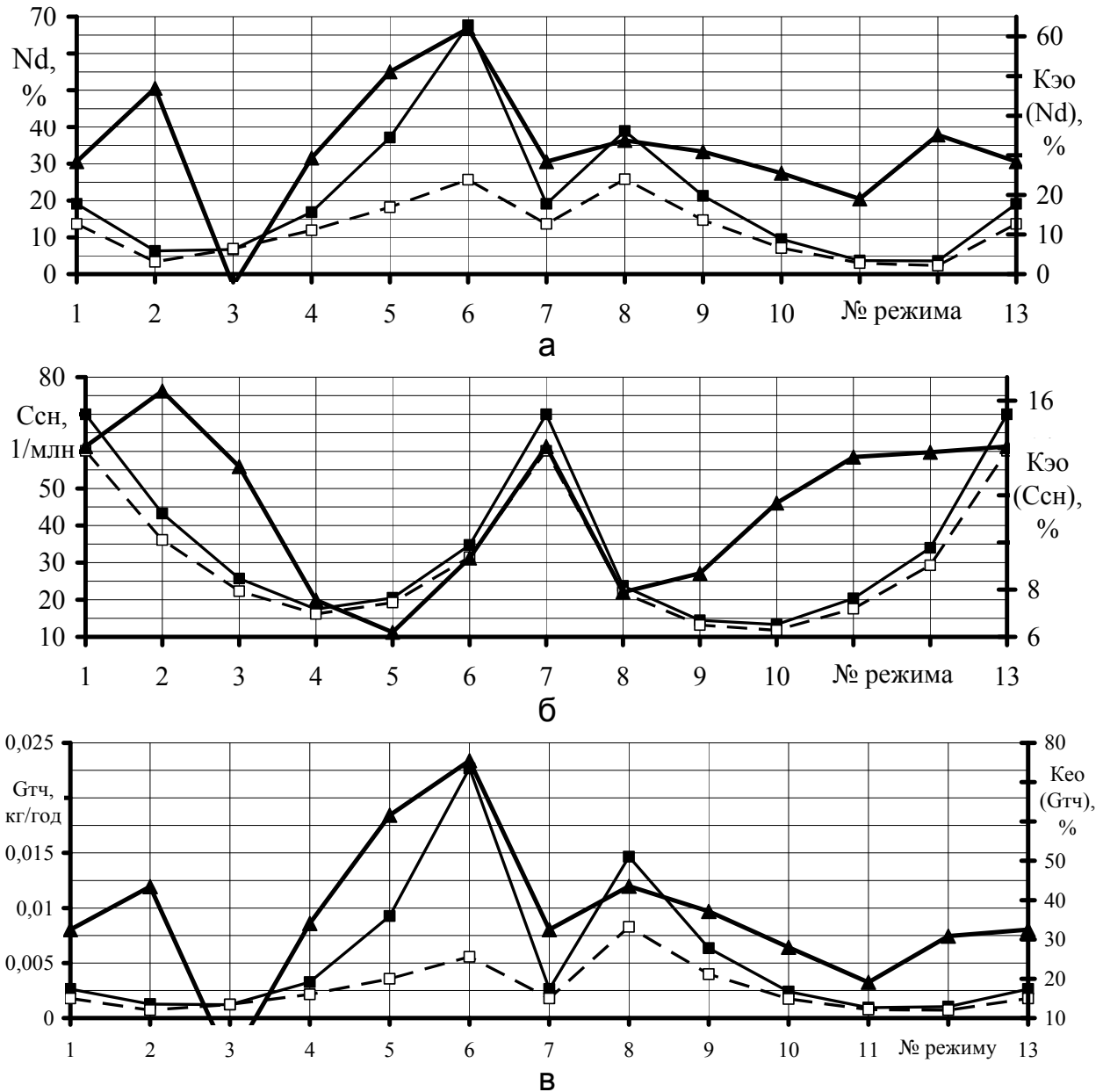


Рис. 1.4.1 – Результати стендових випробувань дизеля 2Ч110,5/12 за 13-ти режимними циклами [А.1] (мовою оригіналу):

а – N_D і $K_{EO}(N_D)$; б – C_{CH} і $K_{EO}(C_{CH})$; в – $G_{TЧ}$ і $K_{EO}(G_{TЧ})$

■ – $G_{TЧ}$ без ФТЧ; □ – $G_{TЧ}$ з ФТЧ; ▲ – K_{EO}

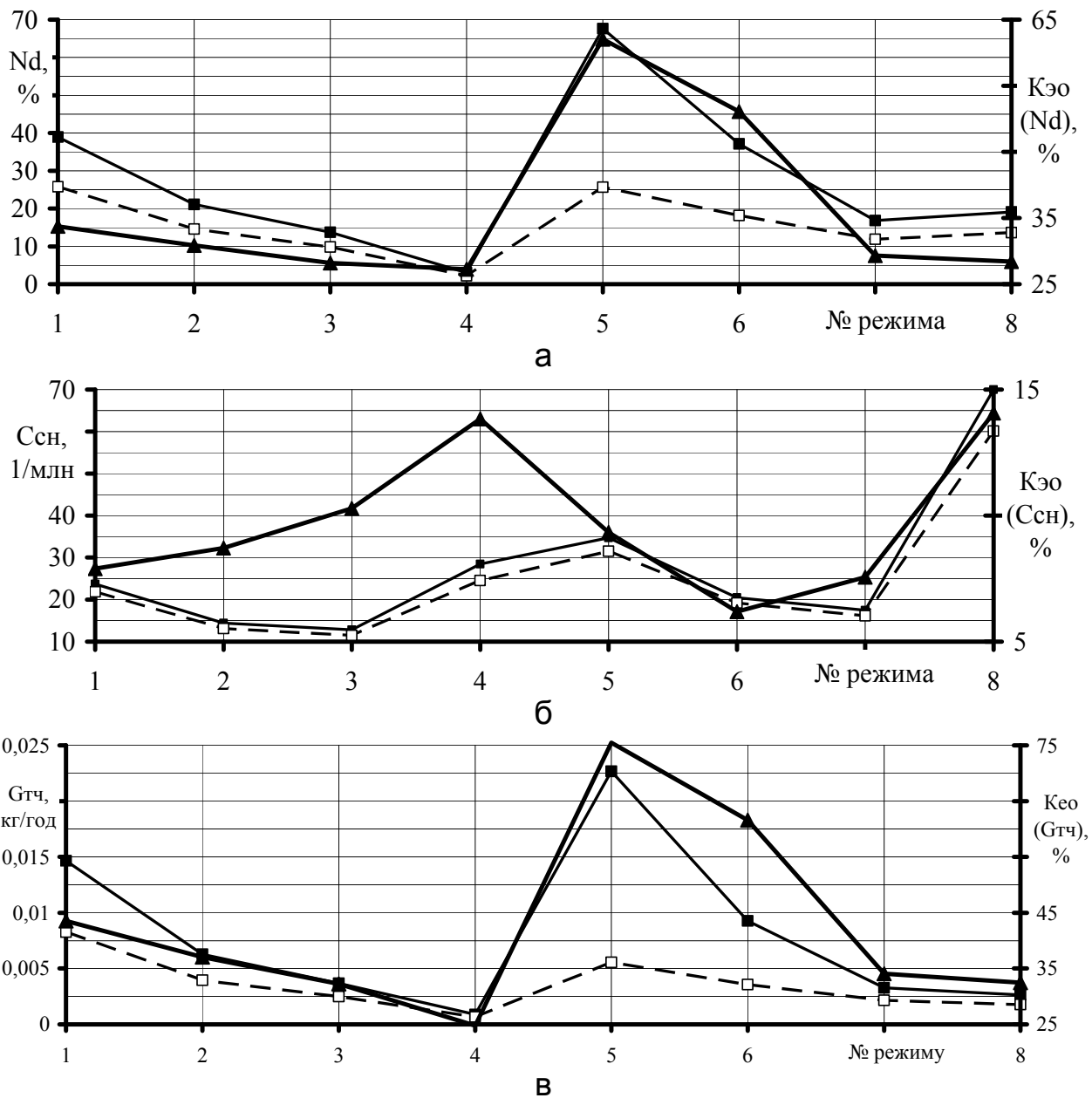


Рис. 1.4.2 – Результати стендових випробувань дизеля 2Ч10,5/12 за 8-ми режимними циклами [А.1] (мовою оригіналу):
 а – N_D і $K_{EO}(N_D)$; б – $C_{сн}$ і $K_{EO}(C_{сн})$; в – $G_{тч}$ і $K_{EO}(G_{тч})$
 ■ – $G_{тч}$ без ФТЧ; □ – $G_{тч}$ з ФТЧ; ▲ – K_{EO}

Для ЗШХ величини N_D і $G_{тч}$ у неочищеному потоці ВГ та у очищеному потоці (що пройшов крізь макетний зразок ФЕ) мають вид степеневі залежності від $n_{кв}$.

Вони для неочищеного потоку ВГ досягають максимуму, рівного для N_D 70,2 % і 24,1 г/год для $G_{тч}$ на режимі максимального крутного моменту, та зменшується як з підвищенням (суттєво), так і зі зниженням (незначно) $n_{кв}$, досягаючи мінімуму, рівного 40,1 % і 15,3 г/год на номінальному режимі.

Для очищеного потоку ВГ їх максимуми сягають 36,1 % і 7,0 г/год на режимі з мінімальною $n_{кв}$, а мінімуми – 25,2 % і 5,4 г/год на режимі максимального крутного моменту відповідно.

Для величини C_{CH} ці залежності для очищеного і неочищеного потоків практично співпадають.

Залежність коефіцієнта ефективності очищення ВГ від ТЧ для ФТЧ від $n_{кв}$ має вид ступеневої залежності з максимумом 77,4 % на режимі максимального крутного моменту і мінімумом 45,0 % на номінальному режимі, а на режимі з мінімальною $n_{кв}$ він приймає значення 52,6 %.

Такий характер розподілу значень $K_{EO}(G_{ТЧ})$ по режимах ЗШХ зумовлено тим, що на режимах з малою $n_{кв}$ у структурі ТЧ переважають $C_n H_m$, на режимі максимального крутного моменту спостерігається максимум $G_{ТЧ}$ та середнє значення $G_{ВГ}$, а на номінальному режимі $G_{ТЧ}$ зменшується, але досягається максимум $G_{ВГ}$ і збільшується швидкість проходження потоку ВГ крізь експериментальний зразок.

За обома отриманими навантажувальними характеристиками величина $G_{ТЧ}$ для цього дизеля змінюється у функції крутного моменту дизеля $M_{кр}$ (тобто у функції середнього ефективного тиску P_e) нелінійно, монотонно зростаючи зі зростанням $M_{кр}$ для неочищеного потоку з 1,86 до 24,41 г/год на режимі з $n_{кв} = 1200 \text{ хв}^{-1}$ (глобальний максимум) і з 1,27 до 5,46 г/год для очищеного.

При цьому $K_{EO}(G_{ТЧ})$ нелінійно змінюється зі зростанням $M_{кр}$ з 31,6 до 77,4 %. Для навантажувальної характеристики з $n_{кв} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ ці величини наступні: для очищеного потоку $G_{ТЧ} = 1,5 - 15,38$ г/год, для очищеного $G_{ТЧ} = 1,0 - 8,47$ г/год, $K_{EO}(G_{ТЧ}) = 33,4 - 44,9$ % відповідно.

Така форма залежностей зумовлена аналогічною формою залежності N_D від $M_{кр}$, що пояснюється зменшенням коефіцієнту надлишку повітря α зі зростанням крутного моменту.

Величина C_{CH} при цьому змінюється у функції $M_{кр}$ також нелінійно, досягаючи мінімуму при середньому значенні аргументу та збільшуючись з його зменшенням (досягається максимум на режимі холостого ходу) і зростанням.

Це пояснюється підвищеними витратами моторного мастила на угар та погіршенням умов згоряння паливо-повітряної суміші на цих режимах через погіршення температурного стану дизеля і зменшення α відповідно. При цьому на діапазоні значень аргументу 0 – 30 Н·м $K_{EO}(G_{ТЧ})$ поступається за величиною $K_{EO}(N_D)$.

Для ХХХ дизеля 2Ч10,5/12 характер залежностей величин N_D , C_{CH} і $G_{ТЧ}$ нелінійні та подібні до характеру таких залежностей для ЗШХ.

Величина $G_{ТЧ}$ для неочищених ВГ досягає мінімуму 0,64 г/год при $n_{кв} = 1600 \text{ мин}^{-1}$ та збільшується як зі збільшенням $n_{кв}$ до 0,96 г/год, так і зі зменшенням до 2,81 г/год. Для очищених ВГ ці величини становлять 0,53, 0,70 і 1,92 г/год відповідно.

Величина $K_{EO}(G_{ТЧ})$ при цьому практично лінійно змінюється у функції $n_{кв}$, зростаючи з її зменшенням з 27,4 до 31,7 %. Практично у всьому діапазоні зміни аргументу $K_{EO}(G_{ТЧ})$ поступається за величиною $K_{EO}(N_D)$.

1.4.5. Висновки по розділу

Таким чином, здійснено стендові моторні експериментальні дослідження з метою визначення впливу режимних параметрів роботи дизельного ПДВЗ на робочі характеристики ФТЧ з ФЕ нової нетрадиційної конструкції.

Для цього було адаптовано методику таких досліджень та модернізовано випускну систему моторного випробувального стенду та систему відбору проб ВГ на токсичність і димність.

За результатами аналізу експериментально отриманих даних встановлено, що автотракторний дизельний ПДВЗ 2Ч10,5/12, встановлений на МВС відділу, характеризується середньоексплуатаційним питомим масовим годинним викидом ТЧ, що визначений розрахунково для 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу, рівним 1,233 г/(кВт·год).

Обладнання у його випускної системи діючим макетним зразком ФТЧ дозволило знизити цей показник до 0,457 г/(кВт·год) – на 62,9 %.

Для 8-режимного циклу цей показник, визначений таким самим чином, знижується з 0,801 до 0,382 г/(кВт·год), тобто на 52,3 %.

Глава 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛИВНИХ СКЛАДОВИХ КРИТЕРІЮ

Розділ 2.1. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ФІЛЬТРА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЯ ТА ЇЇ НАСТРОЮВАЛЬНИЙ КОЕФІЦІЄНТ

2.1.1. Постановка проблеми

Як відомо, з 1 січня 2011 р. на території України введені в дію норми токсичності стандартів Правил ЄЕК ООН №№ 49 і 96 рівня EURO III, що прийшли на зміну попередньому рівню цих стандартів, що діяли з 2005 р.

На території Російської Федерації на даний момент діють норми рівня EURO IV, на території Європейського Союзу – рівня EURO V [1, 22, 5, 16, 17, 66, 67].

Для досягнення автотранспортними засобами (АТЗ), оснащеними дизельними поршневыми двигунами внутрішнього згоряння (ПДВЗ), рівня екологічних показників, обумовлених цими нормами, поряд із заходами щодо впливу на робочий процес ПДВЗ широко застосовують різні системи очищення потоку їх відпрацьованих газів (ВГ) від нормованих шкідливих речовин – поллютантів.

До поллютантів відносять: незгорілі вуглеводні моторного палива і оливи C_nH_m , монооксид вуглецю CO, оксиди азоту NO_x , і тверді частинки ТЧ, причому C_nH_m частково містяться в складі ТЧ, які разом з NO_x складають до 95 % токсичності ВГ [5, 68 – 70].

Для нейтралізації ТЧ в потоці ВГ (видалення з потоку, накопичення в фільтруючому елементі (ФЕ) і перетворення в безпечні речовини в ФЕ або поза бортом АТЗ) в системах зниження токсичності ВГ дизелів застосовують фільтри твердих частинок (ФТЧ) з суцільнокерамічними ФЕ зі стільниковою структурою каналів, заглушених в шаховому порядку, і каталітичними покриттями, що містять метали платинової групи [71].

Таким ФТЧ притаманний ряд недоліків, пов'язаних з їх низькими показниками технологічності і собівартості виробництва, експлуатаційної надійності, гідравлічного опору (ГО) а також масогабаритними [1, 13].

У зв'язку з вищесказаним слід відзначити, що науково-дослідні роботи, спрямовані на створення принципово нових і вдосконалення відомих конструкцій ФТЧ, є актуальними і економічно обґрунтованими.

2.1.2. Аналіз літературних джерел

У відділі поршневих енергоустановок (ПЕУ) (наразі – водневої енергетики) Інституту проблем машинобудування ім. А.Н. Підгорного НАН України (ІПМаш НАНУ) за участю співробітників кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України (НУЦЗУ) розроблено ФТЧ, ФЕ якого складається з однакових модулів, кожен з них

складається з двох типів деталей (кожух – 2 шт., сітчаста касета з насипкою з природного цеоліту – 4 шт.), виготовлених з недорогих і недефіцитних матеріалів вітчизняного виробництва (сталевий листовий нержавіючий прокат, сталеві нержавіюча тканина сітка і насипний середньофракційний природний цеоліт (ПЦ)), і не містить каталітичних покриттів [13, 72].

Виконано фізичне моделювання процесу руху текучого середовища (ТС) в різних варіантах конструкції модуля розробленого ФТЧ на безмоторній дослідницькій установці (БДУ) [73, 74].

Експериментальним зразком при цьому був один модуль ФЕ, виготовлений з плексигласу (для забезпечення прозорості) і має роз'ємну конструкцію, що дозволяє змінювати його конструктивні особливості – прозорий макет модуля (ПММ) ФЕ.

Також використовувалися інші експериментальні зразки, що дозволяють досліджувати конструктивні елементи модуля ФЕ окремо одне від одного [75, 76].

В результаті отримані витратні характеристики як модуля ФЕ в цілому, так і його конструктивних елементів окремо одне від одного при незмінній температурі ТС $t_{ТС}$ (різниця з температурою навколишнього природного середовища (НПС) t_0 при цьому становила 2 – 5 °С), тобто можна вважати, що вони є лініями рівного рівня температури – ізотермами [13].

Як ТС в БДУ використовується очищене від пилу атмосферне повітря, що нагнітається в порожнини її проточної частини поршневым компресором, яке близьке за значенням молекулярної маси й інших теплофізичних властивостей до ВГ дизельного ПДВЗ.

БДУ забезпечує потік ТС g_m (масова секундна витрата ТС G_m , що віднесена до одиниці площі характерного живого перерізу S) через вхідний отвір ПММ в межах 0 – 120 кг/(с·м²), тобто перевищує значення потоку ВГ через живий переріз вхідного отвору впускного фланцю випускного колектора дизеля 2Ч10,5/12 (не більше 25 кг/(с·м²)) більш ніж в 5 разів [73, 74].

Також проведено математичне моделювання процесу руху потоку ВГ в модулі ФЕ в ліцензійній навчальній версії адаптованого до об'єкта дослідження програмного комплексу COSMOS FloWorks, що входить в Solid Works 2008 [13, 77, 78], що належить обчислювальному центру «Тензор» (каф. «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин» НТУ «ХПІ»).

Результати моделювання задовільно узгоджуються з результатами експериментального дослідження ГО модуля ФЕ на БДУ і моторному випробувальному стенді (МВС) [63, 64].

За результатами фізичного і математичного моделювання процесів в модулі ФЕ розроблені діючий макетні зразки ФЕ, що відрізняються, в першу чергу, наявністю (ДМЦ) і відсутністю (ДМ) насипки з ПЦ в сітчастих касетах. Також вони відрізнялися наявністю (ДМ) і відсутністю (ДМЦ) сполучної пластини і, крім того, кількістю модулів в зразку – $Z_M = 4$ шт. в

ДМ і $Z_M = 20$ шт. в ДМЦ [63, 64].

Для виявлення особливостей функціонування розробленого ФТЧ в умовах випускної системи дизельного ПДВЗ (тобто в реальних умовах експлуатації) проведено експериментальне дослідження ДМ і ДМЦ ФЕ на МВС лабораторії відділу ПЕУ ІПМаш НАНУ.

Стенд оснащений автотракторним двоциліндровим чотиритактним двохклапанним дизелем повітряного охолодження 2Ч10,5/12 (Д21А1) з нерозділеною камерою згоряння в поршні і одноплунжерним ПНВТ розподільного типу і всережимним механічним регулятором, з робочим об'ємом $2,0 \text{ дм}^3$ та номінальною потужністю $21,3 \text{ кВт}$, виробництва Володимирського тракторного заводу [38].

Згідно з розробленою програмою, моторні випробування склалися з чотирьох етапів, кожен з яких проведено з метою визначення фізичного змісту і значень відповідних коефіцієнтів у формулі (2.1.1) [13].

Метою даного дослідження є опис математичною мовою виявлених експериментальним шляхом аспектів впливу на гідравлічний опір фільтруючого елемента фільтра твердих частинок дизельного ПДВЗ експлуатаційних факторів.

Об'єктом даного дослідження є гідравлічний опір фільтруючого елемента фільтра твердих частинок дизельного ПДВЗ.

Предметом даного дослідження є вплив експлуатаційних факторів на об'єкт дослідження.

Завданнями даного дослідження є облік впливу на ГС розробленого ФТЧ наступних факторів:

1. конструктивних особливостей модуля ФЕ – наявність або відсутність насипки з ПЦ в сітчастих касетах і сполучної пластини в модулі;
2. геометричних особливостей модуля ФЕ – площі вхідного отвору модуля S_{ex} ;
3. робочого об'єму циліндрів дизеля – відповідного йому кількості модулів в повнорозмірному ФЕ Z_M ;
4. режиму роботи дизельного ПДВЗ – частоти обертання колінчастого вала дизеля $n_{кв}$ (а фактично – потоку ВГ $g_{mВГ}$) і крутного моменту дизеля $M_{кр}$ або середнього ефективного тиску P_e (а фактично – температури ВГ на вході у ФТЧ $t_{ФТЧвх}$) на стаціонарному режимі його роботи;
5. місця установки ФТЧ по довжині випускного тракту дизеля – довжини випускного тракту між випускним колектором дизеля і вхідним фланцем корпусу ФТЧ $L_{вип}$ (а фактично – максимальної температури ВГ на вході в ФТЧ $t_{ФТЧвхmax}$);
6. динаміки засмічення ФЕ – часу роботи дизельного ПДВЗ на стаціонарному режимі з $M_{крmax}$ T_M , ефективною потужністю дизеля на i -му режимі N_{ei} й вагового фактора цього режиму WF_i в стаціонарному випробувальному циклі, що є моделлю експлуатації такого типу дизельного ПДВЗ [16, 17].

У цій частині дослідження відображені підходи до вирішення першого, другого, третього та четвертого (частково) завдань.

2.1.3. Математична модель гідравлічного опору ФТЧ дизельного ПДВЗ в реальних умовах експлуатації

При побудові моделі приймається, що вид витратної характеристики ПММ ФЕ, отриманої експериментально на БДУ при постійній температурі ТС, зберігається для ДМ і ДМЦ ФЕ (їх модулі принципово повторюють відповідні варіанти конструкції ПММ ФЕ, що дозволяє виконати п. 1 завдань дослідження) в умовах випускний системи дизеля (реальних умовах експлуатації) при постійній температурі ВГ.

Встановлення зв'язку між витратною характеристикою ПММ ФЕ і витратними характеристиками ДМЦ ФЕ, отриманими експериментально на МВС на різних етапах моторних випробувань (дозволяє виконати пп. 4, 5 і 6 задач дослідження), передбачається шляхом представлення видаткової характеристики ПММ ФЕ у виді залежності ГО від потоку ТС g_m (дозволяє виконати пп. 2 і 3 завдань дослідження) і введення ряду коефіцієнтів, що враховують відповідні фактори – набору $g_{mBГ}$, S_{ex} , z_M , $t_{ФТЧex}$, $t_{ФТЧexmax}$, τ_M , N_{ei} , WF_i чи набору $n_{кв}$, S_{ex} , z_M , $M_{кр}$, $L_{вип}$, τ_M , N_{ei} , WF_i .

Таким чином, математична модель має вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta P_{ФТЧ} &= \Delta P_{ПММ}(g_{mEGi}; S_{ex}; z_M) \cdot k_0 \cdot k_t(t_{ФТЧexi}) \cdot k_L(t_{ФТЧexmax}) \cdot k_\tau(\tau_M; N_{ei}; WF_i) = \\ &= \Delta P_{ПММ}(n_{квi}; S_{ex}; z_M) \cdot k_0 \cdot k_t(M_{кри}) \cdot k_L(L_{вип}) \cdot k_\tau(\tau_M; N_{ei}; WF_i), \text{ Па} \quad (2.1.1) \end{aligned}$$

де індекс i відповідає поточному режиму роботи дизельного ПДВЗ;

k_0 , k_t , k_L , k_τ – настроювальний, температурний, компоновочний часовий коефіцієнт відповідно.

При $z_M = 1$ и $S_{ex} = 55 \text{ мм}^2$, $t_0 = t_{ТС} = 15 \dots 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$; $B_0 = 95 \text{ кПа}$, $g_m = 10 \dots 110 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ [13, 72 – 74]:

$$\Delta P_{ПММ} = 0,122 \cdot g_{mEG}^3 - 1,964 \cdot g_{mEG}^2 + 173,7 \cdot g_{mEG}, \text{ Па}; \quad (2.1.2)$$

$$g_{mEG} = (1,558 \cdot 10^{-2} \cdot n_{кв} + 0,956) \cdot 20 / z_M \cdot 55 / S_{ex}, \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2) \quad (2.1.3)$$

У цій частині дослідження представлені підходи і результати експериментального визначення настроювального коефіцієнта k_0 .

2.1.4. Визначення настроювального коефіцієнта

Перший етап моторних досліджень – порівняльних для ДМ і ДМЦ ФЕ – показав принципову перевагу варіанту конструкції модуля ФЕ з насипкою з ПЦ по ефективності очищення їм потоку ВГ дизельного ПДВЗ від ТЧ як в кількісному, так і в якісному плані [13, 72 – 74].

Однак модуль ДМЦ ФЕ має більшу масу і собівартість вигобництва, а також характеризується істотно більшим ГО і в зв'язку з цим вимагає наявності більшої кількості модулів в ФЕ.

При цьому експериментальні зразки встановлювалися в макетотримач (МТ), що імітує корпус ФТЧ та на цьому етапі моторних випробувань

розміщувалася безпосередньо за випускним колектором дизеля ($L_{вип} = 0$ м, $t_{ФТЧ_{вх}} = 605$ °С) і у вертикальному положенні (для ущільнення насипки з ПЦ в сітчастих касетах під власною вагою).

МТ герметичний, має рознімну конструкцію, оснащений фланцями для приєднання до інших складових випускного тракту МВС і штуцерами для підключення засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) – імпульсних трубок двох дифманометрів і трьох термоелектричних перетворювачів ТХА, що подають сигнал на прилади ОВЕН ТРМ-200.

Для розміщення у проточній частині випускного тракту МВС діючих макетів ФЕ з різною кількістю однакових за габаритними розмірами модулів, експериментальні зразки оснащені герметизуючими шторками.

Методика проведення даного етапу моторних випробувань полягала у вимірюванні ГО експериментальних зразків (та інших показників роботи дизельного ПДВЗ, в тому числі й характеристик токсичності й димності ВГ) при роботі дизеля на режимах зовнішньої швидкісної характеристики (ЗШХ).

Такий підхід найбільш інформативний при раціональних витратах часу і коштів на проведення досліджень, оскільки це обумовлено наступними особливостями ЗШХ:

- по ній значення $n_{ке}$, а значить і значення потоку ВГ $g_{мВГ}$, в функції якого змінюється ГО зразків, змінюється в найбільш широких межах для дизельного ПДВЗ;

- вона містить параметри роботи дизеля, характерні для режиму максимального крутного моменту ($M_{крmax}$) дизельного ПДВЗ, на якому зазвичай спостерігається глобальний мінімум значення коефіцієнта надлишку повітря α в полі робочих режимів дизеля (так звана «межа димління», при $\alpha = 1,3$) і, як наслідок, глобальний максимум значень димності ВГ N_D , а отже і масового годинного викиду ТЧ $G_{ТЧ}$. Також на цьому режимі спостерігається глобальний максимум значень температури ВГ у випускному колекторі дизеля $t_{ВГ}$ і температури на вході у корпус ФТЧ $t_{ФТЧ_{вх}}$. Важливим є те, що на цьому режимі роботи автотракторного дизельного ПДВЗ при відсутності системи електронного управління (а у дизеля 2Ч10,5/12 вона відсутня), узгоджені (при проектуванні шляхом оптимізації та настроювання) інші параметри його роботи для досягнення глобального мінімуму значень питомої ефективної годинної масової витрати палива g_e ;

- вона містить параметри роботи дизеля, характерні для номінального режиму роботи дизеля (з $N_{еном}$), на якому спостерігається глобальний максимум значень масової годинної витрати повітря $G_{пов}$, палива $G_{пал}$ і, відповідно, відпрацьованих газів $G_{ВГ}$;

- по її режимам у функції значень $M_{кр}$ величина $t_{ВГ}$ змінюється в межах, достатніх для прогнозування залежності від неї робочих характеристик експериментальних зразків ФТЧ.

Самі ЗШХ побудовані шляхом описання експериментально отриманих точок (що відповідають стаціонарним режимам роботи дизеля) полі-

номами 1 – 4 ступеня методом найменших квадратів [65]. При цьому використано режими з наступними значеннями $n_{кв}$: 900, 1000, 1200 (режим з $M_{крmax}$), 1400, 1600 и 1800 (режим з $N_{еном}$) $хв^{-1}$.

Величину G_{mBG} визначено сумуванням величин $G_{пов}$ і $G_{пал}$, що отримані непрямыми одноразовими вимірюваннями.

До експериментально отриманих значень ГО застосований підхід як до адитивної величини, тобто від них віднято значення ГО самого МТ (отримані експериментально на МВС з порожнім МТ) і простору у МТ між герметизуючими шторками і зовнішніми кожухами модулів експериментальних зразків (отримані розрахунковим шляхом в середовищі COSMOS FloWorks).

Результати дослідження представлені на рис. 2.1.1 – 2.1.3.

На рис. 2.1.1 представлені залежності значень ГО експериментальних зразків ФЕ, МТ і решти випускного тракту МВС (суцільні лінії) і значень потоку ВГ в характерному перерізі випускного тракту МВС (пунктирні лінії) від значень $n_{кв}$ дизеля 2Ч10,5/12 при його роботі по ЗШХ.

На рис. 2.1.1 застосовано наступні позначення:

■, □, ▣, ● – для ДМ ФЕ; ◆, ◇, ⬠, ○ – для ДМЦ ФЕ;

■, ◆ – $\Delta P_{ФТч}$; ▣, ⬠ – $\Delta P_{вип}$; □, ◇ – $\Delta P_{МТ}$;

●, ⬠, ○ – g_{mBG} для ДМ, ДМЦ ФЕ та випускного колектора дизеля.

У якості характерного перерізу випускного тракту МВС обрано вихідний отвір випускного колектора дизеля 2Ч10,5/12 як єдиної частини штатної випускної системи цього дизеля, збереженої на МВС.

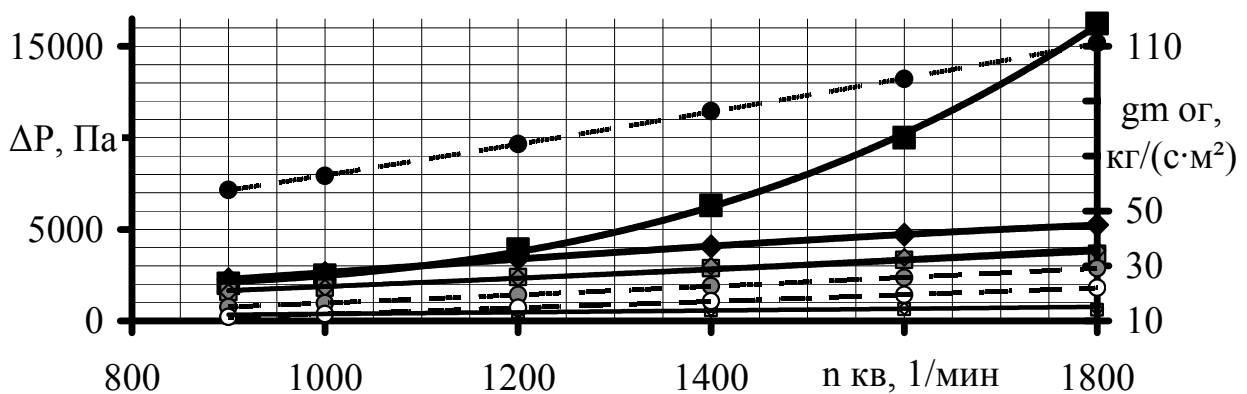


Рис. 2.1.1 – Розподіл значень ГО елементів випускного тракту МВС і значень потоку ВГ в його характерному перерізі по режимам ЗШХ дизеля 2Ч10,5/12 [А.3] (мовою оригіналу)

Як видно на рис. 2.1.1, ГО ДМ і ДМЦ ФЕ, а також порожнього МТ змінюється в функції значень $n_{кв}$ нелінійно. Характер залежності значення потоку ВГ g_{mBG} дизельного ПДВЗ від $n_{кв}$ є лінійним.

Для ДМ ФЕ цей параметр в середньому перевершує його значення в штатній випускній системі цього дизеля в 4,5 рази, а для ДМЦ ФЕ, в 1,45 рази.

ГО частини випускної системи МВС, що знаходиться за МТ, в сере-

дньому становить близько 70 % від ГО ДМЦ ФЕ, а ГО порожнього МТ – близько 14,3 %.

На рис. 2.1.2 представлені залежності температури ВГ за випускним колектором дизельного ПДВЗ без експериментальних зразків в МТ $t_{ВГ}$ (суцільна жирна лінія), температури ВГ на вході $t_{ФТЧвх}$ і виході $t_{ФТЧвих}$ з МТ і перепаду температури на МТ $\Delta t_{ФТЧ}$ (сірі лінії) з встановленим в ньому експериментальним зразком (ДМ – тонкі пунктирні лінії або ДМЦ – тонкі суцільні лінії) від значення $n_{кв}$ дизеля 2Ч10,5/12 при його роботі по ЗШХ.

На рис. 2.1.2 застосовано наступні позначення:

- ◆ – без МТ, ДМ і ДМЦ ФЕ; □, ■, ▲ – ДМ ФЕ; ◇, ◈, Δ – ДМЦ ФЕ;
- ◆ – $t_{ВГ}$; ■, ◈ – $t_{ФТЧвх}$; □, ◇ – $t_{ФТЧвих}$; ▲, Δ – $\Delta t_{ФТЧ}$

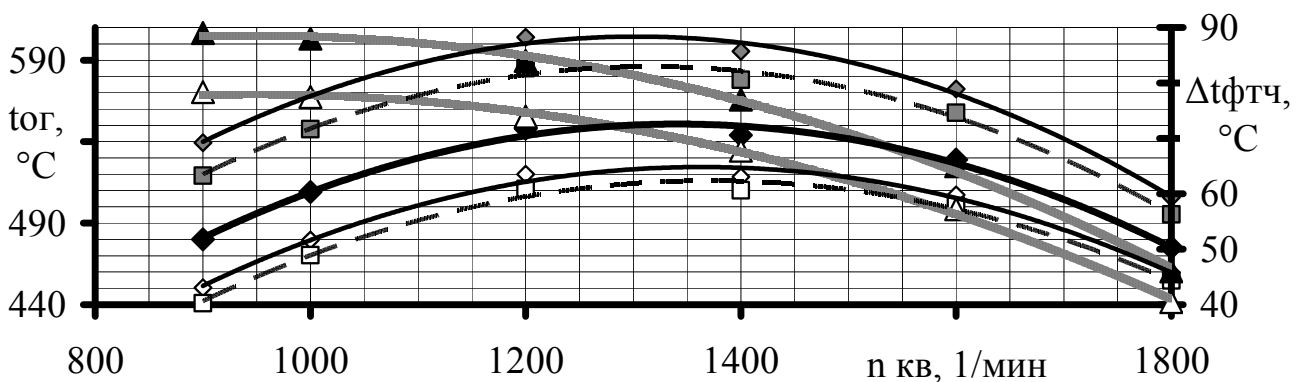


Рис. 2.1.2 – Розподіл значень температури ВГ та її перепадів на МТ по режимах ЗШХ дизеля 2Ч10,5/12 [А.З] (мовою оригіналу)

На рис. 2.1.2 видно, що по режимам ЗШХ величина $t_{ВГ}$ змінюється по ступіневій залежності, досягаючи максимуму, рівного 550 °С, на режимі з $M_{крmax}$ і знижується зі зменшенням та зростанням $n_{кв}$ до 480 і 515 °С відповідно.

Наявність ДМ і ДМЦ ФЕ у МТ дещо підвищує значення $t_{ФТЧвх}$ на величину в середньому 50 і 66 % від значення $\Delta t_{ФТЧ}$ для ДМ і ДМЦ відповідно, що пояснюється створенням значного ГО об'єктом дослідження на випуску.

Так як температура ВГ не є адитивною величиною, на відміну від протитиску, то виокремити значення перепаду температур самих діючих макетів з перепаду температур на МТ складно.

На рис. 2.1.2 і 2.1.3 видно, що величина $\Delta t_{ФТЧ}$ зменшується зі збільшенням $G_{тВГ}$ (в зв'язку зі збільшенням швидкості потоку ВГ у ФЕ і зменшенні часу на процес теплообміну) і збільшується зі збільшенням $t_{ВГ}$ (теплообмін з повітрям НПС інтенсифікується зі збільшенням температурного напору). Те саме вірно і для випадку порожнього МТ $\Delta t_{МВ}$.

На рис. 2.1.3 представлені витратні характеристики ДМ і ДМЦ ФЕ, МТ і решти випускного тракту МВС (суцільні лінії), а також перепади температур на них (пунктирні лінії) у функції значень потоку ВГ для режи-

мів роботи дизеля 2Ч10,5/12 за ЗШХ.

На рис. 2.1.3 застосовано наступні позначення:

■, □, ▣, ●, * – для ДМ ФЕ; ◆, ◇, ◊, ○, × – для ДМЦ ФЕ;

▲, △ – для ПММ ФЕ на БДУ;

*, × – розрахунок в COSMOS FloWorks;

■, ◆, ▲, △, *, × – $\Delta P_{\text{фгч}}$; ▣, ◊ – $\Delta P_{\text{вип}}$; □, ◇ – ΔP_{MT} ; ●, ○ – $\Delta t_{\text{фгч}}$;

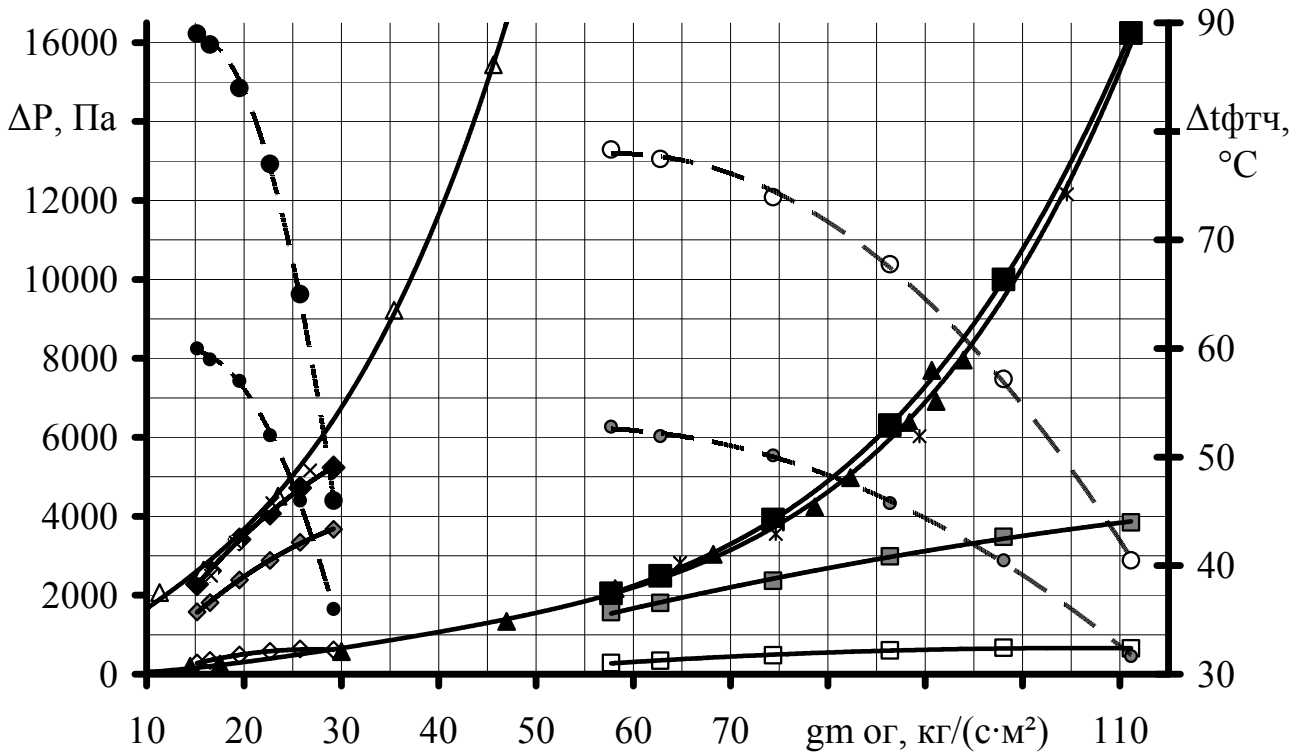


Рис. 2.1.3 – Витратні характеристики експериментальних зразків та інших частин випускного тракту МВС і перепади температур на них для ЗШХ дизеля 2Ч10,5/12 [А.3] (мовою оригіналу)

На рис. 2.1.3 видно, що залежно ГО ДМ і ДМЦ ФЕ від значення потоку ВГ не узгоджується з отриманими на БДУ даними для ПММ ФЕ відповідної конструкції за формою.

Це обумовлено тим, що витратні характеристики для відповідних варіантів конструкції ПММ ФЕ, отримані на БДУ, є ізотермами, а по режимах ЗШХ наявна істотна зміна величини t_{BG} в функції значення P_e .

Тобто, характер залежності експериментально отриманих значень ГО ДМ і ДМЦ ФЕ повторює характер залежності величини t_{BG} від значень g_{mBG} (див. рис. 2.1.1 і 2.1.2). Зі зменшенням величини t_{BG} зменшується ГО всіх елементів випускного тракту дизельного ПДВЗ на МВС, що пояснюється зменшенням об'ємної витрати ВГ G_{VBG} при постійному значенні масової витрати ВГ G_{mBG} з відповідним збільшенням щільності ВГ і зменшенням швидкості руху потоку ВГ, а також додатковим розширенням потоку ВГ в приєднаних в ході модернізації МВС нових компонентів його випускної системи.

Також на рис. 2.1.3 наведені результати розрахункового визначення ГО модуля ФЕ в COSMOS FloWorks, які задовільно узгоджуються з експериментальними даними, отриманими на МВС як кількісно (значення ГО), так і якісно (форма графіка залежності).

Всі залежності на рис. 2.1.1 – 2.1.3, описані поліномами 1 – 4 ступеня методом найменших квадратів, мають наступний вид.

Для випускної системи МВС з порожнім МТ – формули (2.1.4) – (2.1.8), з ДМ ФЕ в МТ – формули (2.1.9) – (2.1.13), з ДМЦ ФЕ в МТ – формули (2.1.14) – (2.1.22).

$$g_{mEG_ICE} = 1,179 \cdot 10^{-2} \cdot n_{KE} + 0,723; R^2 = 0,99926; \quad (2.1.4)$$

$$t_{BG} = -3,590 \cdot 10^{-4} \cdot n_{KE}^2 + 0,963 \cdot n_{KE} - 94,8; R^2 = 0,98880; \quad (2.1.5)$$

$$\Delta P_{вип} = 2,458 \cdot 10^{-4} \cdot n_{KE}^2 + 1,639 \cdot n_{KE}; R^2 = 0,99157; \quad (2.1.6)$$

$$\Delta P_{MT} = 5,459 \cdot 10^{-5} \cdot n_{KE}^2 + 0,330 \cdot 10^{-4} \cdot n_{KE}; R^2 = 0,98783. \quad (2.1.7)$$

$$\Delta t_{MT} = -2,814 \cdot 10^{-5} \cdot n_{KE}^2 + 4,992 \cdot 10^{-2} \cdot n_{KE} + 37,6; R^2 = 0,99832. \quad (2.1.8)$$

$$g_{mEG_DM} = 5,932 \cdot 10^{-2} \cdot n_{KE} + 3,637; R^2 = 0,99926; \quad (2.1.9)$$

$$\Delta P_{ФТЧ} = 7,656 \cdot 10^{-6} \cdot n_{KE}^3 - 1,324 \cdot 10^{-2} \cdot n_{KE}^2 + 7,98 \cdot n_{KE}; R^2 = 0,99924; \quad (2.1.10)$$

$$t_{ФТЧех} = -3,845 \cdot 10^{-4} \cdot n_{KE}^2 + 1,011 \cdot n_{KE} - 78,8; R^2 = 0,99105; \quad (2.1.11)$$

$$t_{ФТЧвух} = -3,335 \cdot 10^{-4} \cdot n_{KE}^2 + 0,914 \cdot n_{KE} - 110,8; R^2 = 0,98694; \quad (2.1.12)$$

$$\Delta t_{ФТЧ} = -5,098 \cdot 10^{-5} \cdot n_{KE}^2 + 9,676 \cdot 10^{-2} \cdot n_{KE} + 32,0; R^2 = 0,99804; \quad (2.1.13)$$

$$g_{mEG_DMC} = 1,558 \cdot 10^{-2} \cdot n_{KE} + 0,956; R^2 = 0,99926; \quad (2.1.14)$$

$$\Delta P_{ФТЧ} = 3,511 \cdot 10^{-4} \cdot n_{KE}^2 + 2,341 \cdot n_{KE}; R^2 = 0,99157; \quad (2.1.15)$$

$$t_{ФТЧех} = -3,976 \cdot 10^{-4} \cdot n_{KE}^2 + 1,036 \cdot n_{KE} - 70,6; R^2 = 0,99213; \quad (2.1.16)$$

$$t_{ФТЧвух} = -3,397 \cdot 10^{-4} \cdot n_{KE}^2 + 0,926 \cdot n_{KE} - 106,9; R^2 = 0,98731; \quad (2.1.17)$$

$$\Delta t_{ФТЧ} = -5,793 \cdot 10^{-5} \cdot n_{KE}^2 + 0,110 \cdot n_{KE} + 36,7; R^2 = 0,99807; \quad (2.1.18)$$

$$\Delta P_{ФТЧ} = -4,766 \cdot g_{m_OG}^2 + 423,72 \cdot g_{m_OG} - 3061,2; R^2 = 0,99971 \quad (2.1.19)$$

$$\Delta P_{вип} = -0,253 \cdot g_{m_OG}^2 + 86,40 \cdot g_{m_OG} - 2603,9; R^2 = 0,99813; \quad (2.1.20)$$

$$\Delta P_{MT} = -0,164 \cdot g_{m_OG}^2 + 34,99 \cdot g_{m_OG} - 1195,8; R^2 = 0,99456; \quad (2.1.21)$$

$$\Delta t_{ФТЧ} = -0,2195 \cdot g_{m_OG}^2 + 6,722 \cdot g_{m_OG} + 37,2; R^2 = 0,99930; \quad (2.1.22)$$

Як видно на рис. 2.1.3, експериментально отримана витратна характеристика ДМЦ ФЕ при $t_{BG} \neq \text{const}$ не має жодної спільної точки з витратною характеристикою ПММ ФЕ при $t_{BG} = \text{const}$.

При розробці БДУ, методики експериментальних досліджень і експериментальних зразків для неї варіювання температурою ТС конструкцією БДУ не передбачалося.

Крім того, експериментальні дослідження на БДУ носили порівняль-

ний характер і проводилися з метою вибору раціональних конструкцій модуля ФЕ, на основі яких повинні бути побудовані діючі макети ФЕ для дослідження їх характеристик роботи в умовах випускної системи дизельного ПДВЗ на МВС.

Таким чином, з прийнятною точністю визначити для якого саме постійного значення температури ВГ у проточній частині випускної системи МВС отримані на БДУ витратні характеристики для варіантів конструкції ПММ ФЕ, що відповідають ДМ і ДМЦ ФЕ, складно (наближені розрахунки давали результат близько 650 °С).

Для приведення у відповідність результатів досліджень на БДУ та МВС (їх зв'язку з урахуванням прийнятого допущення) у формулі (2.1.1) вводиться спеціальний коефіцієнт – настроювальний k_0 , рівний відношенню ГО діючого макету ФЕ на режимі з глобальним максимумом значення величини t_{BG} (режим з $M_{крmax}$) до ГО ПММ ФЕ з відповідною щільністю насипкою з ПЦ, при тому ж значенні g_{mBG} .

Тобто, його значення визначається наступною формулою.

$$k_0 = \frac{\Delta P_{ФТЧt=const}(g_{mEG})|_{t_{BG}(M_{крmax})}}{\Delta P_{ПММ}(g_{mEG})|_{t_{BG}(M_{крmax})}}. \quad (2.1.23)$$

Настроювальний коефіцієнт дорівнює для ДМ ФЕ 1,04, а для ДМЦ ФЕ 0,96 (див. рис. 2.1.4).

Тобто, умови руху потоку ТС, створювані в порожнинах БДУ, моделюють умови, що спостерігаються у випускному тракті дизеля 2Ч10,5/12 на режимі з $M_{крmax}$ з точністю до $\pm 4\%$.

Різниця в значенні коефіцієнта k_0 для ДМ і ДМЦ ФЕ пояснюється принциповими відмінностями в їх конструкції, а саме наявністю насипки з ПЦ, яка забезпечує більш рівномірний рух потоку ВГ в порожнинах проточної частини сітчастої касети модуля ФЕ.

Таким чином (тобто, шляхом множення всіх коефіцієнтів при g_{mBG} на k_0) може бути отримана крива, що прогнозує залежність ГО діючого макету ФЕ за ЗШХ при однаковому значенні для всіх режимів величини t_{BG} , рівному максимальному значенню величини t_{BG} у всьому діапазоні робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 – витратна характеристика ДМ або ДМЦ ФЕ при $t_{BG} = const$.

Подальші етапи моторних випробувань проводилися для діючого макету ФЕ з насипкою – ДМЦ.

В ході цих етапів виявлені залежності робочих характеристик ДМЦ ФЕ від режимних і конструктивних параметрів дизеля 2Ч10,5/12, варіювання якими не передбачено конструкцією БДУ [13, 73, 74].

Вплив цих параметрів на ГО експериментальних зразків у запропонованій математичній моделі враховується введенням температурного k_t , компоновочного k_L та часового k_T коефіцієнтів у формулі (2.1.1).

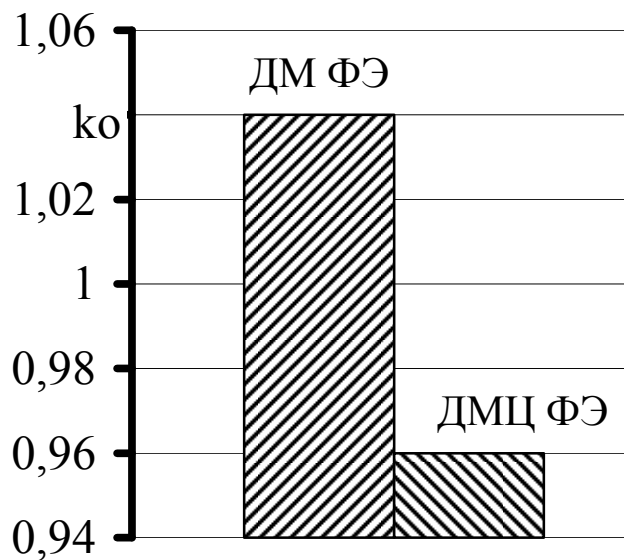


Рис. 2.1.4 – Значення коефіцієнта k_0 для ДМ та ДМЦ ФЕ (мовою оригіналу) [А.3]

Визначенню фізичного сенсу і значень цих коефіцієнтів присвячені наступні частини даного дослідження.

2.1.5. Висновки по розділу

Таким чином, розроблена математична модель зв'язку між гідравлічним опором модуля ФТЧ, дослідженого на безмоторній дослідницькій установці, та повнорозмірного ФТЧ в реальних умовах експлуатації на моторному випробувальному стенді.

Вона базується на витратній характеристиці модуля ФЕ при постійному значенні температури текучого середовища і використовує набір коефіцієнтів, що дозволяють врахувати вплив ряду експлуатаційних факторів на значення гідравлічного опору ФТЧ.

Наведено та обґрунтовано фізичний зміст настроювального коефіцієнта, що дозволяє зв'язати результати досліджень на безмоторній дослідницькій установці та моторному випробувальному стенді та врахувати тип конструктивного виконання модуля фільтруючого елемента.

Експериментально визначені значення настроювального коефіцієнта для різних конструкцій модуля ФЕ.

Розділ 2.2. ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ФІЛЬТРА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЯ

2.2.1. Постановка проблеми і аналіз літературних джерел

У попередній частині дослідження визначено фізичний зміст і значення настроювального коефіцієнта k_0 математичної моделі гідравлічного опору (ГО) фільтра твердих частинок (ФТЧ) дизельного поршневого двигуна внутрішнього згорання (ПДВЗ) [8].

У цій частині дослідження буде визначено зміст і значення температурного коефіцієнта k_t .

Таким чином, у цій частині дослідження відображені підходи до вирішення четвертого і п'ятого (частково) завдання.

2.2.2. Визначення температурного коефіцієнта

За аналогією з настроювальним коефіцієнтом k_0 математичної моделі ГО ФТЧ дизельного ПДВЗ [8], для різних режимів зовнішньої швидкісної характеристики (ЗШХ), що характеризуються різним значенням температури відпрацьованих газів (ВГ) $t_{\text{ФТЧвх}}$ на вході у корпус ФТЧ, що відрізняється від температури ВГ на режимі з $M_{\text{крmax}}$ $t_{\text{ФТЧвхmax}}$ завідомо в меншу сторону, ця залежність – витратна характеристика «прогнозу» при $t_{\text{ВГ}} = \text{const}$ – може бути отримана шляхом введення спеціального температурного коефіцієнта k_t , рівного відношенню ГО діючого макету ФЕ до значення ГО на витратній характеристиці «прогнозу» при $t_{\text{ВГ}} = \text{const}$ при відповідному значенні $g_{\text{мВГ}}$ [13, 36].

Для режиму з $M_{\text{крmax}}$, очевидно, k_t дорівнює 1,0, оскільки це спільна точка ізотермічної та прогновної витратних характеристик при $t_{\text{ВГ}} = \text{const}$ і $t_{\text{ВГ}} \neq \text{const}$ (що в даному випадку збігається з експериментально отриманою на моторному випробувальному стенді (МВС) витратною характеристикою для ДМ або ДМЦ ФЕ), в чому і полягає сутність запропонованого методу.

Для інших режимів характеристики $k_t < 1,0$ і залежить від $t_{\text{ФТЧвх}}$.

Пропонований підхід і фізичний зміст температурного коефіцієнта описується наступними формулами.

$$\Delta P_{\text{ФТЧексп}} = \Delta P_{\text{ФТЧ}t \neq \text{const}} = \Delta P_{\text{ФТЧ}t = \text{const}} \cdot k_t = \Delta P_{\text{ПММ}} \cdot k_0 \cdot k_t; \quad (2.2.1)$$

$$k_t = \frac{\Delta P_{\text{ФТЧексп}}}{\Delta P_{\text{ФТЧпрогн}}} = \frac{\Delta P_{\text{ФТЧексп}}(g_{\text{мВГ}})_{t_{\text{ВГ}}(n_{\text{кв}})}}{\Delta P_{\text{ФТЧ}t = \text{const}}(g_{\text{мВГ}})_{t_{\text{ВГ}}(n_{\text{кв}})}} = 1 - \frac{\Delta P_{\text{попр}}|_{t_{\text{ВГ}}(n_{\text{кв}})}}{\Delta P_{\text{ФТЧ}t = \text{const}}(g_{\text{мВГ}})_{t_{\text{ВГ}}(n_{\text{кв}})}}; \quad (2.2.2)$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{попр}} &= \Delta P_{\text{ФТЧпрогн}} - \Delta P_{\text{ФТЧексп}} = \\ &= \Delta P_{\text{ФТЧ}t = \text{const}}(g_{\text{мВГ}})_{t_{\text{ВГ}}(n_{\text{кв}})} - \Delta P_{\text{ФТЧексп}}(g_{\text{мВГ}})_{t_{\text{ВГ}}(n_{\text{кв}})}. \end{aligned} \quad (2.2.3)$$

Залежності величини k_t від величин $g_{\text{мВГ}}$, $t_{\text{ВГ}}$ і $n_{\text{кв}}$, отримані екс-

периментально на МВС для $\tau_M = 0$ с, $L_{вип} = 0$ м (і, відповідно, $t_{ФТЧех\max} = 605$ °С), відображають суть описаного формулами (2.2.1) – (2.2.4) підходу, наведені на рис. 2.2.1 і описані методом найменших квадратів [65] – формули (2.2.10) і (2.2.11) для ДМ ФЕ і формули (2.2.12) і (2.2.13) для ДМЦ ФЕ.

Для $t_{ФТЧех\max} = \text{const}$ для порожнього ФТЧ (тобто для $L_{вип} = \text{const}$ і при $\tau_M = 0$ с) кожна точка на ЗШХ відповідає витратній характеристиці при $t_{ВГ} = \text{const}$ при своєму значенні $t_{ФТЧех}$, тобто має вигляд витратної характеристики ПММ ФЕ (а вона, в свою чергу, має вигляд полінома 3-го ступеня – див. формулу (2.2.2) в [36]), коефіцієнти при $g_{mВГ}$ якій помножені на k_0 і k_t .

А сама характеристика може називатися кривою прогнозу при $t_{ВГ} = \text{const} \neq t_{ФТЧех\max}$, на відміну від кривої прогнозу при значенні $t_{ВГ} = \text{const} = t_{ФТЧех\max}$, коефіцієнти при $g_{mВГ}$ якої помножені тільки на k_0 .

Температура ВГ у випускному колекторі дизеля на стаціонарному режимі його роботи $t_{ВГ}$ (тобто з будь-яким постійним значенням $n_{кв}$) обумовлена годинною масовою витратою палива $G_{пал}$ і ефективним ККД дизельного ПДВЗ η_e , що визначає значення середнього ефективного тиску робочого процесу P_e , яке пов'язане однозначною залежністю зі значенням крутного моменту дизеля $M_{кр}$ формулою (2.2.5).

$$P_e = \frac{30 \cdot M_{кр} \cdot \tau}{9,55 \cdot z \cdot V_h} \cdot 10^{-6}, \text{ МПа} \quad (2.2.5)$$

Для дизеля 2С10,5/12: тактність $\tau = 4$ тактів/цикл, кількість циліндрів $z = 2$ шт, робочий об'єм циліндра $V_h = 1,039 \cdot 10^{-3}$ м³, тоді

$$P_e = 6,05 \cdot 10^{-3} \cdot M_{кр}, \text{ МПа} \quad (2.2.6)$$

Згідно з експериментальними даними для ЗШХ:

$$M_{кр} = -4,776 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв}^2 + 0,118 \cdot n_{кв} + 37,5; R^2 = 0,97891, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (2.2.7)$$

$$t_{ВГ} = -3,590 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв}^2 + 0,963 \cdot n_{кв} - 94,8; R^2 = 0,98880, \text{ }^\circ\text{С}. \quad (2.2.8)$$

Тобто, форми графіків залежності величини $M_{кр}$ (а значить і величини P_e) і $t_{ВГ}$ (а значить і $t_{ФТЧех}$) від $n_{кв}$ подібні, в той час як ефективна потужність дизельного ПДВЗ не відображає форми цих залежностей і виражається формулою (2.2.9).

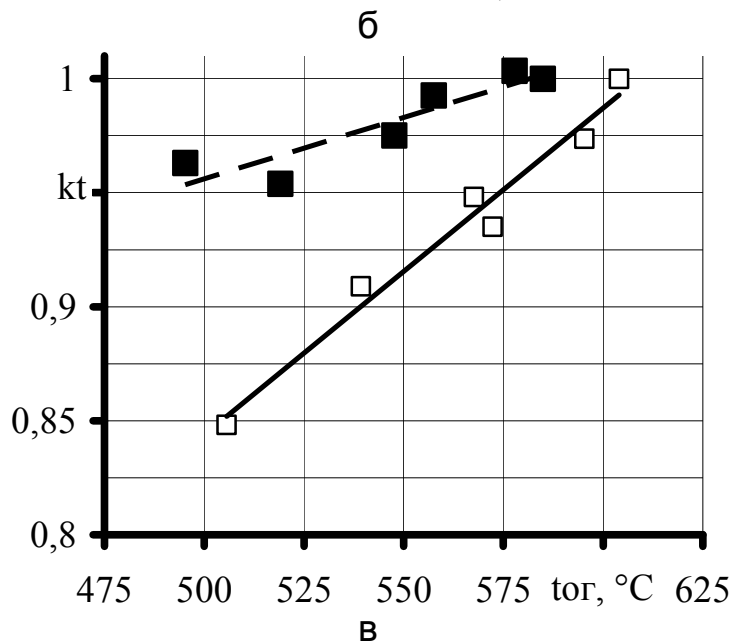
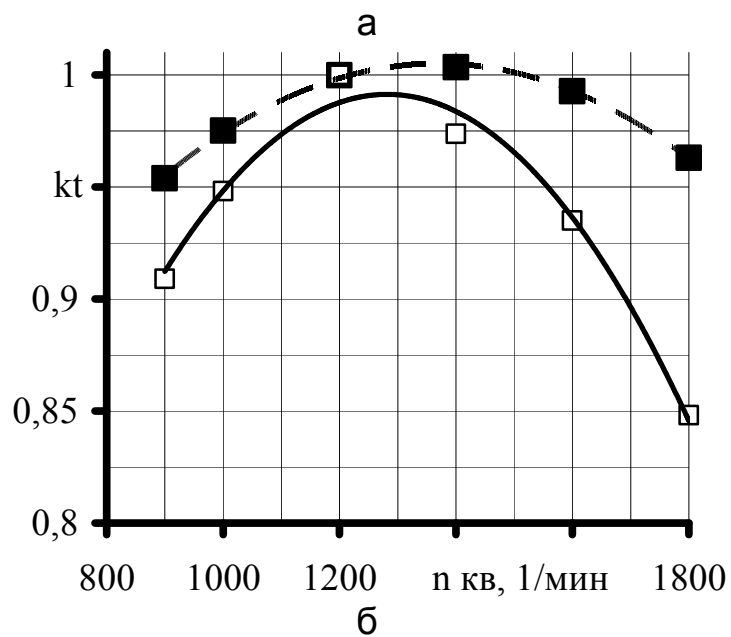
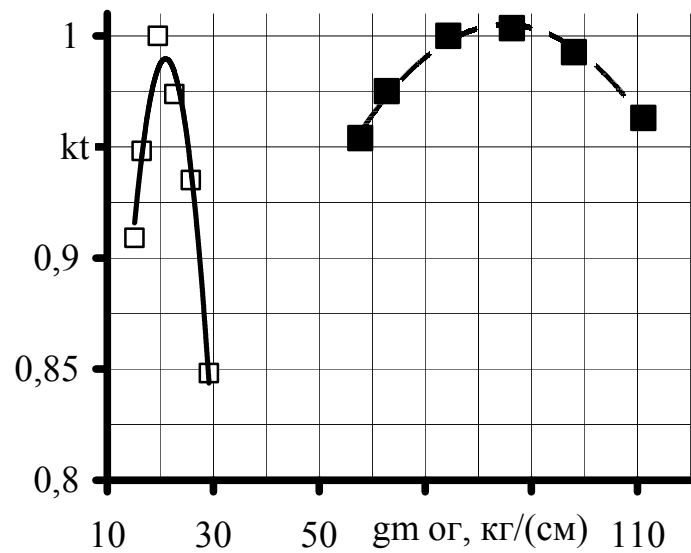


Рис. 2.2.1 – Залежності значень температурного коефіцієнта k_t від режимних параметрів дизеля 2Ч10,5/12: ■ – ДМ ФЕ; □ – ДМЦ ФЕ [А.4] (мовою оригіналу)

$$k_t = -6,432 \cdot 10^{-5} \cdot g_{mBG}^2 + 1,096 \cdot 10^{-2} \cdot g_{mBG} + 0,538 =$$

$$= -2,283 \cdot 10^{-7} \cdot n_{кв}^2 + 6,248 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв} + 0,577 = 5,394 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\phi TЧex} + 0,686;$$

$$R^2(g_{mBG}) = 0,98786; R^2(n_{кв}) = 0,99703; R^2(t_{\phi TЧex}) = 0,83020; \quad (2.2.10)$$

$$\Delta P_{попр} = 0,649 \cdot g_{mBG}^2 - 103,34 \cdot g_{mBG} + 4047,7; R^2 = 0,94970. \quad (2.2.11)$$

$$k_t = -2,171 \cdot 10^{-3} \cdot g_{mBG}^2 + 9,120 \cdot 10^{-2} \cdot g_{mBG} + 0,0321 =$$

$$= -5,425 \cdot 10^{-7} \cdot n_{кв}^2 + 1,391 \cdot 10^{-3} \cdot n_{кв} + 0,10 = 1,433 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\phi TЧex} + 0,127;$$

$$R^2(g_{mBG}) = 0,97036; R^2(n_{кв}) = 0,98092; R^2(t_{\phi TЧex}) = 0,97201; \quad (2.2.12)$$

$$\Delta P_{попр} = 10,698 \cdot g_{mBG}^2 - 426,13 \cdot g_{mBG} + 4245,2; R^2 = 0,99479. \quad (2.2.13)$$

Ефективна потужність дизеля у кВт визначається за формулою (1.2.6) у функції значень крутного моменту $M_{кр}$ у Н·м та частота обертання колінчастого валу дизеля $n_{кв}$ у $xв^{-1}$.

Для виявлення впливу величини $t_{\phi TЧex}$ на ефективність очищення потоку ВГ від ТЧ розробленим ФТЧ за рахунок впливу величини $t_{\phi TЧex}$ на перебіг процесів конденсації C_nH_m на ТЧ і коагуляції самих ТЧ (а значить на структуру, склад і розміри ТЧ), проведено другий етап моторних стендових досліджень.

При цьому зниження величини $t_{\phi TЧex}$ взагалі, і величини $t_{\phi TЧexmax}$ зокрема, досягалось шляхом зміни розміщення макетотримача (МТ) по довжині випускного тракту МВС за допомогою набору гнучких жароміцних газопроводів, в яких відбувається природне охолодження потоку ВГ шляхом теплообміну з повітрям НПС і розширення.

Таким чином, ДМЦ ФЕ досліджувався шляхом зняття ЗШХ в чотирьох положеннях по довжині випускного тракту МВС – на відстані від вихідного фланця випускного колектора дизельного ПДВЗ $L_{вип}$, що дорівнює 0,0; 1,5; 5,0 і 8,0 м.

За результатами даного етапу дослідження вибрано раціональне значення $L_{вип} = 5,0$ м [13, 36].

Вплив на величину ГО ФТЧ величини $L_{вип}$ в представленій математичній моделі враховується компоновочним коефіцієнтом k_L , фізичний зміст і значення якого будуть предметом розгляду наступної частини даного дослідження.

Характер зміни і співвідношення між величинами $\Delta P_{ФТЧ}$, $\Delta P_{вип}$ і ΔP_{MT} , а також t_{BG} , $t_{\phi TЧex}$, Δt_{MT} , $t_{\phi TЧex}$ і $\Delta t_{ФТЧ}$, виявлені й описані на першому етапі стендових моторних досліджень, для другого, третього і четвертого етапів в середньому зберігаються.

При цьому величини $\Delta t_{ФТЧ}$ і Δt_{MT} , зменшуються з ростом величини g_{mBV} і збільшуються з ростом величини $t_{\phi TЧex}$.

Для отримання даних про середньоексплуатаційні значення робо-

чих характеристик розробленого ФТЧ, в тому числі й про його ГО, проведено третій етап стендових моторних досліджень при $L_{вип} = 5,0$ м [13,36].

Для оцінки цих значень застосована стандартизована методика випробувань АТЗ за 13-ти і 8-ми режимними стаціонарними стандартизованими випробувальними циклами, що описані у Правилах ЄЕК ООН № 49 і № 96 [16, 17].

Методика адаптована до особливостей МВС і передбачає отримання наступних характеристик дизеля 2Ч10,5/12:

- ЗШХ;
- навантажувальної з $n_{кв}$ режиму з $M_{кр\max}$ (НХМ);
- навантажувальної з $n_{кв}$ режиму з $N_{еном}$ (НХН);
- характеристики холостого ходу (ХХХ) [36].

При цьому з'являється можливість уточнити значення коефіцієнта k_t в більш широких межах зміни величини $t_{фТЧех}$ в функції значень $M_{кр}$ – від 0 Н·м (за ХХХ) до $M_{кр\max}$ (за НХМ).

Витратні характеристики ДМЦ ФЕ для всіх чотирьох характеристик роботи дизеля 2Ч10,5/12 представлені на рис. 2.2.2.

На рис. 2.2.2 застосовано наступні позначення:

- , □, ▣ – ЗШХ; ▲, △, ▴ – ХХХ;
- , ○, ◯ – НХМ при $n_{кв} = 1200$ хв⁻¹;
- ◆, ◇, ◊ – НХН при $n_{кв} = 1800$ хв⁻¹;
- для а: ■, ▲, ●, ◆ – ΔP ; □, △, ○, ◇ – $\Delta P_{попр.експ}$; ▣, ▴, ◯, ◊ – $\Delta P_{попр.прогн}$;
- для в и г: ■, ▲, ●, ◆ – $k_{t.експ}$; □, △, ○, ◇ – $k_{t.прогн}$; * – $M_{кр}$ та $n_{кв}$

На рис. 2.2.2 видно, що вплив величини $t_{фТЧех}$ на ГО ДМЦ ФЕ при незмінному значенні $g_{мвг}$ є істотним. Це проявляється при порівнянні експериментально отриманих витратних характеристик для ЗШХ і ХХХ, для яких величина $g_{мвг}$ змінюється в практично однаковому, найбільш широкому для будь-якого дизельного ПДВЗ, діапазоні, а величина $t_{фТЧех}$ для одних і тих же значень $g_{мвг}$ істотно відрізняється.

Також проявляється вплив характеру і діапазону зміни величини $t_{фТЧех}$ по режимам самих характеристик. Для навантажувальних характеристик, по режимам яких величина $g_{мвг}$ змінюється настільки мало, що цим можна знехтувати, а величина $t_{фТЧех}$ – в найширшому діапазоні для дизельного ПДВЗ, вплив величини $t_{фТЧех}$ на ГО ДМЦ ФЕ є найбільш інформативним.

На рис. 2.2.2 також міститься розподіл величин $\Delta P_{попр}$ і k_t за режимами всіх отриманих характеристик дизельного ПДВЗ – експериментально отриманих (за формулами (2.2.3) і (2.2.4)) – $\Delta P_{попр.експ}$ і $k_{t.експ}$, і прогнозованих з використанням запропонованого підходу (за формулами (2.2.12) і (2.2.13)) – $\Delta P_{попр.прогн}$ і $k_{t.прогн}$.

Величини $\Delta P_{\text{попр.експ}}$ і $\Delta P_{\text{попр.прогн}}$ відрізняються один від одного на 18,1 – 3,3 % в залежності від значення величини $t_{\text{ФТЧех}}$ за навантажувальною характеристикою (чим нижче значення $t_{\text{ФТЧех}}$, тим вище похибка прогнозування), а величини $k_{t.\text{експ}}$ і $k_{t.\text{прогн}}$ в межах 1,9 – 0,6 % в залежності від величини різниці температур ВГ між точками витратної характеристики при $t_{\text{ВГ}} = \text{const}$ і витратної характеристики при $t_{\text{ВГ}} \neq \text{const}$ для конкретних режимів ЗШХ, що пояснюється особливостями розподілу похибки вимірювання температури ВГ термopарами ТХА і приладом А566 по діапазону зміни величини $t_{\text{ФТЧех}}$.

Розподіл параметрів роботи дизеля 2С10,5/12 – N_e , $M_{\text{кр}}$, $t_{\text{ВГ}}$ і $g_{\text{мВГ}}$ – по режимам ЗШХ, ХХХ, НХН і НХМ наведено на рис. 2.2.3 – 2.2.5.

На рис. 2.2.3 застосовано наступні позначення:

для $n_{\text{кв}} = 1000 \text{ хв}^{-1}$: ■ – N_e ; $t_{\text{ВГ}}$; $g_{\text{мВГ}}$; □ – P_e ;

для $n_{\text{кв}} = 1200 \text{ хв}^{-1}$: ◆ – N_e ; $t_{\text{ВГ}}$; $g_{\text{мВГ}}$; ◇ – P_e ;

для $n_{\text{кв}} = 1400 \text{ хв}^{-1}$: ▲ – N_e ; $t_{\text{ВГ}}$; $g_{\text{мВГ}}$; Δ – P_e ;

для $n_{\text{кв}} = 1600 \text{ хв}^{-1}$: ● – N_e ; $t_{\text{ВГ}}$; $g_{\text{мВГ}}$; ○ – P_e ;

для $n_{\text{кв}} = 1800 \text{ хв}^{-1}$: * – N_e ; $t_{\text{ВГ}}$; $g_{\text{мВГ}}$; × – P_e .

Як впливає з їх форми, результати аналізу особливостей цього розподілу на предмет придатності для використання в якості аргументу, в функції якого раціонально встановлювати величину k_t , наведеного для ЗШХ в попередній частині даного дослідження [8], можна поширити і на інші характеристики.

Експериментально отримані значення температури і потоку ВГ описуються рівняннями: для НХМ з $n_{\text{кв}} = 1200 \text{ хв}^{-1}$ формулами (2.2.14) і (2.2.15), для НХН з $n_{\text{кв}} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ формулами (2.2.16) і (2.2.17), для ХХХ формулами (2.2.18) і (2.2.19).

$$t_{\text{ВГ}} = 1,866 \cdot 10^{-2} \cdot M_{\text{кр}}^2 + 1,597 \cdot M_{\text{кр}} + 137,8; R^2 = 0,99625, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (6.14)$$

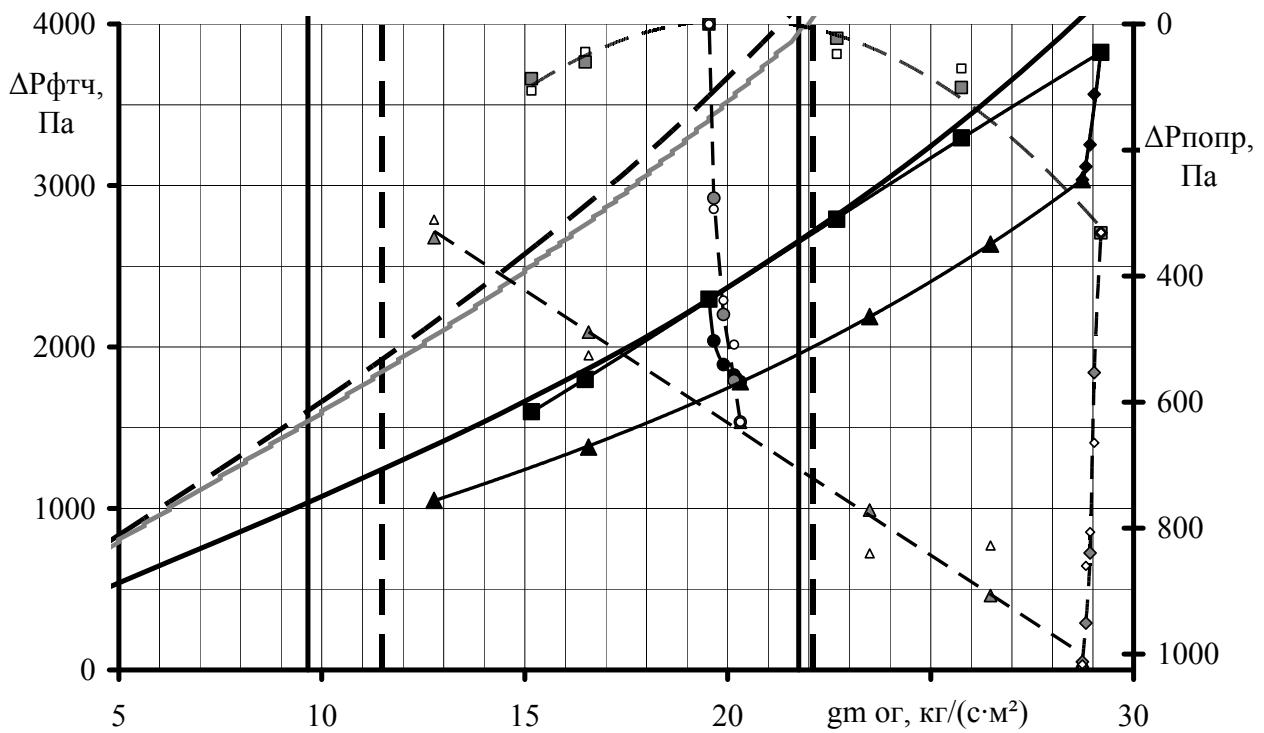
$$g_{\text{мВГ.ДВЗ}} = -7,317 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{кр}} + 20,338; R^2 = 0,99369, \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2); \quad (6.15)$$

$$t_{\text{ВГ}} = 2,438 \cdot 10^{-2} \cdot M_{\text{кр}}^2 + 0,776 \cdot M_{\text{кр}} + 183,6; R^2 = 0,99940, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (6.16)$$

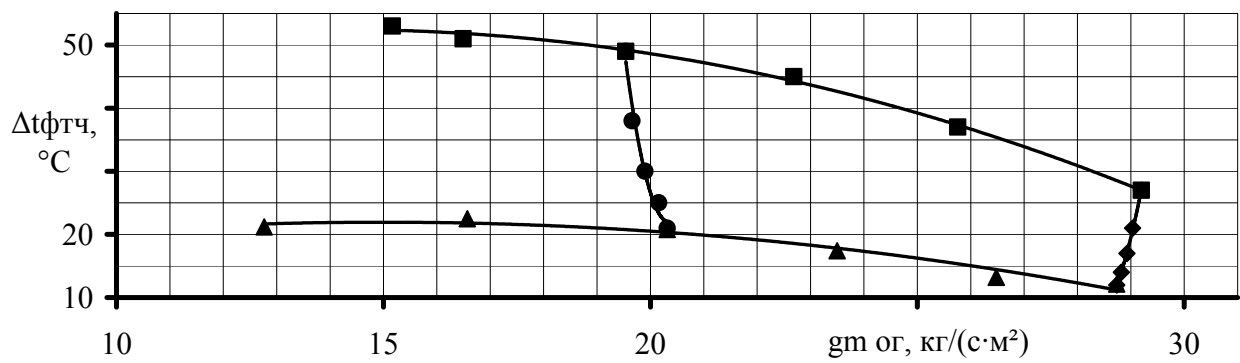
$$g_{\text{мВГ.ДВЗ}} = 4,612 \cdot 10^{-2} \cdot M_{\text{кр}} + 28,709; R^2 = 0,95422, \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2); \quad (6.17)$$

$$t_{\text{ВГ}} = 1,254 \cdot 10^{-4} \cdot n_{\text{кв}}^2 - 0,288 \cdot n_{\text{кв}} + 296,6; R^2 = 0,98162, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (6.18)$$

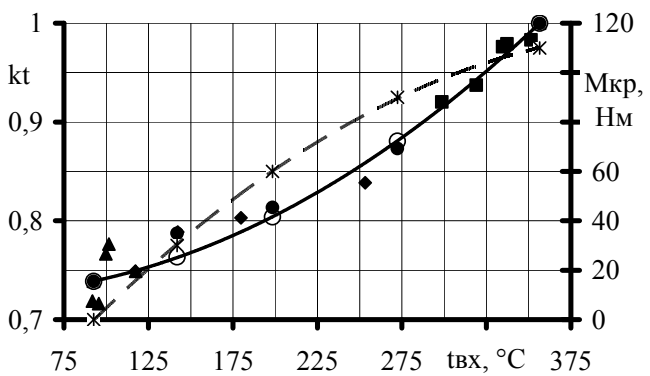
$$g_{\text{мВГ.ДВЗ}} = 1,179 \cdot 10^{-2} \cdot n_{\text{кв}} + 0,723; R^2 = 0,99926, \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2). \quad (6.19)$$



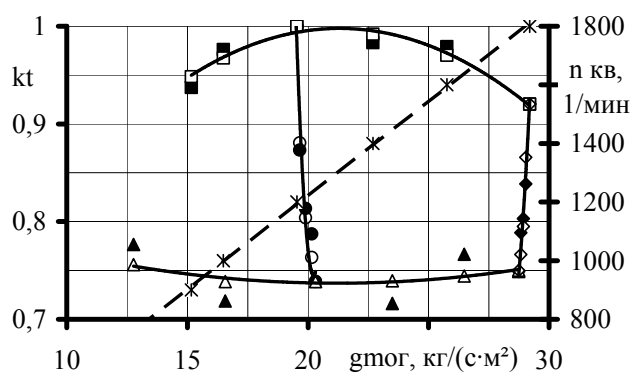
а



б



в



г

Рис. 2.2.2 – Витратні характеристики ДМЦ ФЕ (а), перепади температури на ньому (б) і температурний коефіцієнт (в) при випробуваннях дизеля 2Ч10,5/12 за стандартизованими стаціонарними випробувальними циклами [А.4] (мовою оригіналу)

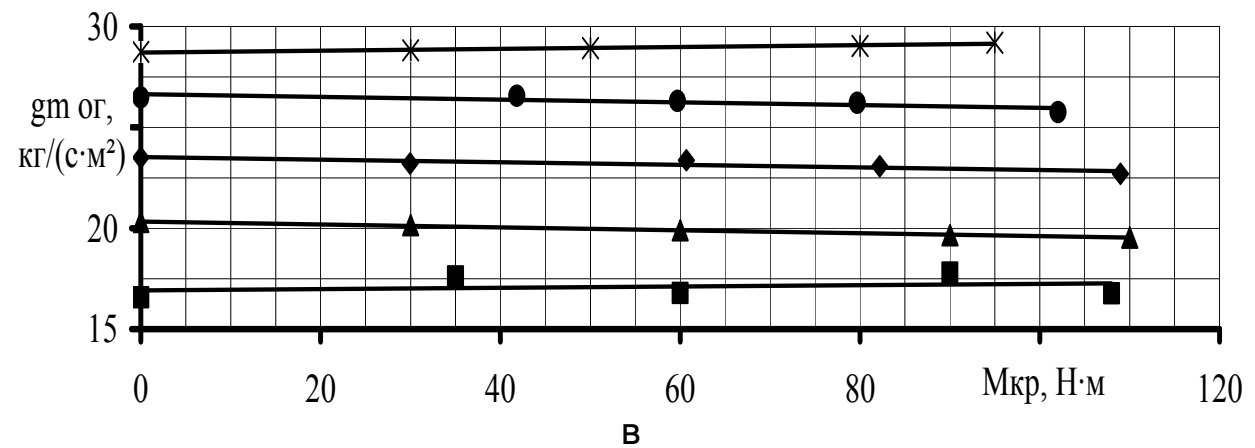
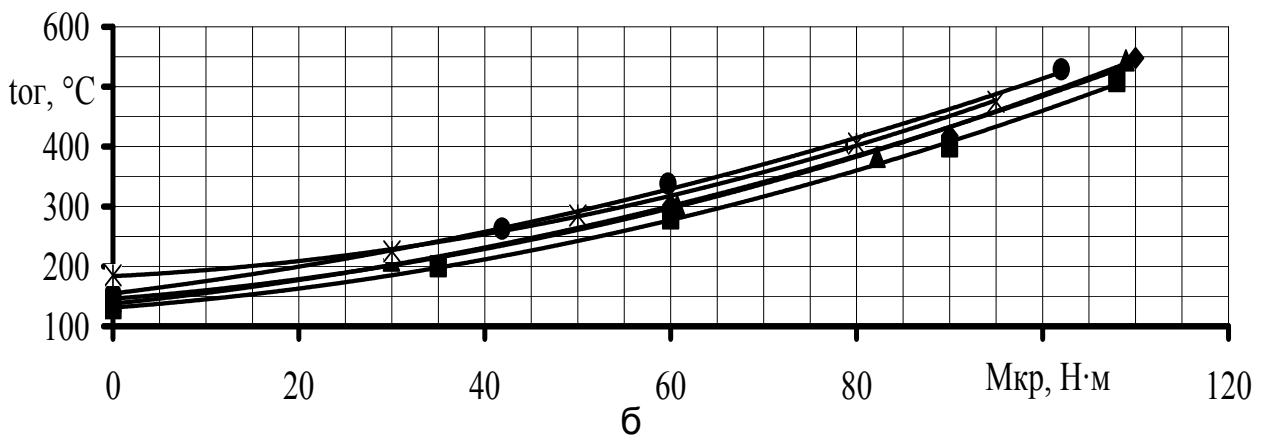
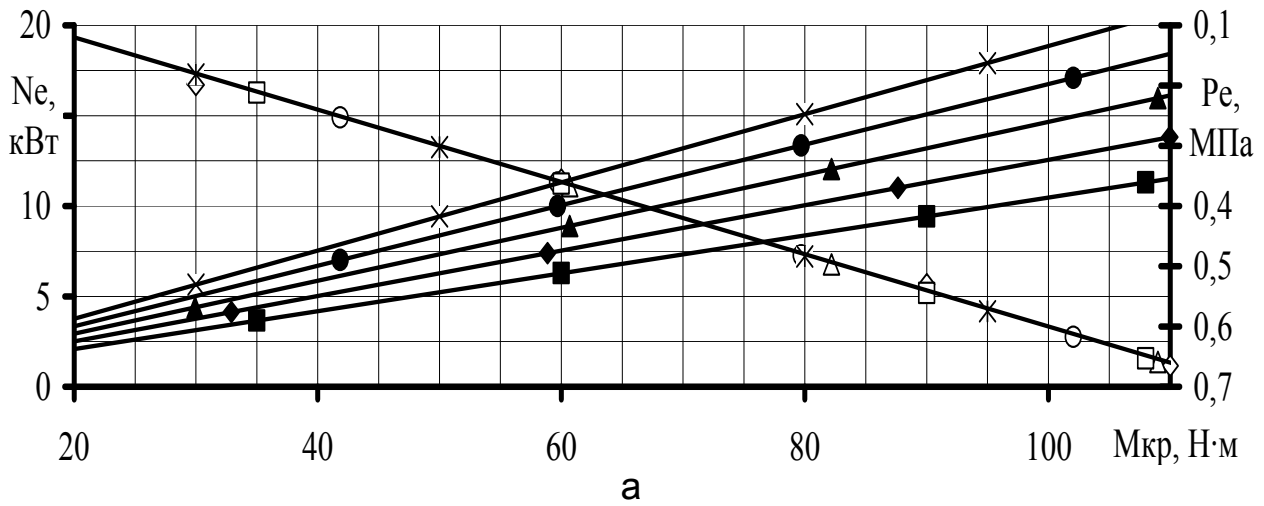


Рис. 2.2.3 – Розподіл ефективної потужності, середнього ефективного тиску (а), температури ВГ (б) і потоку ВГ (в) дизеля 2Ч10,5/12 по режимам навантажувальних характеристик [А.4] (мовою оригіналу)

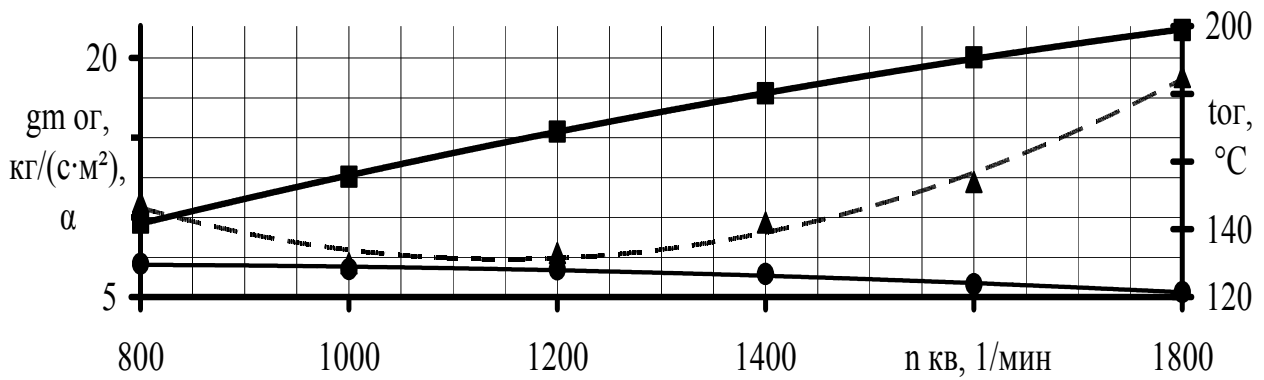


Рис. 2.2.4 – Розподіл температури і потоку ВГ по режимах характеристики холостого ходу дизеля 2Ч10,5/12 [А.4] (мовою оригіналу):
 ■ – g_{mBG} ; ▲ – t_{BG}

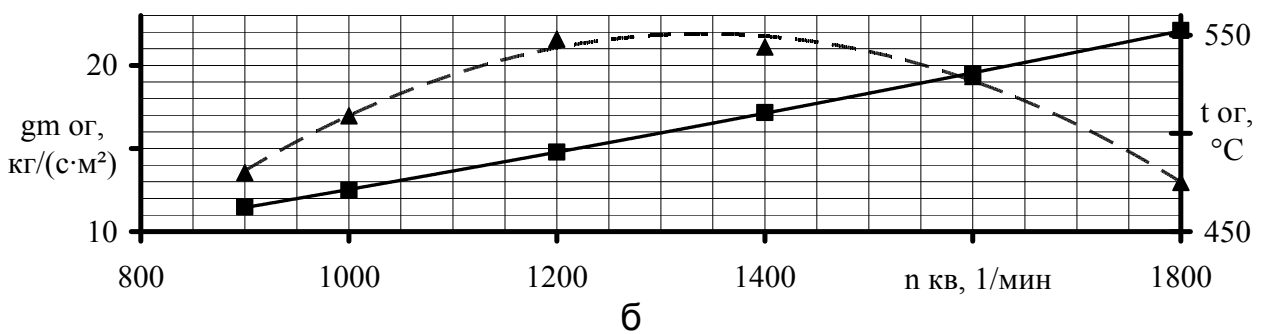
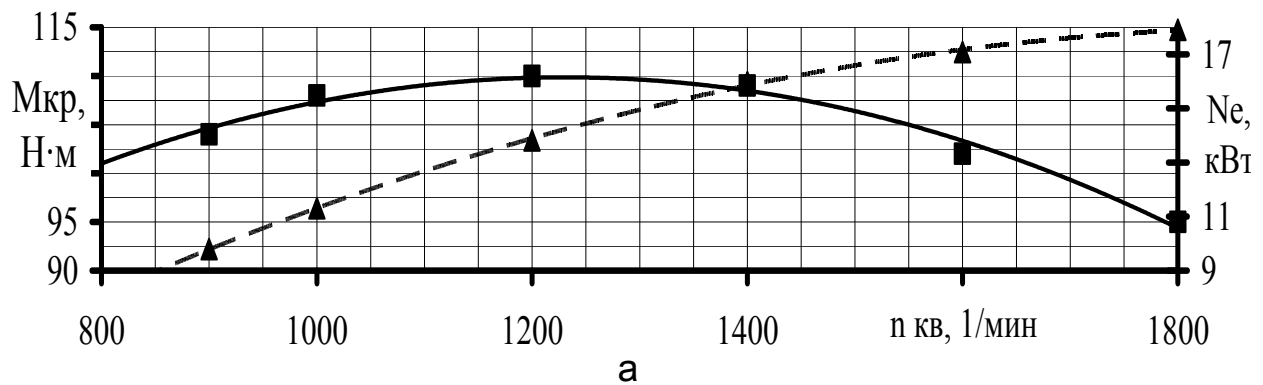


Рис. 2.2.5 – Розподіл ефективної потужності та крутного моменту (а), потоку і температури ВГ (б) дизеля 2Ч10,5/12 по режимам зовнішньої швидкісної характеристики [А.4] (мовою оригіналу):
 для а: ■ – $M_{кр}$; ▲ – N_e ; для б: ■ – g_{mBG} ; ▲ – t_{BG}

Таким чином, для ДМЦ ФЕ залежність величини k_t від величини $t_{\Phi TЧвх}$, описувана формулою (2.2.12) і визначена в ході аналізу результатів першого етапу стендових моторних експериментальних досліджень, знайшла своє підтвердження в більш широкому діапазоні температур.

Використання в якості аргументу величини $t_{\Phi TЧвх}$ для визначення величини k_t є зручним з практичної точки зору (оскільки системи зниже-

ння токсичності ВГ дизельних ПДВЗ обладнані датчиками температури ВГ) і відображає термодинамічні основи цього коефіцієнта.

Однак, значення температури $t_{фТЧвх}$ формується значенням крутного моменту $M_{кр}$, значення якого, в свою чергу, визначається виключно значенням середнього ефективного тиску P_e .

Залежності значень коефіцієнта k_t для ДМЦ ФЕ від значень величин $M_{кр}$ і P_e дизеля 2Ч10,5/12, що представляють теоретичний інтерес, представлені на рис. 2.2.6 і мають вид формул (2.2.20).

$$k_t = 4,320 \cdot 10^{-9} \cdot M_{кр}^4 - 6,512 \cdot 10^{-7} \cdot M_{кр}^3 + 4,012 \cdot 10^{-5} \cdot M_{кр}^2 + 9,326 \cdot 10^{-5} \cdot M_{кр} + 0,739 = 2,3454 \cdot P_e^4 - 2,2103 \cdot P_e^3 + 1,045 \cdot P_e^2 - 1,422 \cdot 10^{-2} \cdot P_e + 0,739;$$

$$R^2(M_{кр}) = R^2(P_e) = 0,99999. \quad (2.2.20)$$

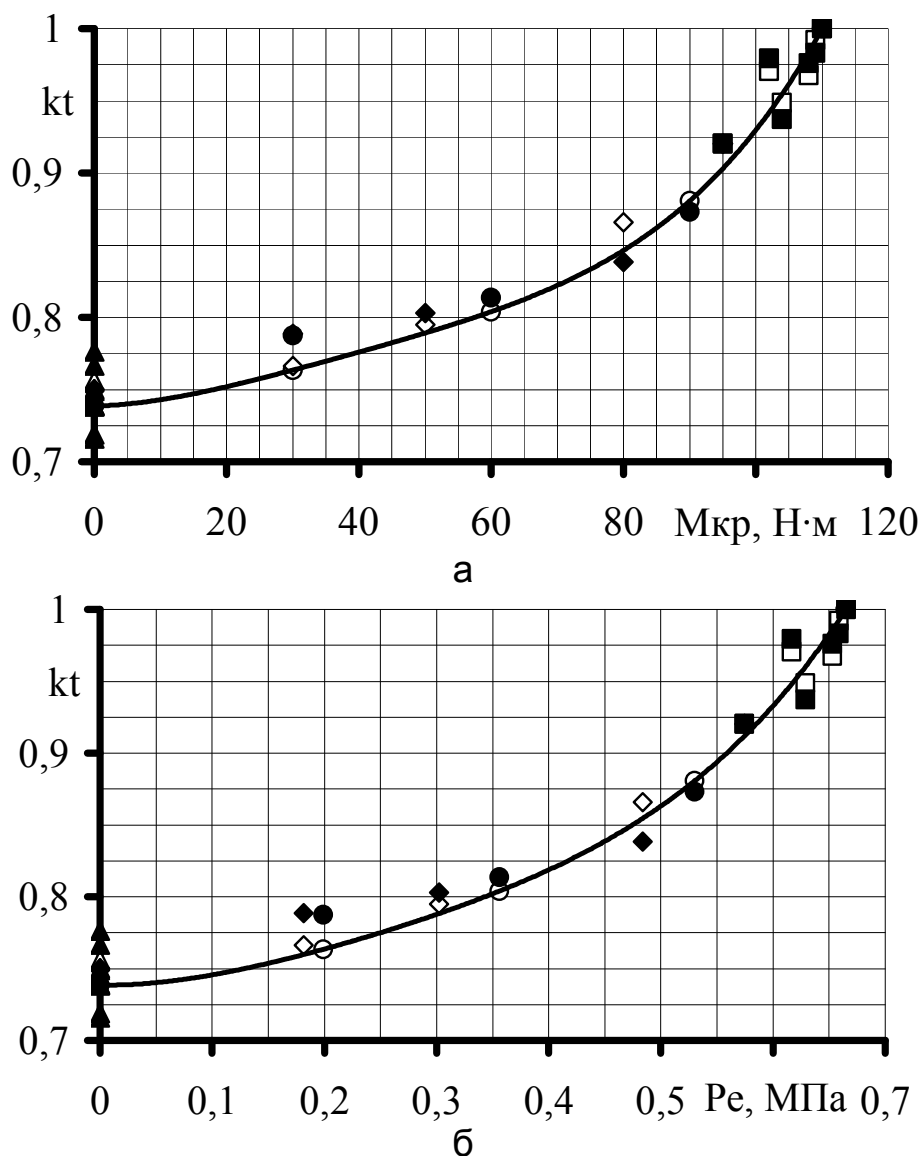


Рис. 2.2.6 – Залежності значень коефіцієнта k_t від величин $M_{кр}$ і P_e [А.4] (мовою оригіналу)

На рис. 2.2.6 застосовано наступні позначення:

■, □ – ЗШХ; ▲, △ – ХХХ;

●, ○ – НХМ; ◆, ◇ – НХН;

■, ▲, ●, ◆ – $k_{t.експ}$;

□, △, ○, ◇ – $k_{t.прогн}$

Визначенню фізичного сенсу і значень компоновочного k_L і k_τ часового коефіцієнтів розробленої математичної моделі присвячені наступні етапи моторних стендових випробувань ДМЦ ФЕ і, відповідно, частини даного дослідження.

2.2.3. Висновки по розділу

Таким чином, розроблена математична модель зв'язку між витратними характеристиками фізичної моделі ФТЧ і повнорозмірного ФТЧ в реальних умовах експлуатації.

Вона базується на витратній характеристиці модуля ФЕ при постійній температурі ТС і використовує набір коефіцієнтів, що дозволяють врахувати вплив ряду експлуатаційних факторів.

Наведено та обґрунтовано фізичний зміст температурного коефіцієнта моделі й експериментально визначено залежності його значення від температури ВГ на вході в ФТЧ, яка залежить від середнього ефективного тиску дизеля.

Розділ 2.3. КОМПОНУВАЛЬНИЙ КОЕФІЦІЄНТ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ФІЛЬТРА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЯ

2.3.1. Постановка проблеми і аналіз літературних джерел

У попередніх частинах дослідження визначено фізичний зміст і значення настроювального k_0 та температурного k_t коефіцієнтів математичної моделі гідравлічного опору (ГО) фільтра твердих частинок (ФТЧ) дизельного поршневого двигуна внутрішнього згорання (ПДВЗ) [8, 79].

У цій частині дослідження буде визначено зміст і значення компонентного коефіцієнта k_t . Таким чином, у цій частині дослідження відображені підходи до вирішення п'ятого завдання.

2.3.2. Визначення компонентного коефіцієнта

Другий етап моторних випробувань на моторному випробувальному стенді (МВС) автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, випускна система якого оснащена експериментальним діючим зразком розробленого ФТЧ з насипкою з природного цеоліту (ПЦ) в сітчастих касетах (тобто ДМЦ ФЕ), проводився з метою виявлення впливу температури текучого середовища (ТС) (для МВС – ВГ) на робочі характеристики ФТЧ взагалі, і в першу чергу, ефективності очищення їм потоку ВГ від твердих частинок (ТЧ) [13, 36].

Цей показник роботи ФТЧ характеризується коефіцієнтом ефективності очищення $K_{EO}(G_{ТЧ})$, який дорівнює відношенню різниці масового викиду ТЧ з потоком ВГ дизеля без ФТЧ $G_{ТЧ.ДВЗ}$ та з ФТЧ $G_{ТЧ.ФТЧ}$ до величини $G_{ТЧ.ДВЗ}$ і виражається у відсотках або долях одиниці.

При цьому самі величини $G_{ТЧ}$ отримані непрямыми вимірюваннями (наприклад, гравіметричним методом), а шляхом застосування достовірної емпіричної формули перерахунку проф.І.В. Парсаданова (НТУ«ХПІ»), описану в монографії [5].

У формулі враховуються дані прямих і непрямих вимірювань таких характеристик роботи дизельного ПДВЗ, як годинні масові витрати моторного палива $G_{пал}$ і повітря $G_{пов}$ (у кг/год), а також таких характеристик димності й токсичності ВГ, як коефіцієнт послаблення світлового потоку N_D (у %) та об'ємна концентрація незгорілих вуглеводнів моторного палива і мастила C_nH_m в потоці ВГ C_{CH} (у млн^{-1} чи ppm).

Такого ефекту – підвищення значення $K_{EO}(G_{ТЧ})$ при зниженні значення $t_{ВГ}$ – слід було очікувати, в основному, з наступних причин.

По-перше, місце установки макетотримача (МТ), що виконує функції корпусу ФТЧ, у складі випускної системи МВС на відстані $L_{вип} = 0$ м характеризується досить великими значеннями температури (близько 605 °С) і швидкості руху потоку ВГ, що проходить крізь поточну частину ДМЦ ФЕ.

Процеси, що визначають розміри ТЧ – конденсації незгорілих вуглеводнів моторного палива і мастила на частинках сажі (аморфного пористого вуглецю) та коагуляції самих ТЧ, що знаходяться в логарифмічній залежності від температури ВГ, в таких умовах далекі від свого завершення.

У випускному колекторі дизельного ПДВЗ ТЧ мають розміри близько 5 нм (при $t_{ВГ} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$), в живому перерізі потоку ВГ, що співпадає з поперековим перерізом випускного тракту на вході у глушник шуму ВГ ($t_{ВГ} = 350\text{...}400\text{ }^{\circ}\text{C}$) – близько 0,1 мкм, а в живому перерізі потоку ВГ, що співпадає з поперековим перерізом на виході з випускного тракту ПДВЗ ($t_{ВГ} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче) – перевищують 3 – 5 мкм [13, 80].

Таким чином, у функції температури ВГ відбувається зростання розмірів ТЧ та зміна їх складу (рахункового, хімічного і за розмірами), структури й форми.

По-друге, в експериментальних дослідженнях використовувався діючий макет з $z_M = 20$ шт., в той час як для дизеля 2Ч10,5/12 було визначено раціональне значення $z_M = 30\text{...}50$ шт. (з міркувань забезпечення раціональних значень ГО і сажоємності ФЕ), що забезпечує більший ступінь розширення потоку ВГ при вході його у ФЕ ФТЧ.

Збільшення величини z_M , а з нею сумарного прохідного перерізу ФЕ $z_M \cdot S_{ex}$, сприяє суттєвому зниженню швидкості потоку ВГ у проточній частині ФЕ.

По-третє, не менш важливим є стан насипки з ПЦ в залежності від її температури, способу і ступеня її ущільнення при брикетуванні в сітчастих касетах [13].

Зміна температури ВГ на вході в корпус ФТЧ досягалося шляхом подовження частини випускного тракту МВС, що знаходиться між випускним колектором дизельного ПДВЗ і макетотримача з ДМЦ ФЕ в ньому, за допомогою набором гнучких жароміцних газопроводів довжиною 1,5; 3,0 і 3,5 м (ці значення обрано з технологічних міркувань).

При цьому потік ВГ охолоджується природним чином, завдяки теплообміну з повітрям навколишнього природного середовища (НПС) і розширенню в газопроводах.

Таким чином, додатково організовані три положення МТ, що характеризуються значеннями 1,5; 5,0 і 8,0 м відповідно.

Сам МТ розташовувалася в вертикальному положенні для забезпечення брикетування насипки з ПЦ у сітчастих касетах модулів ФЕ під власною вагою.

У кожному з цих положень МТ знімалася зовнішня швидкісна характеристика (ЗШХ) (для положення зі значенням $L_{вип} = 0$ м ЗШХ вже отримана в ході I етапу стендових моторних випробувань і описана в першій частині цього дослідження).

В ході експериментальної перевірки ці припущення знайшли своє

підтвердження – $K_{EO}(G_{TЧ})$ ДМЦ ФЕ підвищився від 40,1 % при $L_{вуп} = 0$ м до 86,8 % при $L_{вуп} = 8,0$ м на режимі з $M_{крmax}$.

На цьому режимі (з $M_{крmax}$) спостерігається глобальний максимум величини $G_{TЧ,ФТЧ}$ і глобальний мінімум величини $G_{TЧ,ДВЗ}$ і, відповідно, глобальний максимум величини $K_{EO}(G_{TЧ})$.

Однак раціональним є обмеження довжини $L_{вуп} = 5,0$ м, оскільки більших значень досягти на практиці складно навіть на великовантажних автотранспортних засобах (АТЗ). При цьому значенні $L_{вуп}$ величина $K_{EO}(G_{TЧ})$ досягає 77,4% [13].

Разом з підвищенням ефективності очищення потоку ВГ від ТЧ спостерігається зменшення ГО експериментального зразка, МТ та інших елементів випускної системи МВС, що знаходяться за МТ.

Це пояснюється збільшенням щільності ВГ $\rho_{ВГ}$, що при незмінності секундної масової витрати ВГ $G_{mВГ}$ призводить до зменшення секундної об'ємної витрати ВГ $G_{V,ВГ}$, що при сталості прохідного перетину ФЕ $z_M \cdot S_{ex}$ призводить до зменшення швидкості руху потоку ВГ крізь проточну частину ФЕ $V_{ВГ}$, від квадрата якої залежать лінійні і місцеві втрати напорі потоку ВГ.

Зменшення величини перепаду температури ВГ на МТ $\Delta t_{ФТЧ}$ зі збільшенням величини $L_{вуп}$, також спостерігається в експерименті й представлено на рис. 2.3.1, пояснюється зниженням інтенсифікації теплообміну в ФЕ зі зменшенням температурного напорі (різниці температур ВГ і повітрям НПС).

На рис. 2.3.1 застосовано наступні позначення:

- , □, ▣ – $t_{ВГ} = 605$ °С; ◆, ◇, ▤ – $t_{ВГ} = 480$ °С;
- ▲, △, ▴ – $t_{ВГ} = 355$ °С; ●, ○, ◎ – $t_{ВГ} = 235$ °С;
- , ◆, ▲, ● – $t_{ВГ}$; □, ◇, △, ○ – $t_{ФТЧвих}$; ▣, ▤, ▴, ◎ – $t_{ФТЧвх}$

Виявлені в ході попередніх етапів моторних досліджень і описані в попередніх частинах даного дослідження співвідношення між величинами $t_{ВГ}$, $t_{ФТЧвх}$ і $t_{ФТЧвих}$, а також величинами $\Delta P_{ФТЧ}$, $\Delta P_{вуп}$ і $\Delta P_{МТ}$ в якісному плані зберігаються для всіх постійних значень величини $L_{вуп}$ (див. рис. 2.3.1 і 2.3.2).

На рис. 2.3.2 застосовано наступні позначення:

- , ◆, ▲, ●, ✱, ✕ – $\Delta P_{ФТЧ}$;
- , ◇, △, ○, ✱, ✕ – $\Delta t_{ФТЧ}$;
- , □ – $n_{ке} = 1800$ хв⁻¹; ◆, ◇ – $n_{ке} = 1600$ хв⁻¹;
- ▲, △ – $n_{ке} = 1400$ хв⁻¹; ●, ○ – $n_{ке} = 1200$ хв⁻¹;
- ✱, ✱ – $n_{ке} = 1000$ хв⁻¹; ✕, ✕ – $n_{ке} = 900$ хв⁻¹.

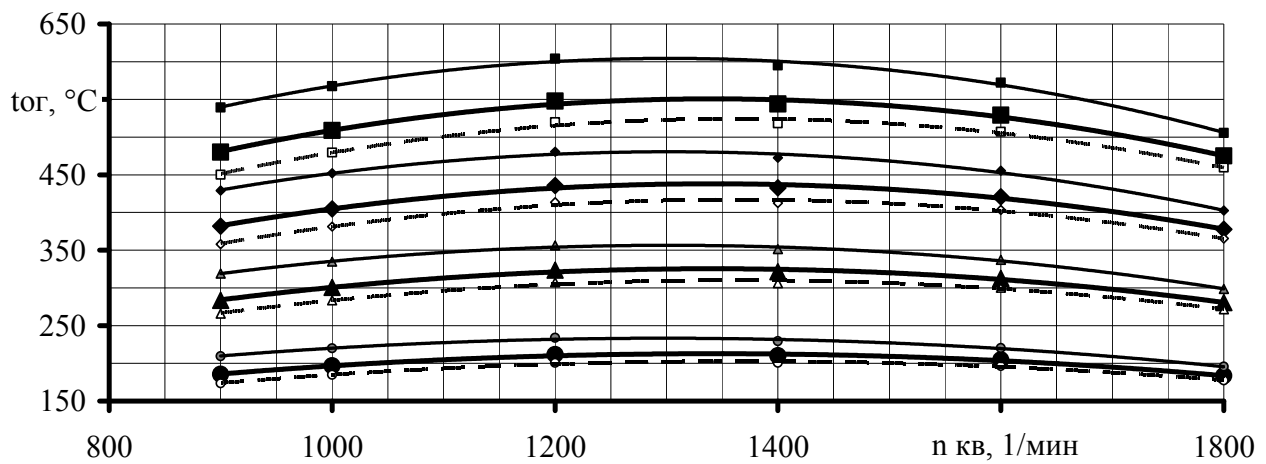


Рис. 2.3.1 – Розподіл температури ВГ по режимам ЗШХ для різних місць установки ДМЦ ФЕ [А.8] (мовою оригіналу)

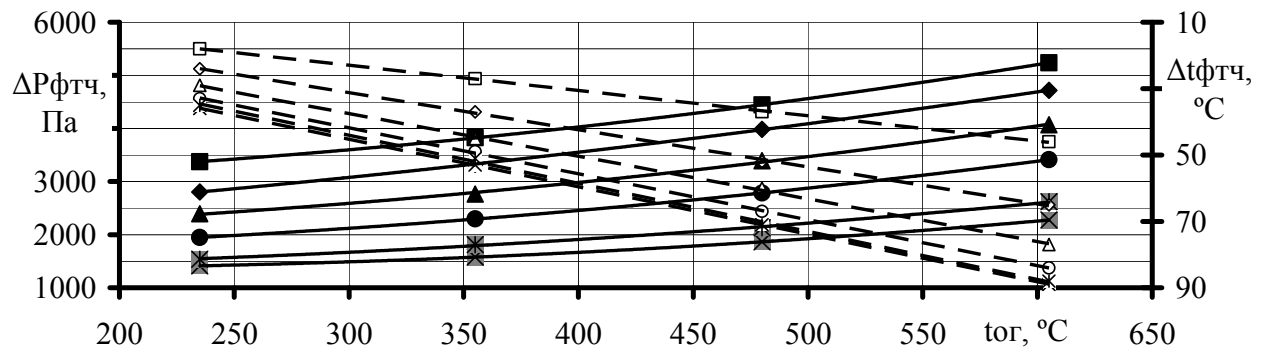


Рис. 2.3.2 – Залежності ГО ФТЧ і перепаду температури ВГ на ФТЧ від максимальної температури ВГ на вході в корпус ФТЧ по ЗШХ [А.8] (мовою оригіналу)

Залежність величини $t_{\text{ФТЧвхmax}}$ (в °C) від величини $L_{\text{вуп}}$ (в м) для МВС є нелінійною і описується формулою (2.3.1).

$$t_{\text{ФТЧвхmax}} = 2,176 \cdot L_{\text{вуп}}^2 - 61,272 \cdot L_{\text{вуп}} + 591,2; R^2 = 0,98621. \quad (2.3.1)$$

ГО ДМЦ ФЕ, як видно на рис. 2.3.2, змінюється як у функції величини $L_{\text{вуп}}$ (а значить і в функції величини $t_{\text{ФТЧвхmax}}$), так і в функції величини $n_{\text{кв}}$ (а значить і в функції величини $g_{\text{мвг}}$) нелінійно (поліноми 2-го ступеня, отримані методом найменших квадратів [65]).

Теж стосується і величин $\Delta P_{\text{вуп}}$ і $\Delta P_{\text{МТ}}$. Характер таких залежностей є подібним залежності, отриманої в ході попереднього етапу стендових моторних експериментальних досліджень при $L_{\text{вуп}} = 0$ м.

Тому, для описання цих залежностей придатний запропонований авторами спосіб [8], але з доповненням, яке враховує вплив величини $L_{\text{вуп}}$ на максимальне значення величини $t_{\text{ФТЧвх}}$ за ЗШХ, що спостерігається для всіх значень $L_{\text{вуп}}$ (тобто всіх місць установки МТ) на режимі з

$M_{кр\max}$ (див. рис. 2.3.3).

На рис. 2.3.3 застосовано наступні позначення:

– для а: * – ПММ ФЭ 100 % Ц;

■, □, ▣ – $t_{\text{ФТЧехmax}} = 605 \text{ }^\circ\text{C}$; ◆, ◇, ◊ – $t_{\text{ФТЧехmax}} = 480 \text{ }^\circ\text{C}$;

▲, △, ▴ – $t_{\text{ФТЧехmax}} = 355 \text{ }^\circ\text{C}$; ●, ○, ◉ – $t_{\text{ФТЧехmax}} = 235 \text{ }^\circ\text{C}$;

■, ◆, ▲, ● – $\Delta P_{\text{ФТЧексп}}$; ▣, ◊, ▴, ◉ – $\Delta P_{\text{ФТЧпрогн}}$; □, ◇, △, ○ – $\Delta P_{\text{ФТЧпопр}}$;

– для б, в, д:

●, ○ – при $t_{\text{ФТЧехmax}} = 235 \text{ }^\circ\text{C}$; ▲, △ – $t_{\text{ФТЧехmax}} = 355 \text{ }^\circ\text{C}$;

◆, ◇ – $t_{\text{ФТЧехmax}} = 480 \text{ }^\circ\text{C}$; ■, □ – $t_{\text{ФТЧехmax}} = 605 \text{ }^\circ\text{C}$;

●, ▲, ◆, ■ – експериментальні дані;

○, △, ◇, □ – спрогнозовані дані;

– для г:

■, □ – при $n_{кв} = 900 \text{ хв}^{-1}$; ◆, ◇ – 1000 хв^{-1} ;

▲, △ – $n_{кв} = 1200 \text{ хв}^{-1}$; ●, ○ – $n_{кв} = 1400 \text{ хв}^{-1}$;

*, * – $n_{кв} = 1600 \text{ хв}^{-1}$; ×, × – $n_{кв} = 1800 \text{ хв}^{-1}$;

●, ▲, ◆, ■, *, × – експериментальні дані;

○, △, ◇, □, *, × – спрогнозовані дані

Таке врахування пропонується здійснювати шляхом введення в математичну модель ГО ФТЧ відповідного коефіцієнта – компонувального k_L , що дорівнює співвідношенню значень ГО ДМЦ ФЕ на режимі роботи ПДВЗ з $M_{кр\max}$ при поточному значенні величини $L_{вип}$ і при $L_{вип} = 0 \text{ м}$.

При аналізі експериментальних даних, отриманих в ході цього етапу досліджень на МВС, значення компонувального коефіцієнта k_L для різних місць установки МТ прийняли наступні значення:

– при $L_{вип} = 8,0 \text{ м}$ ($t_{\text{ФТЧехmax}} = t_{\text{ФТЧех}}(M_{кр\max}) = 235 \text{ }^\circ\text{C}$) $k_L = 0,571$;

– при $L_{вип} = 5,0 \text{ м}$ ($t_{\text{ФТЧехmax}} = t_{\text{ФТЧех}}(M_{кр\max}) = 355 \text{ }^\circ\text{C}$) $k_L = 0,673$;

– при $L_{вип} = 1,5 \text{ м}$ ($t_{\text{ФТЧехmax}} = t_{\text{ФТЧех}}(M_{кр\max}) = 480 \text{ }^\circ\text{C}$) $k_L = 0,816$;

– при $L_{вип} = 0,0 \text{ м}$ ($t_{\text{ФТЧехmax}} = t_{\text{ФТЧех}}(M_{кр\max}) = 605 \text{ }^\circ\text{C}$) $k_L = 1,0$.

Останнє значення обумовлено фізичним змістом компонувального коефіцієнта.

Залежність значень k_L (в долях одиниці) від значення $L_{вип}$ (в м) і $t_{\text{ФТЧехmax}}$ (в $^\circ\text{C}$) виражається рівнянням (2.3.2).

$$\begin{aligned} k_L &= 1,248 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{ФТЧехmax}}^2 + 1,073 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{ФТЧехmax}} + 0,478 = \\ &= 2,337 \cdot 10^{-6} \cdot L_{вип}^2 - 6,721 \cdot 10^{-2} \cdot L_{вип} + 0,959; \\ R^2(t_{\text{ФТЧехmax}}) &= 0,99996; R^2(L_{вип}) = 0,97920. \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

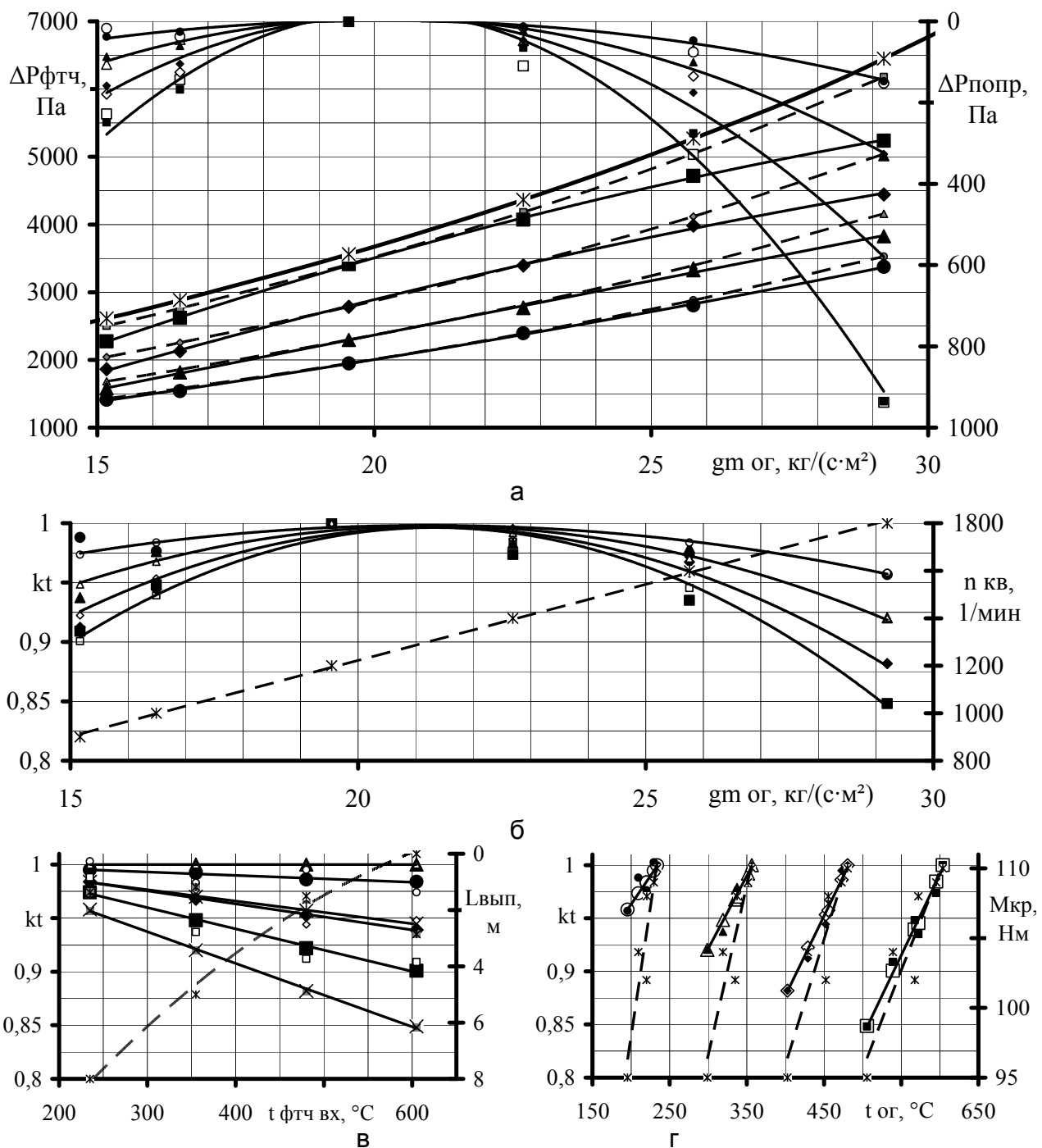


Рис. 2.3.3 – Вплив температури ВГ режимів ЗШХ дизеля 2С10,5/12 на ГО ДМЦ ФЕ [А.8] (мовою оригіналу)

Запропонований спосіб описання в даному випадку передбачає отримання витратних характеристик при $t_{\text{ВГ}} = \text{const}$ для кожного значення величини $L_{\text{вип}}$ шляхом множення всіх коефіцієнтів при $t_{\text{ВГ}} = \text{const}$ при $L_{\text{вип}} = 0$ м (отриманої, в свою чергу, множенням значень по витратній характеристиці ПММ ФЕ на настроювальний коефіцієнт k_0), на компоновальний коефіцієнт k_L . І далі для отримання прогнозованих значень ГО ДМЦ ФЕ при $t_{\text{ВГ}} \neq \text{const}$ використовувати множення на температурний коефіцієнт k_t розробленої математичної моделі.

Для уточнення такої витратної характеристики прогнозу пропонується використовувати значення прогнозованого температурного коефіцієнта $k_{t.прогн}$, рівного співвідношенню значень ГО ДМЦ ФЕ, що визначаються за витратними характеристиками при $t_{BG} = const$ для поточного значення величини $L_{вип}$ і при $L_{вип} = 0$ м.

Такий підхід, очевидно, може бути використаний для описання експериментальних даних, оскільки форма витратної характеристики при $t_{BG} = const$, отриманої для ПММ ФЕ на безмоторній дослідницькій установці (БДУ), відображає сутність фізичних процесів, що відбуваються в модулі ФЕ, так само як і форма кривих сімейства, отриманих при використанні коефіцієнтів k_0 і k_L .

Відповідно до цього підходу, при визначенні значень величини $k_{t.прогн}$ виявлено, що значення цього коефіцієнта залежать не тільки від величини $t_{ФТЧвх}$, але і від величини $n_{кв}$, а значить і величини g_{mBG} .

Ця уточнена залежність для $L_{вип} = const$ і $t_{TC} = const$ (тобто для залежностей, отриманих для постійної температури ТС і в зв'язку з цим придатних для порівняння з витратної характеристикою ПММ ФЕ, отриманої на БДУ) має вигляд, описаний формулами (2.3.3) – (2.3.9).

$$k_{t.прогн} = \frac{\Delta P_{ФТЧ|t_{TC}}(n_{кв}|t_{ФТЧвх})}{\Delta P_{ФТЧ|t_{TC}}(n_{кв}|t_{ФТЧвхmax})} = 1 - \frac{\Delta P_{попр}}{\Delta P_{ФТЧ|t_{TC}}(n_{кв}|t_{ФТЧвхmax})} =$$

$$= \frac{(\Delta P_{ФТЧ|t=const}(L_{вип} = 0) - \Delta P_{попр})}{\Delta P_{ФТЧ|t=const}(L_{вип} = 0)} = 1 - \frac{\Delta P_{попр}}{\Delta P_{ФТЧпрогн}}; \quad (2.3.3)$$

$$\Delta P_{попр.прогн} = \Delta P_{ФТЧпрогн}(t_{ФТЧвхmax}) - \Delta P_{ФТЧпрогн}(t_{ФТЧвх}) =$$

$$= \Delta P_{ФТЧпрогн}(t_{ФТЧвхmax}) \cdot (1 - k_{t.прогн}) =$$

$$= (5,599 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв} - 1,773 \cdot 10^{-3}) \cdot (t_{ФТЧвхmax}^2 - t_{ФТЧвх}^2)_{n_{кв}=const} +$$

$$+ (2,048 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв} - 7,288 \cdot 10^{-2}) \cdot (t_{ФТЧвхmax} - t_{ФТЧвх})_{n_{кв}=const}; \quad (2.3.4)$$

$$\Delta P_{попр.експ} = \Delta P_{ФТЧпрогн} - \Delta P_{ФТЧексп} = \Delta P_{ФТЧпрогн} \cdot (1 - k_{t.експ}); \quad (2.3.5)$$

$$k_{t.експ} = (1,119 \cdot 10^{-9} \cdot n_{кв}^2 + 2,903 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв} - 1,882 \cdot 10^{-3}) \cdot t_{ФТЧвх} + 1,0. \quad (2.3.6)$$

$$k_{t.прогн} = \frac{\Delta P_{ФТЧпрогн}(t_{ФТЧвх})}{\Delta P_{ФТЧпрогн}(t_{ФТЧвхmax})}; \quad (2.3.7)$$

$$\Delta P_{ФТЧпрогн}(L_{вип} = 0) = k_L(t_{ФТЧвхmax} = const) \cdot k_0 \cdot \Delta P_{ПММ100\%Ц}(g_{mBG}); \quad (2.3.8)$$

$$\Delta P_{ФТЧпрогн}(L_{вип} \neq 0) = k_L(t_{ФТЧвхmax} = const) \cdot k_0 \cdot \Delta P_{ПММ100\%Ц}(g_{mBG}) \cdot k_t(t_{ФТЧвх}) \quad (2.3.9)$$

де $\Delta P_{попр}$ – поправка значення ГО, Па.

За експериментальними даними, отриманими на цьому етапі стендових моторних досліджень, розраховано експериментальні значення $\Delta P_{\text{попр.експ}}$ і k_t за формулами (2.3.3) і (2.3.4), разом з прогнозними описані методом найменших квадратів [65] і представлені на рис. 2.3.3.

Відхилення експериментальних $\Delta P_{\text{попр.експ}}$ значень від прогнозних $\Delta P_{\text{попр.прогн}}$ знаходяться в діапазоні 19 – 37 % і зменшуються з ростом величини $t_{\text{ФТЧех max}}$, що пояснюється особливостями розподілу похибки вимірювання величини $t_{\text{ФТЧех}}$ термопарами ТХА і приладом А566 в їх робочому діапазоні вимірювання.

Однак, для величини k_t такі відхилення практично не змінюється і становить близько 0,65 %.

Як впливає з наведених даних, а також як видно на рис. 2.3.3, запропонований підхід придатний для описання результатів стендових моторних досліджень, а припущення, покладені в його основу, знайшли своє підтвердження.

Тоді далі між величинами $\Delta P_{\text{попр}}$ і k_t , що позначаються індексами «експ» і «прогн», відмінностей в описанні результатів експериментів і математичної моделі ГО ФТЧ робитися не буде, самі ж індекси будуть опускатися і під відповідними величинами будуть розумітися отримані із застосуванням запропонованого способу, тобто прогнозні.

Для $L_{\text{вуп}} = 0$ м ці величини описуються формулами (2.3.9)...(2.3.13),

для $L_{\text{вуп}} = 1,5$ м – формулами (2.3.14)...(2.3.18),

для $L_{\text{вуп}} = 5,0$ м – формулами (2.3.19)...(2.3.23),

для $L_{\text{вуп}} = 8,0$ м – формулами (2.3.24) ... (2.3.28).

Залежно величин $\Delta P_{\text{ФТЧ}}$, $\Delta t_{\text{ФТЧ}}$ і k_t , від $t_{\text{ФТЧех}}$ при постійному значенні $n_{\text{ке}}$ описуються формулами:

(2.3.29)...(2.3.31) для $n_{\text{ке}} = 900 \text{ хв}^{-1}$,

(2.3.32)...(2.3.34) для $n_{\text{ке}} = 1800 \text{ хв}^{-1}$,

(2.3.35)...(2.3.37) для $n_{\text{ке}} = 1800 \text{ хв}^{-1}$.

$$\Delta P_{\text{ФТЧексп}} = 3,511 \cdot 10^{-4} \cdot n_{\text{ке}}^2 + 2,341 \cdot n_{\text{ке}} = -4,766 \cdot g_{\text{мВГ}}^2 + 423,72 \cdot g_{\text{мВГ}} - 3061,2;$$

$$R^2(g_{\text{мВГ}}) = 0,99971; R^2(n_{\text{ке}}) = 0,99157; \quad (2.3.9)$$

$$\Delta P_{\text{ФТЧпрогн}} = 0,117 \cdot g_{\text{мВГ}}^3 - 1,868 \cdot g_{\text{мВГ}}^2 + 166,77 \cdot g_{\text{мВГ}}; R^2 = 0,99998; \quad (2.3.10)$$

$$\Delta t_{\text{ФТЧ}} = -5,793 \cdot 10^{-5} \cdot n_{\text{ке}}^2 + 0,110 \cdot n_{\text{ке}} + 36,4; R^2 = 0,99804; \quad (2.3.11)$$

$$\Delta P_{\text{попр}} = 11,654 \cdot g_{\text{мВГ}}^2 - 471,92 \cdot g_{\text{мВГ}} + 4755,1; R^2 = 0,98970; \quad (2.3.12)$$

$$k_t = -6,024 \cdot 10^{-7} \cdot n_{\text{ке}}^2 + 1,568 \cdot 10^{-3} \cdot n_{\text{ке}} - 2,319 \cdot 10^{-2} =$$

$$= -2,431 \cdot 10^{-3} \cdot g_{\text{мВГ}}^2 + 0,104 \cdot g_{\text{мВГ}} - 0,109 = 1,519 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{ВГ}} + 7,960 \cdot 10^{-2};$$

$$R^2(g_{\text{мВГ}}) = 0,98613; R^2(n_{\text{ке}}) = 0,99080; R^2(t_{\text{ВГ}}) = 0,99788; \quad (2.3.13)$$

$$\Delta P_{\text{ФТЧексп}} = 4,12 \cdot 10^{-4} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 1,783 \cdot n_{\text{кв}} = -3,274 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 331,96 \cdot g_{\text{мБГ}} - 2438,4$$

$$R^2(n_{\text{кв}}) = 0,99304; R^2(g_{\text{мБГ}}) = 0,99937; \quad (2.3.14)$$

$$\Delta P_{\text{ФТЧпрогн}} = 9,557 \cdot 10^{-2} \cdot g_{\text{мБГ}}^3 - 1,539 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 136,07 \cdot g_{\text{мБГ}}; R^2 = 0,99998; \quad (2.3.15)$$

$$\Delta t_{\text{ФТЧ}} = -4,148 \cdot 10^{-5} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 7,471 \cdot 10^2 \cdot n_{\text{кв}} + 37,4; R^2 = 0,99714; \quad (2.3.16)$$

$$\Delta P_{\text{попр}} = 7,359 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 - 297,69 \cdot g_{\text{мБГ}} + 2998,0; R^2 = 0,98910; \quad (2.3.17)$$

$$k_t = -1,879 \cdot 10^{-3} \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 8,007 \cdot 10^{-2} \cdot g_{\text{мБГ}} + 0,143 =$$

$$-4,658 \cdot 10^{-7} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 1,212 \cdot 10^{-3} \cdot n_{\text{кв}} + 0,210 = 1,491 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{БГ}} + 0,281;$$

$$R^2(n_{\text{кв}}) = 0,98882; R^2(g_{\text{мБГ}}) = 0,98366; R^2(t_{\text{БГ}}) = 0,99791; \quad (2.3.18)$$

$$\Delta P_{\text{ФТЧексп}} = 4,0 \cdot 10^{-4} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 1,419 \cdot n_{\text{кв}} = -0,126 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 165,99 \cdot g_{\text{мБГ}} - 901,6$$

$$R^2(n_{\text{кв}}) = 0,99938; R^2(g_{\text{мБГ}}) = 0,99935; \quad (2.3.19)$$

$$\Delta t_{\text{ФТЧ}} = -3,018 \cdot 10^{-5} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 5,359 \cdot 10^{-2} \cdot n_{\text{кв}} + 28,5; R^2 = 0,99618; \quad (2.3.20)$$

$$\Delta P_{\text{ФТЧпрогн}} = 7,882 \cdot 10^{-2} \cdot g_{\text{мБГ}}^3 - 1,269 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 112,22 \cdot g_{\text{мБГ}}; R^2 = 0,99998; \quad (2.3.21)$$

$$\Delta P_{\text{попр}} = 4,111 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 - 166,32 \cdot g_{\text{мБГ}} + 1674,7; R^2 = 0,99070; \quad (2.3.22)$$

$$k_t = -1,272 \cdot 10^{-3} \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 5,421 \cdot 10^{-2} \cdot g_{\text{мБГ}} + 0,420 =$$

$$= -3,153 \cdot 10^{-7} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 8,20 \cdot 10^{-4} \cdot n_{\text{кв}} + 0,465 = 1,362 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{БГ}} + 0,513;$$

$$R^2(n_{\text{кв}}) = 0,99056; R^2(g_{\text{мБГ}}) = 0,98589; R^2(t_{\text{БГ}}) = 0,99782; \quad (2.3.23)$$

$$\Delta P_{\text{ФТЧексп}} = 3,723 \cdot 10^{-4} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 1,186 \cdot n_{\text{кв}} = 1,662 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 66,459 \cdot g_{\text{мБГ}} + 11,22;$$

$$R^2(n_{\text{кв}}) = 0,99809; R^2(g_{\text{мБГ}}) = 0,99955; \quad (2.3.24)$$

$$\Delta t_{\text{ФТЧ}} = -1,563 \cdot 10^{-5} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 2,218 \cdot 10^{-2} \cdot n_{\text{кв}} + 28,6; R^2 = 0,99949; \quad (2.3.25)$$

$$\Delta P_{\text{ФТЧпрогн}} = 6,688 \cdot 10^{-2} \cdot g_{\text{мБГ}}^3 - 1,077 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 95,22 \cdot g_{\text{мБГ}}; R^2 = 0,99998; \quad (2.3.26)$$

$$\Delta P_{\text{попр}} = 1,780 \cdot g_{\text{мБГ}}^2 - 71,66 \cdot g_{\text{мБГ}} + 719,4; R^2 = 0,99210; \quad (2.3.27)$$

$$k_t = -6,442 \cdot 10^{-4} \cdot g_{\text{мБГ}}^2 + 2,734 \cdot 10^{-2} \cdot g_{\text{мБГ}} + 0,708 =$$

$$= -1,60 \cdot 10^{-7} \cdot n_{\text{кв}}^2 + 4,145 \cdot 10^{-4} \cdot n_{\text{кв}} + 0,730 = 1,079 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{БГ}} + 0,747;$$

$$R^2(n_{\text{кв}}) = 0,98774; R^2(g_{\text{мБГ}}) = 0,98122; R^2(t_{\text{БГ}}) = 0,99774; \quad (2.3.28)$$

$$\Delta P_{\phi TЧ} = 3,867 \cdot 10^{-3} \cdot t_{BG}^2 - 0,919 \cdot t_{BG} + 1416,1; R^2 = 0,99998; \quad (2.3.29)$$

$$\Delta t_{\phi TЧ} = 0,143 \cdot t_{BG} + 2,2; R^2 = 0,99998; \quad (2.3.30)$$

$$k_t = -1,983 \cdot 10^{-4} \cdot t_{BG} + 1,019; R^2 = 0,99675; \quad (2.3.31)$$

$$\Delta P_{\phi TЧ} = 4,294 \cdot 10^{-3} \cdot t_{BG}^2 + 0,347 \cdot t_{BG} + 1630,0; R^2 = 0,99999; \quad (2.3.32)$$

$$\Delta t_{\phi TЧ} = 0,138 \cdot t_{BG} + 0,3; R^2 = 0,99980; \quad (2.3.33)$$

$$k_t = 1,0 \cdot t_{BG} + 1,0; R^2 = 0,99999; \quad (2.3.34)$$

$$\Delta P_{\phi TЧ} = 5,262 \cdot 10^{-3} \cdot t_{BG}^2 + 0,611 \cdot t_{BG} + 2942,2; R^2 = 0,99998; \quad (2.3.35)$$

$$\Delta t_{\phi TЧ} = 7,611 \cdot 10^{-2} \cdot t_{BG} - 0,1; R^2 = 0,99962; \quad (2.3.36)$$

$$k_t = -2,955 \cdot 10^{-4} \cdot t_{BG} + 1,026; R^2 = 0,99833. \quad (2.3.37)$$

Таким чином, за результатами проведення даного етапу стендових моторних досліджень можна зробити наступний висновок: температура ВГ як ТС, чинить істотний вплив на всі робочі характеристики ДМЦ ФЕ.

Зниження температури ВГ, досягнуте за рахунок перенесення місця встановлення ФТЧ по довжині випускного тракту дизельного ПДВЗ, позитивно позначається як на ефективності очищення їм потоку ВГ від ТЧ, так і на його ГО.

Причому цей вплив тим сильніше, чим вище температура ВГ на вході в корпус ФТЧ, і навпаки, при наближенні її значення до температури повітря НПС, тим менш значний ефект досягається.

У зв'язку з вищесказаним, слід також зробити висновок про те, що раціональне місце розміщення розробленого ФТЧ по довжині випускного тракту МВС знаходиться близько до значення $L_{вип}$, рівного 5,0 м.

Цей висновок також підкріплюється аналізом геометричних параметрів (зокрема, довжини) випускних трактів існуючих одиниць АТЗ, оснащених автотракторної дизельними ПДВЗ, у яких значення величини $L_{вип}$, що перевищує 5,0 м, не знайшло широкого поширення.

Слід зауважити, що по суті температурний k_t і компонувальний k_L коефіцієнти в представленій моделі виконують однакові функції – врахування впливу температури ВГ на ГО ФТЧ.

У зв'язку з цим, їх можна було б об'єднати в один – глобальний або абсолютний температурний коефіцієнт k_T , а коефіцієнт k_t набував би функції врахування локальної або відносної зміни температури ВГ (тобто, від режиму до режиму в межах однієї ЗШХ).

Однак при такому підході втрачається зв'язок між самою зміною температури ВГ та її причинами.

Визначенню фізичного сенсу і значень часового коефіцієнта k_τ моделі, що дозволяє врахувати вплив на ГО ФТЧ динаміки засмічення його ФЕ в процесі експлуатації, присвячена наступна, завершальна, частина даного дослідження.

2.3.3. Висновки по розділу

Таким чином, у даному дослідженні наведено та обгрунтовано фізичний зміст компонувального коефіцієнта математичної моделі ГО ФТЧ, що дозволяє врахувати вплив на ГО ФТЧ місця його розміщення вздовж випускного тракту дизеля, що визначає максимальну температуру ВГ на вході в його корпус.

Експериментально визначені його значення для різних місць розміщення ФТЧ.

Розділ 2.4. ЧАСОВИЙ КОЕФІЦІЄНТ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ФІЛЬТРА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЯ

2.4.1. Постановка проблеми і аналіз літературних джерел

У попередніх частинах дослідження визначено фізичний зміст і значення настроювального k_0 , температурного k_t та компонувального k_L коефіцієнтів математичної моделі гідравлічного опору (ГО) фільтра твердих частинок (ФТЧ) дизельного поршневого двигуна внутрішнього згоряння (ПДВЗ) [8, 79, 81].

У цій частині дослідження буде визначено зміст і значення часового коефіцієнта k_τ , за допомогою якого в моделі враховується час роботи дизельного ПДВЗ на стаціонарному режимі роботи.

Таким чином, у цій частині дослідження відображені підходи до вирішення п'ятого завдання.

2.4.2. Визначення часового коефіцієнта

Він визначається за аналогією з іншими коефіцієнтами описуваної математичної моделі, а саме: співвідношенням значень ГО розробленого ФТЧ, експериментально отриманими на МВС, відповідно на початку роботи ФТЧ з незаповненим (порожнім, очищеним) ФЕ (в початковий момент міжрегенераційного періоду, тобто при напрацюванні дизелем часу $\tau_{reg} = 0$) і в поточний момент часу з $\tau_{reg} \neq 0$ (аж до закінчення міжрегенераційного періоду роботи ФТЧ, тобто безпосередньо перед початком процесу регенерації I роду [82, 83]).

Це виражається формулою (2.4.1).

$$k_\tau = f(\tau_M, G_{TЧ}(N_{ei}), K_{EO}(G_{TЧ})(N_{ei}), WF_i) = \frac{\Delta P_{ФТЧ}(\tau_{reg} = 0)}{\Delta P_{ФТЧ}(\tau_{reg} \neq 0)}, \quad (2.4.1)$$

де індексом i позначено режим роботи дизельного ПДВЗ у моделі його експлуатації; τ_M – час роботи дизельного ПДВЗ на режимі з максимальним масовим годинним викидом ТЧ (тобто на режимі з $M_{кр\max}$); $G_{TЧ}$ – масовий годинний викид ТЧ з потоком ВГ дизельного ПДВЗ; $K_{EO}(G_{TЧ})$ – коефіцієнт ефективності очищення ФТЧ потоку ВГ дизельного ПДВЗ від ТЧ; N_e – ефективна потужність дизельного ПДВЗ; $M_{кр}$ – крутний момент дизельного ПДВЗ; $n_{ке}$ – частота обертання колінчастого вала дизельного ПДВЗ; WF – ваговий фактор i -го режиму роботи дизельного ПДВЗ в обраній моделі його експлуатації.

Міжрегенераційний період роботи ФТЧ τ_{reg} – це тривалість роботи дизельного ПДВЗ (в одиницях часу чи кілометражу пробігу автотранспортного засобу (АТЗ), в одиницях кількості спожитого палива, в одиницях

виробленої енергії чи напрацювання ПДВЗ у мотогодинах) від моменту, коли можна вважати, що ФЕ ФТЧ повністю незаповнений $\tau_{reg} = 0$ (порожній, очищений) ТЧ, до моменту, коли можна умовно вважати, що в ФТЧ необхідно здійснити процес регенерації I роду і $\tau_{reg} = \tau_{regI}$.

Регенерація I роду – це періодичний процес очищення ФЕ ФТЧ від накопичених в процесі експлуатації окислюваних фракцій ТЧ (незгорілі вуглеводні палива та масла, сажові ядра), який є обов'язковою частиною життєвого циклу ФТЧ.

Регенерація II роду – це процес очищення ФЕ ФТЧ від накопичених в процесі експлуатації неокислюваних при температурах до 1000 °С фракцій ТЧ (продукти зносу деталей дизельного ПДВЗ, мінеральний пил повітря свіжого заряду, зола від згоряння присадок моторного палива і мастила) і продуктів коксування окислюваних фракцій ТЧ.

Процес регенерації II роду може бути неперіодичним і не входити в життєвий цикл ФТЧ.

Головною ознакою необхідності проведення регенерації I роду є досягнення ГО ФТЧ певного і наперед завданого рівня, як правило, не перевищуючого 10 ... 25 кПа.

Тобто зміна ГО ФТЧ в процесі експлуатації є непрямим показником динаміки його засмічення [82, 83].

При цьому розглядається в даній частині дослідження часовий коефіцієнт k_τ моделі відображає тільки врахування зміни ГО ФТЧ, викликаного тими ж причинами, що і необхідність здійснення регенерації I роду.

Фізичний сенс і підхід до визначення такого коефіцієнта для процесу регенерації II роду не зміниться, проте експериментальних даних з цієї серії стендових моторних експериментальних досліджень недостатньо для визначення його значень.

Очевидним є те, що для різних моделей експлуатації дизельного ПДВЗ, а значить і ФТЧ, динаміка його засмічення ТЧ буде різною.

Це обумовлено тим, що і $G_{ТЧ}$, і $K_{EO}(G_{ТЧ})$ визначають сумарний масовий вміст ТЧ в ФЕ і залежать від показників режиму роботи дизельного ПДВЗ – $M_{кр}$ і $n_{кв}$.

При цьому, граничний рівень ГО ФТЧ певної конструкції однозначно відповідає граничному значенню змісту ТЧ в його ФЕ, тобто його абсолютно (в кг або г ТЧ) або питомої (віднесеної до одиниці об'єму ФЕ, в кг або г ТЧ на м³) сажоємності.

У самих же моделях експлуатації враховуються різні, найбільш характерні або ймовірні, режими роботи дизельного ПДВЗ, а врахуванням режимам присвоюються відповідні вагові коефіцієнти WF_i .

Дизельним ПДВЗ різного призначення і різного конструктивного виконання можна поставити у відповідність різні моделі експлуатації.

Крім того, всі моделі експлуатації ділять на стаціонарні та нестаціонарні, а також на дискретні й континуальні [5, 68, 70].

Прикладами дискретних стаціонарних моделей експлуатації служать 13-ти і 8-ми режимні стаціонарні стандартизовані випробувальні цикли, які використовуються для визначення середньоексплуатаційних значень масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ відповідно транспортних і тракторних дизельних ПДВЗ при оцінці відповідності такого ПДВЗ вимогам законодавчо встановлених норм токсичності Правил ЄЕК ООН №№ 49 і 96 [36].

У табл. 1.4.1 (див. розділ 1.4) наведені параметри режимів цих випробувальних циклів на прикладі автотракторного дизеля 2Ч10,5/12.

Для побудови даної математичної моделі у визначенні часового коефіцієнта застосовуються саме ці моделі експлуатації, оскільки вони є випробувальними циклами, на основі яких будується методика експериментального визначення середньоексплуатаційних значень масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ автотракторних дизельних ПДВЗ для визначення відповідності цих ПДВЗ законодавчо встановленим на території країн Європейського союзу (рівня EURO VI), України (рівня EURO III) і Російської Федерації (рівня EURO IV) нормам токсичності ВГ.

З суто науковою метою, природно, доречно було б використовувати континуальні нестаціонарні моделі експлуатації ПДВЗ, що втім вимагало б проведення більш об'ємних і складних експериментальних досліджень.

Для експериментального визначення параметрів динаміки засмічення досліджуваного ФТЧ, було сплановано і проведений IV етап стендових моторних досліджень на МВС його діючого зразка – ДМЦ ФЕ.

В ході цього етапу ДМЦ ФЕ встановлювався в макетотримач випускної системи МВС у вертикальному положенні на відстані $L_{вип} = 5,0$ м від фланця випускного колектора по довжині випускного тракту дизеля 2Ч10,5/12.

Попередньо експериментальний зразок розібрано і очищено від накопичених в ході попередніх етапів стендового моторного експериментального дослідження ТЧ шляхом заміни насипки з ПЦ і промивання металевих конструкцій – кожухів і сітчастих касет [63, 64].

Програма даного етапу дослідження передбачала роботу дизеля 2Ч10,5/12 на МВС, випускна система якого оснащена МТ з ДМЦ ФЕ в ньому, на характерному режимі роботи впродовж запланованого часу.

У якості характерного режиму роботи при цьому обраний режим максимального крутного моменту ($n_{ке} = 1200$ хв⁻¹, $M_{кр} = M_{крmax} = 110$ Н·м), як режим з $G_{ТЧ} = \max$ і $t_{ФТЧвх} = t_{ФТЧвхmax} = 355$ °С.

Запланована тривалість дослідження обмежувалася 12 годинами (півтори робочі зміни) або виходом ГО експериментального зразка за межі вимірювальної шкали дифманометра МВС (15 кПа).

Частота вимірювання параметрів, які формують характеристики роботи ДМЦ ФЕ становила 30 хв.

Провести IV етап випробувань в запланованому обсязі не вдалося, через вихід ГО експериментального зразка $\Delta P_{ФТЧ}$ за межі вимірювальної

шкали дифманометра МВС при напрацюванні дизеля 2Ч10,5/12 на режимі з $M_{кр\max} \tau_M = 8$ год.

Скороченню цього часу сприяв також масштаб ДМЦ ФЕ, що містить 20 модулів, що становить $2/3$ від мінімально необхідної кількості, рекомендованого для дизеля з робочим об'ємом $2,0 \text{ дм}^3$ (для дизеля 2Ч10,5/12).

Результати дослідження представлені на рис. 2.4.1 і 2.4.2, описані методом найменших квадратів [8].

Як видно на рис. 2.4.1, величина $G_{ТЧ}$ з потоком частково очищених ВГ дизеля 2Ч10,5/12 (величина $G_{ТЧ}$ з потоком неочищених ВГ не отримувалася, а прийнятий для порівняння за результатами попереднього етапу досліджень) за час випробувань монотонно зменшується на $40,7 \%$, асимптотично наближаючись до значення $3,2 \text{ г/год}$.

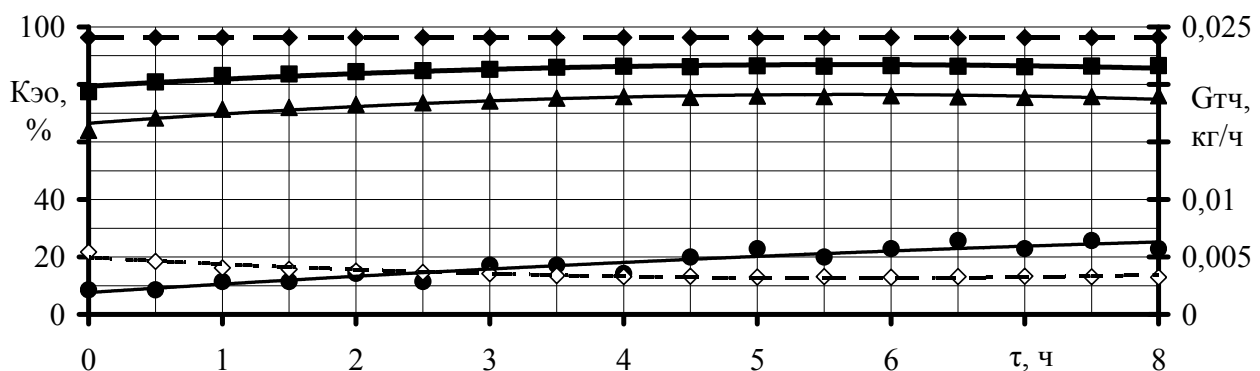


Рис. 2.4.1 – Залежності масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ і параметрів роботи ДМЦ ФЕ від часу роботи дизеля 2Ч10,5/12 на режимі з $M_{кр\max}$ [А.9] (мовою оригіналу):

■ – $K_{EO}(G_{ТЧ})$; ▲ – $K_{EO}(N_D)$; ● – $K_{EO}(C_{CH})$;
 ◆ – $G_{ТЧ_ДВЗ}$; ◇ – $G_{ТЧ_ФТЧ}$.

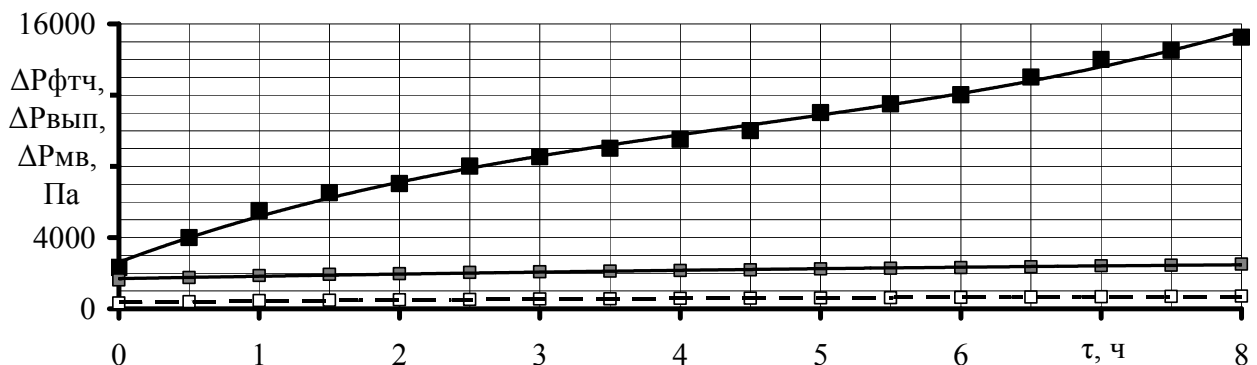


Рис. 2.4.2 – Залежності ГО ДМЦ ФЕ й інших елементів випускної системи МВС від часу роботи дизеля 2Ч10,5/12 на режимі з $M_{кр\max}$ [А.9] (мовою оригіналу): ■ – $\Delta P_{фтч}$; ■ – $\Delta P_{вип}$; □ – ΔP_{MT}

Це відбувається за рахунок аналогічної поведінки коефіцієнта послаблення світлового потоку у потоці ВГ N_D (показника димності ВГ) –

зменшується на 33,3 %, а також для C_{CH} – на 15,6 %.

Величина $K_{EO}(G_{TЧ})$ монотонно збільшується на 15,8 %, асимптотично наближаючись до значення 86,5 %.

Це пояснюється утворенням первинного шару адсорбованих ТЧ на поверхнях частинок насипки з ПЦ, сітчастих касет і опіскоструменного сталевго листового прокату.

Поряд з цим, скоріш за все, дається в знаки звуження проходів між частинками насипки і між дротом у комірках сталевго тканого сітки, що сприяє відфільтруванню великих конгломератів ТЧ і наближенню адсорбційних поверхонь до ліній току ВГ, за якими також рухаються і ТЧ.

На рис. 2.4.2 видно, що ГО експериментального зразка $\Delta P_{ФТЧ}$ нелінійно збільшується в функції величини τ_M . Вид цієї залежності – поліном 3-го ступеня, що має перегини в районі 2 год і 5 год.

Виходячи з принципу роботи розробленого ФТЧ можна припустити, що інтенсивне зростання ГО в діапазоні 0 ... 2 год відбувається за рахунок утворення первинного шару адсорбованих ТЧ на поверхнях гранул насипки, сітчастих касет та опіскоструменного сталевго листового прокату.

В діапазоні 2 – 5 год зростання ГО сповільнюється, наближаючись до лінійного закону, що відбувається з причини зростання вторинного шару адсорбованих ТЧ на первинному шарі.

У діапазоні 5 – 8 год зростання ГО інтенсифікується через звуження каналів для проходження аерозолі в наслідок накопичення ТЧ на поверхнях цих каналів.

При цьому величини ГО частини випускного тракту МВС, що знаходиться за МТ, $\Delta P_{вип}$ і ГО самого МТ ΔP_{MT} також збільшуються, однак в значно менших межах, що пояснюється впливом на ці величини тільки температури ВГ на вході в ФТЧ $t_{ФТЧвх}$, яка також нелінійно збільшувалася в ході експериментальних досліджень.

Величини перепаду температур на ФТЧ $\Delta t_{ФТЧ}$ і порожньому МТ Δt_{MB} мають подібних характер зміни в функції τ_M – нелінійно збільшуються, що відбувається внаслідок підвищення величини $\Delta P_{ФТЧ}$.

Також на основі результатів проведення IV етапу моторних досліджень можна оцінити в першому наближенні сажоємність досліджуваного ФЕ $M_{\Sigma S}$ і його міжрегенераційного періоду роботи τ_{regl} .

Первинна оцінка цих величин виконана і представлена в дослідженні [83].

Експериментально визначені значення часового коефіцієнта k_τ у функції величини τ_M описуються формулою (2.4.2) і представлені на рис. 2.4.3.

$$k_\tau(\tau_M) = 1,544 \cdot 10^{-2} \cdot \tau_M^3 - 0,208 \cdot \tau_M^2 + 1,394 \cdot \tau_M + 1,0; R^2 = 0,99546. \quad (2.4.2)$$

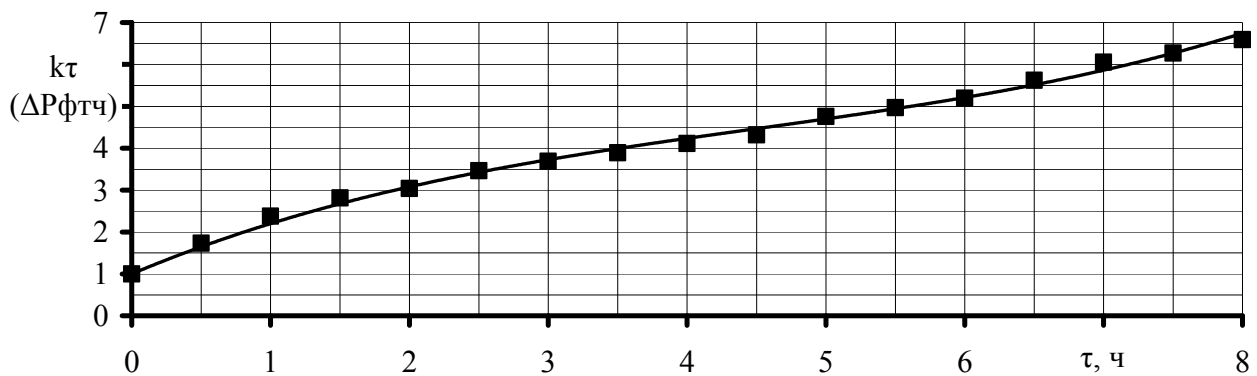


Рис. 2.4.3 – Залежність значень коефіцієнта k_{τ} від часу роботи τ_M дизеля 2Ч10,5/12 на режимі з $M_{крmax}$ [А.9] (мовою оригіналу)

У режимних і конструктивних факторів, вплив яких на робочі характеристики експериментально досліджувалось та використані для побудови математичної моделі ГО ФТЧ дизеля – це величини g_{mBG} , $t_{\Phi TЧexmax}$, $t_{\Phi TЧex}$ і τ_M , є прямі аналоги, зручні для сприйняття кінцевим користувачем (споживачем).

Так, величина g_{mBG} є функцією лише масової годинної витрати ВГ G_{mBG} , прохідного перетину модуля ФЕ на вході S_{ex} і кількості модулів у ФЕ z_M .

При $S_{ex} = const$ і $z_M = const$, тобто для конкретного конструктивного виконання ФТЧ, величина G_{mBG} змінюється по режимам роботи дизельного ПДВЗ, причому величина $M_{кр}$ на нього практично не чинить ніякого впливу, на відміну від величини $n_{кв}$.

Величина $t_{\Phi TЧexmax}$, яка спостерігається для ЗШХ (і для дизельного ПДВЗ взагалі) на режимі з $M_{крmax}$, залежить тільки від величини $L_{вип}$.

Величина $t_{\Phi TЧex}$ при $L_{вип} = const$ змінюється у функції масової годинної витрати палива $G_{пал}$ і, отже, середнього ефективного тиску P_e (або $M_{кр}$), а від величини $n_{кв}$ практично не залежить.

Зміна величини $t_{\Phi TЧex}$ по режимам ЗШХ також викликано тільки зміною по ним величини P_e .

Для характеристики холостого ходу (ХХХ) спостерігається аналогічний вплив величини G_T на величину $t_{\Phi TЧex}$.

Тому комплекс впливаючих на робочі характеристики режимних і конструктивних факторів g_{mBG} , $t_{\Phi TЧexmax}$, $t_{\Phi TЧex}$ і τ_M може бути замінений аналогічним комплексом інших факторів, зручних для сприйняття споживачем – $n_{кв}$, $M_{кр}$, S_{ex} , z_M , $L_{вип}$ і τ_M .

В ході проведення даного етапу стендових моторних випробувань ДМЦ ФЕ виявлено та описано вплив величини τ_M для дизеля 2Ч10,5/12 на режимі з $M_{крmax}$ на робочі характеристики експериментального зразка

ФТЧ, зокрема на його ГО і величину $K_{EO}(G_{TC})$.

Вплив на величину k_τ інших величин, що входять в формулу (2.4.1) – $G_{TC}(N_{ei})$, $K_{EO}(G_{TC})(N_{ei})$, WF_i – буде описано в наступних частинах даного дослідження.

По-суті, визначення фізичного сенсу і значень цього коефіцієнта є одним з найскладніших і комплексних завдань такого роду досліджень.

2.4.3. Висновки по розділу

У цій частині дослідження наведено і обґрунтовано фізичний сенс часового коефіцієнта математичної моделі гідравлічного опору ФТЧ дизельного ПДВЗ, що дозволяє врахувати залежність ГО ФТЧ від часу роботи дизельного ПДВЗ на стаціонарному режимі, тобто динаміку засмічення ФТЧ.

При цьому передбачається використання дискретної моделі експлуатації дизельного ПДВЗ – стандартизованого стаціонарного випробувального циклу.

Розділ 2.5. ОЦІНКА ВПЛИВУ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ФТЧ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДИЗЕЛЯ

2.5.1. Постановка проблеми

Екологічні показники поршневих двигунів внутрішнього згорання (ПДВЗ) взагалі, і дизелів зокрема, чинять значний вплив на показники екологічної безпеки (ЕБ) життєдіяльності людини у світі та нашій країні.

Це підтверджується тим, що у переліку основних задач, які комплексно вирішують спеціалісти у двигунобудівній галузі – поліпшення паливної економічності, екологічності, технологічності та надійності ПДВЗ, а також специфічні (форсування і дефорсування, конверсія, багатопаливність, застосування альтернативних видів палива та ін.) – лише показники екологічності законодавчо закріплено, а рівень інших показників ПДВЗ формується лише конкурентною боротьбою їх виробників [1, 22].

2.5.2. Аналіз публікацій

У країнах Європейської Спільноти для дизелів наразі діють норми Правил ЄЕК ООН № 49 (для легкових автотранспортних засобів (АТЗ)) і №96 (для тракторів і спеціальної техніки) [1, 22, 5, 16, 17] рівня EURO V. На території України діють норми рівня EURO III.

У цих документах містяться не лише граничні значення середньо-експлуатаційних значень масових годинних викидів нормованих шкідливих речовин (полютантів) з потоком відпрацьованих газів (ВГ) дизельних ПДВЗ, але і методики проведення стендових випробувань й аналізу отриманих результатів, перелік режимів, на яких ці випробування мають здійснюватись (13 – для Правил № 49 [16] і 8 – для Правил № 96 [17]), що разом утворюють випробувальний цикл, який є моделлю експлуатації даного типу АТЗ. Такі цикли є стаціонарними, тобто вони не враховують роботу дизеля на перехідних режимах.

Проте, на другому місці за значенням з показників роботи дизельних ПДВЗ, як і ПДВЗ будь-яких інших типів, є паливна економічність.

Будь-який пристрій системи зниження токсичності ВГ, що працює за рахунок їх фільтрації та/чи нейтралізації, є частиною випускної системи ПДВЗ і характеризується певним значенням гідравлічного опору (ГО).

Величина такого опору, по-перше, значна у порівнянні з ГО інших складових випускної системи [73], а по-друге, змінюється впродовж перебігу процесу експлуатації у широких межах, що спричинене накопиченням твердих частинок (ТЧ) у фільтрувальному елементі (ФЕ) фільтра твердих частинок (ФТЧ), як неодмінної складової систем зниження токсичності ВГ, та засмічення ними інших елементів такої системи.

Метою даного дослідження є розробка методики розрахункового оцінювання впливу ГО ФТЧ на показники паливної економічності дизельного ПДВЗ з використанням експериментальних даних, що базується на положеннях Теорії ДВЗ.

Об'єктом даного дослідження є паливна економічність ПДВЗ.

Предметом даного дослідження є вплив ГО елементів випускної системи ПДВЗ на показники об'єкта дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні.

1. Розробка математичної моделі та методики розрахункового оцінювання впливу ГО елементів випускної системи ПДВЗ на показники його паливної економічності.

2. Отримання набору вихідних даних для такого оцінювання.

3. Здійснення розрахункового оцінювання впливу ГО ФТЧ показники його паливної економічності автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та ФТЧ нової нетрадиційної конструкції.

4. Аналіз результатів оцінювання для всього міжрегенераційного періоду ФТЧ.

2.5.3. Отримання вихідних даних

У відділі поршневих енергоустановок (ПЕУ) Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України (ІПМаш НАНУ) розроблено ФЕ для ФТЧ дизельного ПДВЗ нової модульної нетрадиційної конструкції [63].

Лабораторія відділу ПЕУ містить моторний випробувальний стенд (МВС), описаний у роботі [64], зі встановленим на нього автотракторним двоциліндровим чотиритактним двоклапанним дизелем повітряного охолодження 2Ч10,5/12 (Д21А1) з нерозділеною камерою згоряння у поршні та одноплунжерним ПНВТ розподільного типу та всережимним механічним регулятором, з робочим об'ємом 2,0 дм³ та номінальною потужністю 21,3 кВт, виробництва Володимирського тракторного заводу [38].

Випускна система стенду обладнано конструктивними елементами для установки різних зразків ФТЧ (макетотримач (МТ)) та системою відбору проб ВГ на токсичність і димність.

При випробуваннях проводяться прямі та непрямі вимірювання режимних параметрів дизельного ПДВЗ (частота обертання колінчастого валу (к.в.) $n_{кв}$, крутного моменту $M_{кр}$, масових витрат повітря $G_{пов}$, палива $G_{пал}$ і ВГ $G_{ВГ}$, температури моторного мастила t_m і ВГ на виході з випускного колектора), параметрів повітря навколишнього природного середовища (НПС) (температура t_0 і барометричний тиск B_0), термодинамічних параметрів ВГ (температура на вході та виході з МВ $t_{вх}$ і $t_{вих}$ та перепади статичного тиску на МВ і всій випускній системі стенду $\Delta P_{МВ}$ і $\Delta P_{вип}$) а також об'ємні концентрації нормованих шкідливих речовин у ВГ (монооксиду вуглецю C_{CO} , %, незгорілих вуглеводнів палива і мастила C_{CH} , млн⁻¹, оксидів азоту C_{NOx} , млн⁻¹ –газоаналізатор п'ятикомпонентний АВТОТЕСТ-02.03.П) і димності ВГ (коефіцієнт ослаблення N_D , % чи коефіцієнт поглинання світлового потоку K_D , м⁻¹ – димомір ІНФРАКАР-Д).

МТ з діючим макетним зразком розробленого ФТЧ розміщувалась на раціональній відстані від випускного колектора за довжиною випускного тракту МВС $L_{вип} = 5$ м, що досягнуто за допомогою подовження тракту набором гнучких жаростійких газопроводів.

МТ розміщувався у вертикальному положенні задля досягнення ущільнення насипки з природного цеоліту (ПЦ) у сітчастих касетах ФЕ розробленого ФТЧ [63, 64].

Випускна система МВС містить модернізовану систему відбору проб ВГ на токсичність і димність, схему якої наведено на рис. 1.3.6 (див. розділ 1.3), а опис – у джерелах [63, 73].

Під час проведення моторних випробувань дизеля 2Ч10,5/12 з діючим макетним зразком ФТЧ у МТ зафіксовані зміни у вимірних значеннях масових годинних витрат палива, що перевищують нормативну точність їх вимірювання – 0,5 % [40, 41], що лише у 2 – 3 рази перевищує цю точність, тобто приймали значення 1,0 – 1,5 % для різних режимів роботи дизельного ПДВЗ.

Такого значення, вочевидь, недостатньо для достовірної оцінки впливу ГО ФТЧ на паливну економічність дизеля, оскільки неможливо їх відділити від можливої методологічної похибки проведення експерименту. Тому для оцінки такого впливу слід звернутися до положень наукової дисципліни «Теорія ДВЗ» [70].

Перелік режимів та параметрів дизеля, що їм відповідають, подано у табл. 1.4.3 (див. розділ 1.4).

Робота дизельного ПДВЗ на МВС на деяких режимах (з нульовою чи близькою до неї ефективною потужністю – режими №№ 2 і 12 у 13-режимному стаціонарному стандартизованому циклі) взагалі, та на всіх інших з достатньою точністю додержання режимних параметрів неможлива через відсутність електронного керування дизелем і стендом.

Також для цих режимів характерне потрапляння значень досліджуваних параметрів роботи дизельного ПДВЗ і ФТЧ у зони нижніх меж діапазонів вимірювання засобів вимірювальної техніки МВС, через що можливим стає вихід похибки прямих вимірювань цих величин за нормативно встановлені межі, вказані у стандартах [40, 41].

Тому випробування проводились шляхом зняття наступних характеристик:

- зовнішньої швидкісної (ЗШХ) (з максимальними навантаженням і паливоподачою у діапазоні $n_{ке} = 900 - 1800 \text{ хв}^{-1}$),
- навантажувальної за $n_{ке}$ режиму максимального крутного моменту (НХМ) (для дизеля 2Ч10,5/12 $n_{ке} = 1200 \text{ хв}^{-1}$),
- навантажувальної за $n_{ке}$ режиму номінальної потужності (НХН) (для дизеля 2Ч10,5/12 $n_{ке} = 1800 \text{ хв}^{-1}$);
- характеристики холостого ходу (ХХХ) (з нульовою ефективною потужністю у діапазоні $n_{ке} = 800 - 1800 \text{ хв}^{-1}$).

Отримані значення параметрів за цими характеристиками описано поліномами 2 – 4 ступеня методом найменших квадратів [65].

Параметри режимів у табл. 1.4.3 отримано з аналізу поліномів.

2.5.4. Математична модель впливу ГО агрегатів випускної системи ПДВЗ на його паливну економічність

Оцінку буде проведено за наступного припущення: наявність ФТЧ у складі випускної системи МВС чинить вплив на ефективні показники дизельного ПДВЗ лише за рахунок збільшення середнього протитиску ВГ на випуску $\Delta P_{ВГ}$ за незмінної ефективної потужності N_e .

Тобто, компенсація цього впливу відбувається за рахунок збільшення індикаторної потужності дизельного ПДВЗ N_i та, отже, масових часових витрат палива дизелем $G_{пал}$, що досягається шляхом зменшення механічного (для усіх режимів його роботи) ККД η_m , а з ним і ефективного (для режимів з ненульовою потужністю), ККД η_e дизельного ПДВЗ.

Впливом додаткового ГО на випуску на коефіцієнти залишкових газів γ і наповнення η_n та, отже, погіршенням процесів сумішоутворення і згоряння нехтуємо.

Середньоексплуатаційне значення питомих ефективних масових годинних витрат палива дизелем Д21А1 для 13-ти та 8-режимних стандартизованих стаціонарних випробувальних циклів [16, 17] розраховуються за наступною формулою, кг/(кВт·год):

$$\bar{g}_e = \frac{\bar{G}_{пал}}{\bar{N}_e} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{G}_{палі}}{\sum_{i=1}^n \bar{N}_{ei}} = \frac{\sum_{i=1}^n (WF_i \cdot G_{палі})}{\sum_{i=1}^n (WF_i \cdot N_{ei})}, \quad (2.5.1)$$

де $\bar{G}_{пал}$ і \bar{N}_e – середні за цикл випробувань масові годинні витрати палива і ефективна потужність дизеля, кг/год і кВт;

$$\bar{G}_{пал} = \sum_{i=1}^{n-m} WF_i \cdot g_{ei} \cdot N_{ei} + \sum_{i=n+1}^m WF_i \cdot G_{палі}; \quad (2.5.2)$$

де індексом i позначено величини, що визначені для певного режиму роботи дизельного ПДВЗ; WF_i – ваговий фактор окремого представницького режиму роботи дизельного ПДВЗ; g_{ei} – питомі ефективні масові годинні витрати палива дизельного ПДВЗ, кг/(кВт·год); N_{ei} – ефективна потужність дизельного ПДВЗ, кВт (див. формулу (1.2.6)); $G_{палі}$ – годинні масові витрати палива дизельного ПДВЗ, кг/год; n і m – кількість режимів з ненульовою N_e і режимів ХХ у випробувальному циклі.

На i -му режимі роботи дизельного ПДВЗ з ненульовою ефективною потужністю відносна величина зміни (у разі збільшення ГО випускного тракту – збільшення) годинних масових витрат палива дизельного ПДВЗ дорівнює відносній величині зміни питомих масових ефективних витрат палива і визначається за формулою, % (де індекси ДВЗ і ФТЧ – відносяться до випадків відсутності та наявності ФТЧ у випускній системі МВС):

$$G_{пали}^{rev} = \frac{\Delta G_{пали}}{G_{пали_ДВЗ}} = \frac{|G_{пали_ДВЗ} - G_{пали_ФТЧ}|}{G_{пали_ДВЗ}} \cdot 100 =$$

$$= \frac{|g_{ei_ДВЗ} - g_{ei_ФТЧ}|}{g_{ei_ДВЗ}} \cdot 100 = g_{ei}^{rev}, \quad (2.5.3)$$

$$g_{ei_ДВЗ} = \frac{G_{пали}}{N_{ei} \cdot 1000}, \quad (2.5.4)$$

$$g_{ei_ФТЧ} = \frac{3600}{Q_H \cdot \eta_{ei_ДВЗ} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{mi_ДВЗ} - \eta_{mi_ФТЧ}}{\eta_{ei_ДВЗ}}\right)}, \quad (2.5.5)$$

де Q_H – нижча теплота згоряння дизельного палива, $Q_H = 42,5$ МДж/кг [11]; η_{ei} і η_{mi} – відповідно ефективний і механічний ККД дизельного ПДВЗ;

$$\eta_{ei_ДВЗ} = \frac{3,6 \cdot N_{ei}}{Q_H \cdot G_{пали}}, \quad (2.5.6)$$

$$\eta_{mi_ДВЗ} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_{mpi_ДВЗ}}{P_{ei_ДВЗ}}}, \quad (2.5.7)$$

$$\eta_{mi_ФТЧ} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_{mpi_ФТЧ}}{P_{ei_ФТЧ}}}, \quad (2.5.8)$$

де P_{mpi} і P_{ei} – відповідно середній тиск механічних втрат і середній ефективний тиск дизеля, Па.

Виходячи з викладеного вище припущення, маємо $P_{ei_ДВЗ} = P_{ei_ФТЧ}$.

$$P_{ei} = \frac{N_{ei} \cdot \tau_{\delta} \cdot 30 \cdot 10^3}{z \cdot V_h \cdot n} = \frac{M_{кри} \cdot \tau_{\delta} \cdot 3 \cdot 10^4}{9550 \cdot z \cdot V_h}, \quad (2.5.9)$$

де z і τ_{δ} – відповідно кількість циліндрів і тактність дизеля ($\tau_{\delta} = 2$ чи 4); V_h – робочий об'єм циліндра дизеля, м³.

Для дизеля 2Ч10,5/12 $z = 2$ шт., $V_h = 2,076 \cdot 10^{-3}$ м³, $\tau = 4$ такти/цикл.

$$P_{mpi_ДВЗ} = \left(a + b \cdot \frac{n_{kvi}}{n_{кеб}} \right) + (\Delta P_{вип.суст.i} + \Delta P_{вп.суст.i} + \Delta P_{вип.кл.i} + \Delta P_{вп.кл.i}), \quad (2.5.10)$$

$$P_{mpi_ФТЧ} = P_{mpi_ФТЧ} + \Delta P_{ФТЧi}, \quad (2.5.11)$$

де a , b і $n_{квб}$ – відповідно коефіцієнти механічних втрат і базова частота обертання к.в. дизеля, Па, Па і $хв^{-1}$; $\Delta P_{вп.суст.i}$, $\Delta P_{вип.суст.i}$, $\Delta P_{вп.кл.i}$, $\Delta P_{вип.кл.i}$ і $\Delta P_{ФТЧ.i}$ – відповідно ГО впускної і випускної системи, впускних і випускних клапанів та ФТЧ, Па.

Для дизеля 2Ч10,5/12 $a = 0,4 \cdot 10^5$ Па, $b = 1,3 \cdot 10^5$ Па, $n_{квб} = 2000$ $хв^{-1}$ згідно до рекомендацій, наведених у джерелі [84].

Дизель 2Ч10,5/12 характеризується відношенням площ випускного і впускного клапанів, рівним 0,75, відношенням площ впускного клапану і поршня, рівним 0,176, и максимальною середньою швидкістю поршня, рівною 7,2 м/с (на номінальному режимі роботи) [38].

Тому для нього: $\Delta P_{вп.кл.i} = \Delta P_{вип.кл.i} = 0,2 \cdot 10^5$ Па, $\Delta P_{вп.суст.i} = 2 \cdot 10^3$ Па, $\Delta P_{вип.суст.i} = 3,5 \cdot 10^3$ Па [84], а також за експериментальними даними максимальне значення $\Delta P_{ФТЧ.i}$ становить $5 \cdot 10^3$ Па [63, 64].

Припускаємо, що усі ці складові ГО впускної та випускної систем дизельного ПДВЗ, що разом формують насосні втрати, мають однаковий характер залежності від режимних параметрів дизеля, подібний до характеру залежності $\Delta P_{ФТЧ.i} = f(n_{квб})$.

Як виявлено у ході експериментального визначення робочих характеристик діючого макетного зразка ФТЧ на МВС, тобто у реальних умовах експлуатації, його ГО $\Delta P_{ФТЧ.i}$ є функцією потоку ВГ (питомих масових годинних витрат, віднесених до площі на вході у модуль ФЕ) $g_{мВГ}$, що виражається наступною залежністю [13], Па:

$$\begin{aligned} \Delta P_{ФТЧ} &= (g_{мВГ}, z_m, S_{вх}) \cdot k_0 \cdot k_L(L_{вип}) \cdot k_t(t_{ФТЧвх}) \cdot k_\tau(\tau, N_{ei}, WF_i) = \\ &= \Delta P_{ФТЧ}(n_{квб}, z_m, S_{вх}) \cdot k_0 \cdot k_L(L_{вип}) \cdot k_t(M_{кр}) \cdot k_\tau(\tau_{Mmax}, N_{ei}, WF_i). \end{aligned} \quad (2.5.12)$$

де z_m – кількість модулів у ФЕ, шт.; $S_{вх}$ – площа вхідного отвору модуля ФЕ, $м^2$; k_0 , k_L , k_t , k_τ – відповідно настрою вальний, компонувальний, температурний і часовий коефіцієнти; τ_{Mmax} – час роботи дизеля на режимі максимального крутного моменту, год.

Для $z_m = 1$, $S_{вх} = 55$ $мм^2$, $B_0 = 95$ кПа, $t_{ВГ} = 15 \pm 2$ °С, $g_m = 10 \dots 110$ $кг/(с \cdot м^2)$ [13]:

$$\Delta P_{ФТЧ} = 0,122 \cdot g_{мВГ}^3 - 1,964 \cdot g_{мВГ}^2 + 173,7 \cdot g_{мВГ}. \quad (2.5.13)$$

Для режимів ЗШХ значення коефіцієнтів k_0 , k_L і k_τ , вочевидь, є незмінним.

Зміною крутного моменту $M_{кр}$ з режимами за ЗШХ і, відповідно, значень коефіцієнта k_t , нехтуємо.

Тоді величини $\Delta P_{вп.суст.i}$, $\Delta P_{вип.суст.i}$, $\Delta P_{вп.кл.i}$ будуть пропорційними величині $\Delta P_{ФТЧ.i}$ з коефіцієнтами пропорційності відповідно $k_{вп.суст.i} = 0,4$, $k_{вип.суст.i} = 0,7$ и $k_{вп.кл.i} = 4,0$ і формули (2.5.10) та (2.5.11) набувають виду формул (2.5.14) і (2.5.15).

$$P_{\text{мпі_ДВЗ}} = \left(a + b \cdot \frac{n_{\text{кві}}}{n_{\text{квб}}} \right) + (k_{\text{вп.суст.і}} + k_{\text{вип.суст.і}} + 2 \cdot k_{\text{вп.кл.і}}) \cdot \Delta P_{\text{ФТЧ}}(g_{\text{мВГ}}) =$$

$$= \left(a + b \cdot \frac{n_{\text{кві}}}{n_{\text{квб}}} \right) + 9,1 \cdot \Delta P_{\text{ФТЧ}}(g_{\text{мВГ}}); \quad (2.5.14)$$

$$P_{\text{мпі_ФТЧ}} = \Delta P_{\text{мпі_ФТЧ}} + \Delta P_{\text{ФТЧі}}(g_{\text{мВГ}}) =$$

$$\left(a + b \cdot \frac{n_{\text{кві}}}{n_{\text{квб}}} \right) + 10,1 \cdot \Delta P_{\text{ФТЧ}}(g_{\text{мВГ}}). \quad (2.5.15)$$

Для режимів ХХХ, на яких ефективні потужність N_e і ККД η_e дизельного ПДВЗ рівні нулю, питомі масові ефективні витрати палива дизелем g_e прагне до безкінечності, а індикаторна потужність N_i дорівнює потужності механічних втрат $N_{\text{мв}}$, відносна величина зміни часових масових витрат палива дорівнює відносній величині зміни потужності механічних втрат, тобто визначається за формулою, %:

$$G_{\text{пали}}^{\text{rev}} = \frac{\Delta G_{\text{пали}}}{G_{\text{пали_ДВЗ}}} = \frac{|G_{\text{пали_ДВЗ}} - G_{\text{пали_ФТЧ}}|}{G_{\text{пали_ДВЗ}}} \cdot 100 =$$

$$= \frac{|N_{\text{мві_ДВЗ}} - N_{\text{мві_ФТЧ}}|}{N_{\text{мві_ДВЗ}}} \cdot 100 = N_{\text{мві}}^{\text{rev}}, \quad (2.5.16)$$

де $N_{\text{мві}}$ – потужність механічних втрат дизельного ПДВЗ, кВт:

$$N_{\text{мві}} = \frac{P_{\text{мві}} \cdot z \cdot V_h \cdot n_{\text{кві}}}{\tau \cdot 60 \cdot 10^3}. \quad (2.5.17)$$

де $P_{\text{мпі}}$ – середній тиск механічних втрат, МПа.

Тоді формула (2.5.16) приймає вид:

$$G_{\text{пали}}^{\text{rev}} = N_{\text{мві}}^{\text{rev}} = \frac{|P_{\text{мпі_ДВЗ}} - P_{\text{мпі_ФТЧ}}|}{P_{\text{мпі_ДВЗ}}} \cdot 100 = P_{\text{мпі}}^{\text{rev}}. \quad (2.5.18)$$

2.5.5. Результати застосування розробленої математичної моделі для випадку ФТЧ і автотракторного дизеля

Результати здійсненого розрахункового оцінювання наведено на графіках розподілу годинних масових витрат палива дизелем 2Ч10,5/12 зі встановленим у його випускній системі діючим макетом ФТЧ та без нього по режимах 13-ти та 8-ми режимних стандартизованих стаціонарних випробувальних циклів, які наведено на рис. 2.5.2 та 2.5.3.

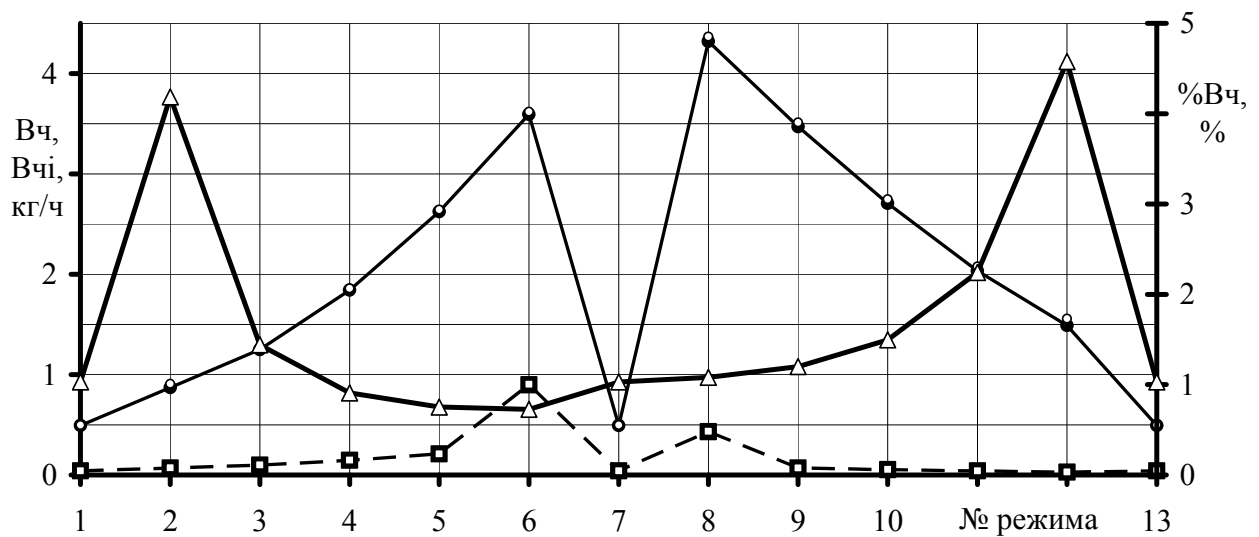


Рис. 2.5.2 – Годинні масові витрати палива дизелем 2Ч10,5/12 при випробуваннях за 13-ти режимним стандартизованим стаціонарним випробувальним циклом [А.2] (мовою оригіналу)

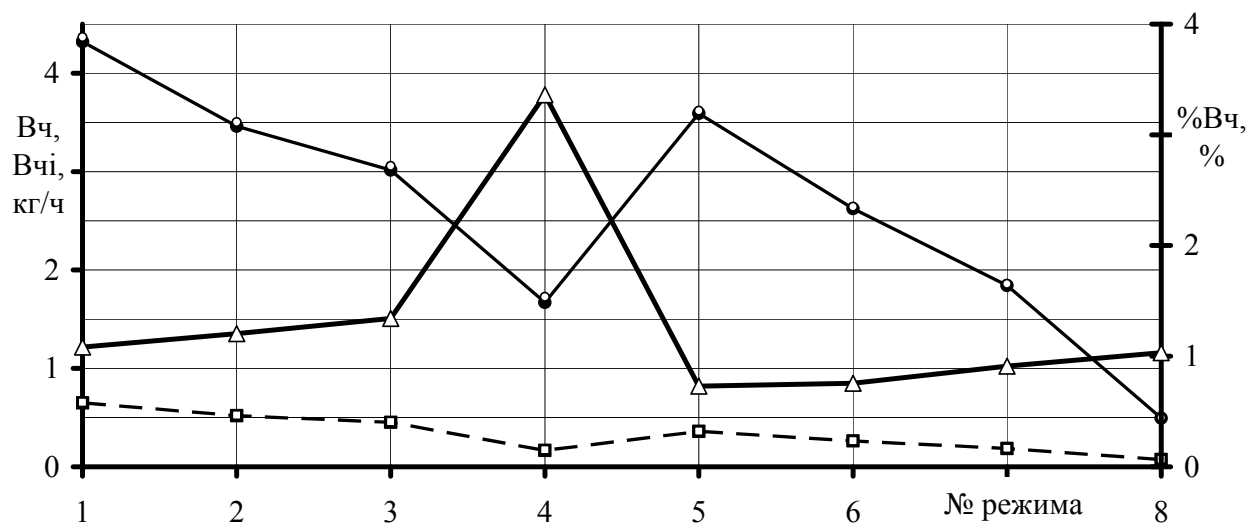


Рис. 2.5.3 – Годинні масові витрати палива дизелем 2Ч10,5/12 при випробуваннях за 8-ми режимним стандартизованим стаціонарним випробувальним циклом [А.2] (мовою оригіналу)

На рис. 2.5.2 та 2.5.3 застосовано наступні позначення:
 Δ – $\% B_{ch}$. Без ФТЧ: ■ – B_{ch} ; ● – B_{chj} . З ФТЧ: □ – B_{ch} ; ○ – B_{chj}

2.5.6. Аналіз результатів розрахункового оцінювання

Як впливає з результатів розрахунків, автотракторний дизель 2Ч10,5/12, встановлений на описаний вище МВС з модернізованою випускною системою, характеризується середньоексплуатаційними значеннями питомих ефективних масових годинних витрат палива, які визначено для 13-ти режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу, що дорівнюють 291,1 г/(кВт·год).

Встановлення у його випускній системі діючого макетного зразка досліджуваного ФТЧ, який ще не заповнено ТЧ (тобто на початку міжрегенераційного періоду), призводить до збільшення цього показника до 294,3 г/(кВт·год), тобто на 1,09 %.

Для 8-ми режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу цей показник підвищується з 277,6 до 280,9 г/(кВт·год), тобто на 1,20 %.

Ці значення знаходяться у межах 1,5 – 2,0 величин похибки одноразового непрямого вимірювання цього параметра на МВС.

У випадку наявності у випускній системі дизеля ФТЧ, який вже повністю заповнено ТЧ (тобто наприкінці міжрегенераційного періоду, безпосередньо перед початком процесу регенерації I роду), можна очікувати, що гідравлічний опір ФТЧ відповідатиме значенню, який відповідає рекомендованому значенню протитиску ВГ у випускній системі для сучасних транспортних дизелів – 25 кПа, та такого, що містить у зв'язку з цим 20 – 25 г ТЧ на 1 дм³ об'єму ФЭ.

При цьому середньоексплуатаційні масові питомі ефективні витрати палива дизелем зростають з 291,1 до 302,8 г/(кВт·год), тобто на 4,02 %, для 13-режимного циклу та з 277,6 до 289,7 г/(кВт·год), тобто на 4,35 %, для 8-режимного.

Значення цього параметру для всього міжрегенераційного періоду часу роботи дизеля можна прийняти як середнє між двома вищеописаними випадками, якщо прийняти припущення про рівномірність зростання ГО ФТЧ впродовж міжрегенераційного періоду, тобто на 2,56 – 2,78 % (з 277 – 282 до 285 – 299 г/(кВт·год)).

Дані, що отримані експериментально та достовірність чисельних значень яких викликала обґрунтовані сумніви, підтверджено теоретичними розрахунками за розробленими математичною моделлю та методикою розрахункового оцінювання за нею.

Припущення, які використано у методиці, як видно з порівняння цих даних, чинять практично несуттєвий вплив на результати розрахункового оцінювання.

2.5.7. Висновки по розділу

Таким чином у даному дослідженні розроблено математичну модель та методику розрахункового оцінювання впливу гідравлічного опору елементів випускної системи ПДВЗ на показники його паливної економічності.

Описано особливості отримання набору вихідних даних для такого оцінювання.

Здійснено розрахункове оцінювання впливу впливу гідравлічного опору елементів випускної системи ПДВЗ на показники його паливної економічності на прикладі автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та ФТЧ нової нетрадиційної конструкції.

Виявлено, що наявність у випускній системі дизельного ПДВЗ ФТЧ на початку його міжрегенераційного періоду, гідравлічний опір якого не перевищує 4 кПа, призводить до підвищення середньоексплуатаційного значення питомих ефективних масових годинних витрат палива, які визначено для 13-ти режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу, на 1,09 %. Для випадку 8-ти режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу таке підвищення складає на 1,2 %.

Наприкінці міжрегенераційного періоду ФТЧ його гідравлічний опір не має перевищувати 25 кПа, що зумовлює збільшення вищевказаного ефекту до 4,02 та 4,35 % відповідно.

Глава 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ СКЛАДОВИХ КРИТЕРІЮ

Розділ 3.1. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ФІЛЬТРА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЯ

3.1.1. Постановка проблеми

Як відомо, на території України введено у дію норми токсичності автотранспортних засобів (АТЗ) і спеціальної техніки (СТ) з дизельними двигунами внутрішнього згоряння стандартів Правил ЄЕК ООН №№ 49 і 96 рівня EURO III. На території Російської Федерації наразі діють норми тих самих стандартів рівня EURO IV, а на території Європейської спілки – рівня EURO V [5, 8, 16, 17, 36, 68, 70, 85]. Для задоволення сучасними АТЗ і СТ цих норм широко і комплексно застосовують заходи впливу на робочий процес двигуна (процеси сумішоутворення і згоряння) та на їх відпрацьовані гази (ВГ) (нейтралізацію чи очищення за допомогою спеціальних систем) [5, 68, 70, 85]. До нормованих шкідливих речовин (полутантів) у ВГ відносять: незгорілі вуглеводні моторного палива і оливи C_nH_m (серед яких є канцерогенні й мутагенні поліциклічні ароматичні вуглеводні, у тому числі й бенз(α)пірен), монооксид вуглецю CO (угарний газ), оксиди азоту NO_x (утворюють кислоти і нітропохідні C_nH_m), тверді частинки ТЧ (C_nH_m , адсорбовані на поверхнях ядер з сажі – пористого аморфного вуглецю). При цьому до 95 % приведеної токсичності ВГ приходить на NO_x і ТЧ, з яких у залежності від режиму роботи дизеля 20 – 45 % приходить на ТЧ [5, 8, 36, 68, 70, 85]. Для нейтралізації ТЧ у ВГ (видалення з потоку, накопичення у фільтруючому елементі (ФЕ) і перетворення їх на безпечні речовини безпосередньо у ФЕ чи поза бортом АТЗ і СТ) у системах очищення ВГ дизелів застосовують фільтри твердих частинок (ФТЧ). Найчастіше їх ФЕ розміщується у жароміцному і теплоізолюваному корпусі і має вид цільнокерамічного чи сегментованого твердого пористого тіла із стільниковою системою каналів, заглушених у шаховому порядку і газопроникними стінками з каталітичним покриттям з вмістом металів платинової групи. Таким ФТЧ притаманний ряд недоліків, що пов'язані з їх низькими показниками технологічності та собівартості виробництва, експлуатаційної надійності, гідравлічного опору (далі – опору), а також масогабаритних [5, 68, 70, 85]. У зв'язку з вищенаведеним слід відмітити, що НДР, які направлені на створення принципово нових і вдосконалення відомих конструкцій ФТЧ, є актуальними та економічно обґрунтованими.

Зв'язок робочих характеристик ФТЧ з режимними, регульовальними, конструктивними параметрами дизеля та експлуатаційними факторами, описаний математичною мовою, є основою НДР з побудови типоряду таких об'єктів для їх запровадження у серійне виробництво на вітчизняних машинобудівних підприємствах та експлуатацію автотранспортними під-

приємствами і приватними автовласниками задля забезпечення екологічної безпеки експлуатації АТЗ і СТ. Досліджуваний ФТЧ має ФЕ нової конструкції, тому таке дослідження містить ознаки наукової новизни та є актуальним. Особливо гостро ця потреба стоїть для АТЗ і СТ, що працюють в умовах обмеженого повітрообміну (маневрові тепловози, складські, шахтні і будівельні машини, АТЗ і СТ Державної служби з надзвичайних ситуацій України (ДСНСУ)), у місцях скупчення людей (міський транспорт, кур'єрська служба, таксі) та у зонах населених пунктів і територій, де діють спеціально встановлені норми токсичності АТЗ і СТ, що жорсткіші за діючі поза зонами (історичні центри міст, парки культури і відпочинку, заклади охорони здоров'я, природоохоронні і рекреаційні зони, сільськогосподарські угіддя, акваторії курортних міст), а також приймає участь в урочистостях (військова техніка) [5, 8, 36, 68, 70, 85].

3.1.2. Аналіз літературних джерел

У відділі поршневих енергоустановок (ПЕУ) Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України (ІПМаш НАНУ) розроблено ФТЧФЕ, що складається з рознімно сполучених ФЕ і корпусу. Його ФЕ містить певну кількість рознімно паралельно сполучених однакових симетричних модулів квадратного перетину, кожен з яких складається з рознімно сполучених деталей двох типів (кожух – 2 од., сітчаста касета з насипкою з природного цеоліту – 4 од.). Деталі виготовлено з недорогих і недефіцитних матеріалів вітчизняного виробництва (сталевий нержавіючий листовий прокат, сталева нержавіюча тканина сітка, насипний цеоліт) і не містить каталітичних покриттів [8, 36].

Виконано фізичне моделювання процесу руху текучого середовища (ТС) у різних варіантах конструкції прозорого макету модуля на безмоторній дослідницькій установці (далі – установці) [8]. Однак, її технічні можливості не дозволяють досліджувати процес руху аерозолів у модулі (через відсутність генератора дисперсної фази аерозолію), а також процеси адсорбції, адгезії і конденсації C_nH_m на сажових ядрах ТЧ, та коагуляції самих ТЧ (через високу складність таких досліджень). Тому результати фізичного моделювання, на відміну від моделі опору ФТЧ [8], не враховуються у розробленій математичній моделі ефективності роботи розробленого ФТЧ.

Те саме стосується виконаного математичного моделювання процесу руху аерозолію «ВГ дизеля – ТЧ» у модулі [8] у середовищі ліцензійної учбової версії програмного комплексу COSMOS FloWorks, що входить до Solid Works 2008, обчислювального центру «Тензор» НТУ «ХПІ». Процеси формування ТЧ у робочому процесі дизеля та у потоці ВГ і процеси очищення цього потоку при цьому також не досліджувались через принципові особливості розрахункової моделі модуля і самого програмного комплексу.

Однак, за результатами фізичного і математичного моделювання процесу руху потоку ТС у модулі розроблено експериментальні ФЕ зраз-

ки для дослідження їх робочих якостей у реальних умовах експлуатації. Таких зразків – діючих макетів ФЕ – було розроблено два типи, що принципово відрізнялись одне від одного, у першу чергу, відсутністю (у Тип № 1) чи наявністю (у Тип № 2) насипки з цеоліту у сітчастих касетах. Також їх конструкція відрізнялась кількістю модулів у зразку z_m : 4 од. у Тип № 1 і 20 од. у Тип № 2, що зумовлено суттєвим значенням опору насипки (визначено експериментально на установці і підтверджено розрахунково) [7, 8]. Також зразки оснащено ущільнюючими шторками і для них розроблено місце встановлення на моторний випробувальний стенд лабораторії відділу ПЕУ ІПМаш НАНУ (далі – стенд), що імітує корпус ФТЧ, що є рознімним і герметичним, має місця для підключення засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для контролю і вимірювання параметрів потоку аерозолу «ВГ дизеля – ТЧ» і фланці для підключення до генератора аерозолу (дизеля) у будь-якому положенні [8, 36]. Для виявлення особливостей функціонування розробленого ФТЧ в умовах випускної системи дизеля (тобто у реальних умовах експлуатації) проведено відповідне експериментальне дослідження експериментальних зразків ФЕ на стенді [8, 36], що складається з наступних складових:

- дизель 2С110,5/12 (Д21А1) (див. рис. 1.3.3 – 1.3.5);
- навантажувальна машина (мотор-генератор постійного струму) фірми VSETIN з динамометром та реостатною шафою і системи керування (див. рис. 1.3.1);
- модернізована випускна система, до складу якої входять: системи відбору проб ВГ на токсичність і вимірювання газодинамічних показників потоку ВГ, місце встановлення експериментальних зразків ФТЧ;
- приладів, датчиків і комунікацій ЗВТ;
- трансмісії стенду і фундаментної рами.

Згідно до розробленої програми, моторні випробування склалися з чотирьох етапів, кожен з яких проведено з метою виявлення фізичного змісту і значень відповідних коефіцієнтів у математичній моделі опору досліджуваного ФТЧ [8, 36]. Зовнішній вид зразка ФЕ Тип № 2 до і після випробувань наведено на рис. 3.1.1.

Метою даного дослідження є описання математичною мовою виявлених експериментально аспектів впливу найважливіших експлуатаційних факторів на ефективність очищення ВГ дизеля 2С110,5/12 від ТЧ ФТЧ нової нетрадиційної конструкції.

Об'єктом даного дослідження є ефективність очищення потоку ВГ від ТЧ розробленим ФТЧ нетрадиційної конструкції в реальних умовах експлуатації.

Предметом даного дослідження є вплив режимних і конструктивних особливостей автотракторного дизельного ПДВЗ на показники, що характеризують об'єкт дослідження.

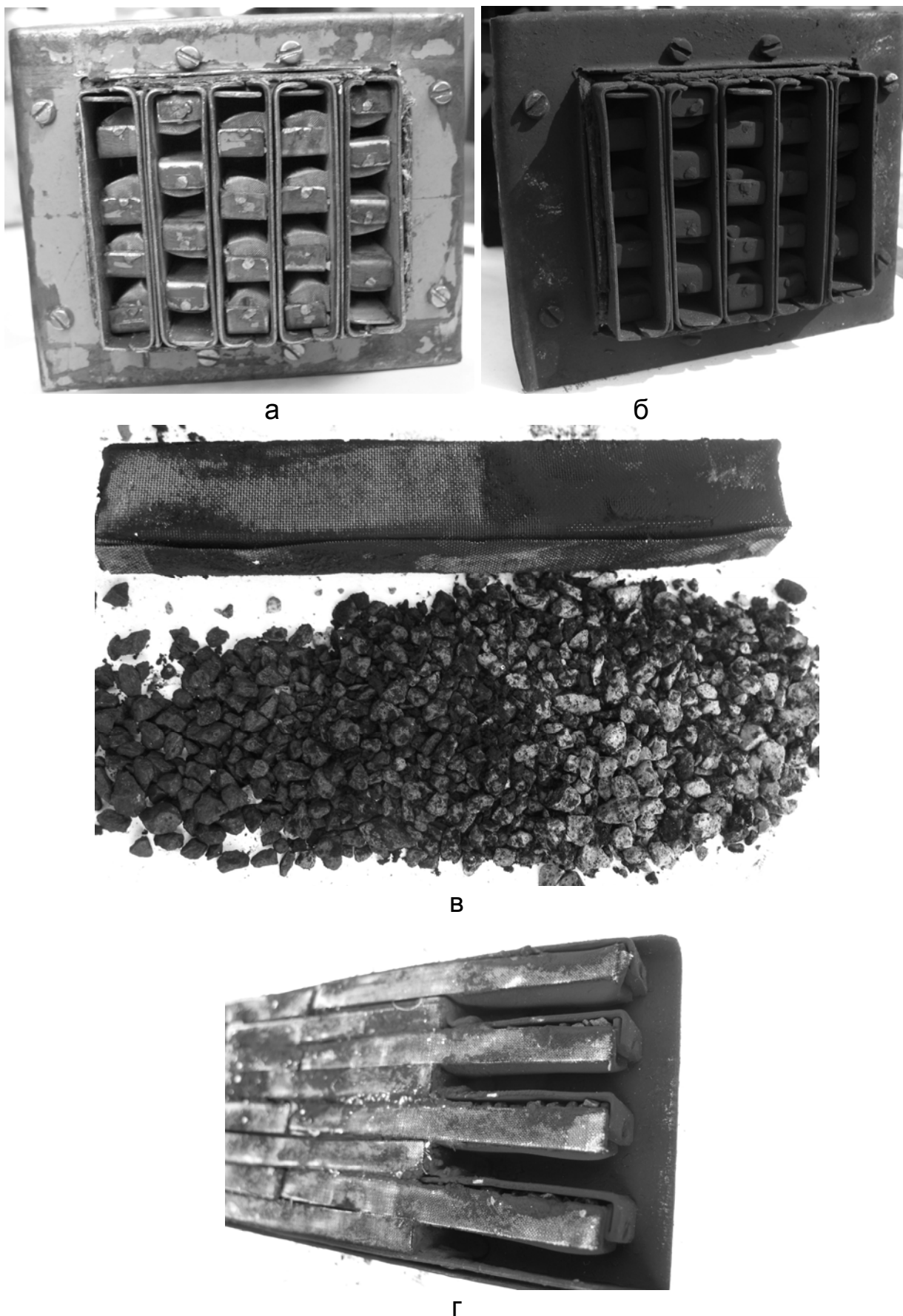


Рис. 3.1.1 – Діючий макетний зразок ФЕ Тип № 2 ФТЧ до (а) і після (б) випробувань, стан сітчастих касет і насипки з природного цеоліту (в) та препарований ФЕ [36]

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Зв'язок показників гідравлічного опору досліджуваного ФТЧ, як однієї з його найважливіших робочих характеристик, з режимними, регульовальними, конструктивними та експлуатаційними факторами дизеля Д21А1, встановлено, описано математичною мовою і наведено у дослідженні [8].

Проте, матеріали дослідження [8] містять достатньо інформації для аналогічного описання такого зв'язку для показників ефективності роботи досліджуваного ФТЧ.

Задачами даного дослідження є врахування у математичній моделі впливу на ефективність роботи досліджуваного ФТЧ наступних факторів.

1. Кількість насипки у сітчастих касетах у долях об'єму касети (дискретно 0 чи 100 %, без брикетування) як конструктивна особливість модуля ФЕ.

2. Площа вхідного отвору S_{ex} модуля ФЕ як особливість геометрії.

3. Кількість модулів у повнорозмірному ФЕ z_M як показник робочого об'єму циліндрів дизеля.

4. Комплексу показників, що характеризує стаціонарний режим роботи дизеля 2Ч10,5/12 – частота обертання колінчастого валу $n_{кв}$ (або потік ВГ $g_{mВГ}$) та крутний момент $M_{кр}$ (чи середній ефективний тиск P_e або температура ВГ на вході у ФТЧ $t_{ФТЧex}$).

5. Довжина випускного тракту між випускним колектором дизеля і корпусом ФТЧ $L_{вип}$ (або максимально можлива температура ВГ $t_{ФТЧexmax}$ на вході у ФТЧ) як особливість компоновки ФТЧ на АТЗ і СТ.

6. Комплексу показників, що характеризують динаміку засмічення ФЕ – час роботи дизеля Д21А1 на стаціонарному режимі з максимальним крутним моментом $M_{крmax}$ t_M , ефективна потужність дизеля на i -ому режимі N_{ei} і вагової фактор цього режиму WF_i у стаціонарному випробувальному циклі, що описаний у стандартах [16, 17] і є моделлю експлуатації такого типу дизеля [8, 36].

У даній частині дослідження відображено підходи до вирішення 1 – 3 і, частково, 4 задач.

3.1.3. Математична модель ефективності роботи ФТЧ

Математична модель ефективності роботи розробленого ФТЧ у реальних умовах експлуатації принципово аналогічна моделі опору досліджуваного ФТЧ, описаній у [8]. При побудові останньої припускається, що вид витратної характеристики макету модуля, що експериментально отримана на установці за постійної температури ТС (повітря), для стенду – ВГ дизеля), зберігається для обох типів експериментальних зразків ФЕ на стенді (їх модулі принципово повторюють найкращі варіанти конструкції зразка модуля для установки, що дозволяє забезпечити виконання п. 1 задач дослідження) в умовах випускної системи дизеля (у реальних умовах експлуатації) за постійної температури ТС (ВГ дизеля).

Встановлення зв'язку між витратними характеристиками експериментальних зразків для установки і стенду (що дозволяє виконати п. 4 –

б задач дослідження), здійснюється шляхом побудови цих характеристик у функції потоку відповідного ТС g_m (що дозволяє виконати п. 2 і 3 задач) і введення наборів рядів коефіцієнтів, що враховують різноманітні експлуатаційні фактори (див. формули (2.1.1) – (2.1.3)). Тобто модель пов'язує опір ФТЧ ІПМаш або з набором факторів $\{g_{mBG}, S_{ex}, z_M, t_{ФТЧex}, t_{ФТЧexmax}, T_M, N_{ei}, WF_i\}$, або $\{n_{кв}, S_{ex}, z_M, M_{кр}, L_{вип}, T_M, N_{ei}, WF_i\}$ [8].

3.1.4. Вихідні дані для побудови математичної моделі

Результати першого етапу моторних досліджень – порівняльного для обох типів експериментальних зразків ФЕ, при якому вони встановлювались у корпус у вертикальному положенні (для ущільнення небрикєтованої насипки у сітчастих касетах під власною вагою) безпосередньо за випускним колектором дизеля ($L_{вип} = 0$ м) – подано на рис. 3.1.2. Це залежності коефіцієнту послаблення світлового потоку N_D у % (показник димності ВГ), об'ємної концентрації $C_n H_m$ у ВГ C_{CH} у $млн^{-1}$, температури ВГ на вході $t_{ФТЧex}$ і виході з $t_{ФТЧвих}$ ФТЧ у $^{\circ}C$ та перепаду температури ВГ на ФТЧ $\Delta t_{ФТЧ}$ у $^{\circ}C$ при роботі дизеля Д21А1 на режимах зовнішньої швидкісної характеристики (ЗШХ) (тобто у функції $n_{кв}$).

На рис. 3.1.2 застосовано наступні позначення:

а: ■, ● – без зразків; □, ○ – зразок Тип № 1; □, ○ – зразок Тип № 2;

■, □, □ – N_D ; ●, ○, ○ – C_{CH} .

б: ■ – без зразків; □ – зразок Тип № 1; □ – зразок Тип № 2.

в: ■, □, □ – зразок Тип № 1; ◆, ◇, ◇ – зразок Тип № 2;

◆, ■ – $K_{EO}(G_{ТЧ})$; □, ◇ – $K_{EO}(C_{CH})$; □, ◇ – $K_{EO}(N_D)$.

г: ◆ – без зразків; □, □, ▲ – зразок Тип № 1; ◇, ◇, Δ – зразок Тип №2;

◆ – t_{BG} ; □, ◇ – $t_{ФТЧex}$; □, ◇ – $t_{ФТЧвих}$; ▲, Δ – $\Delta t_{ФТЧ}$

ЗШХ обрано для порівняльного дослідження зразків ФЕ через наступні її особливості [36].

а) За нею значення $n_{кв}$, а отже і g_{mBG} , функцією якого є опір зразків, змінюється у найбільш широких межах.

б) Вона містить параметри роботи дизеля, характерні для режиму з $M_{крmax}$. На ньому спостерігається глобальний мінімум коефіцієнта надлишку повітря α у полі робочих режимів дизеля (так звана "межа димління" при $\alpha = 1,3$) і, як наслідок, глобальний максимум N_D , а значить і масових викидів ТЧ $G_{ТЧ}$ (див. формулу (3.1.4)).

Також на цьому режимі спостерігається глобальний максимум $t_{ФТЧex}$. Не менш важливим є те, що на цьому режимі для автотракторного дизеля за відсутності електронної системи автоматичного керування узгоджуються (шляхом оптимізації та настроювання) решта параметрів його роботи задля досягнення глобального мінімуму питомих ефективних масових витрат палива g_e .

в) Вона містить параметри роботи дизеля, характерні для номінального режиму роботи дизеля (з N_{enom}). На ньому спостерігається глобальний максимум годинних масових витрат повітря $G_{пов}$ палива $G_{пал}$ і, відповідно, відпрацьованих газів G_{BG} .

г) За нею у функції $M_{кр}$ змінюється $t_{ФТЧех}$ в межах, достатніх для прогнозування залежності від неї робочих характеристик експериментальних зразків ФТЧ.

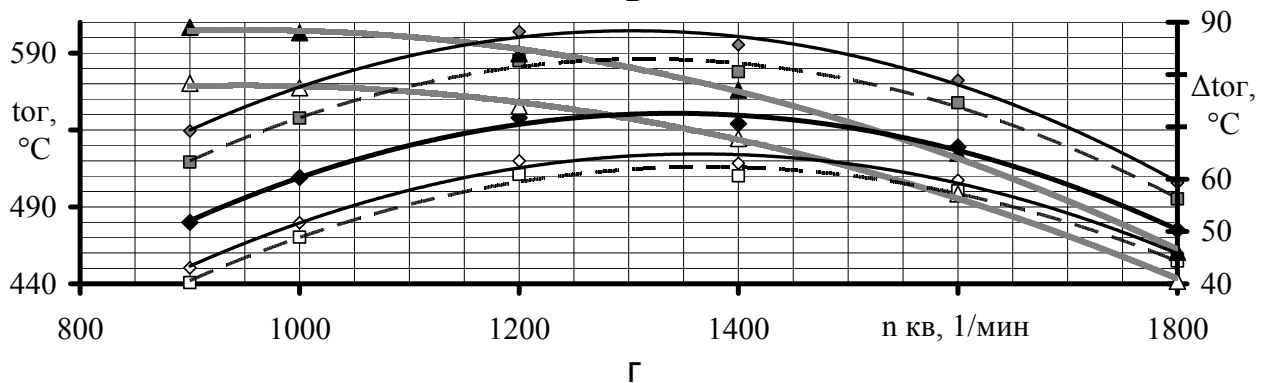
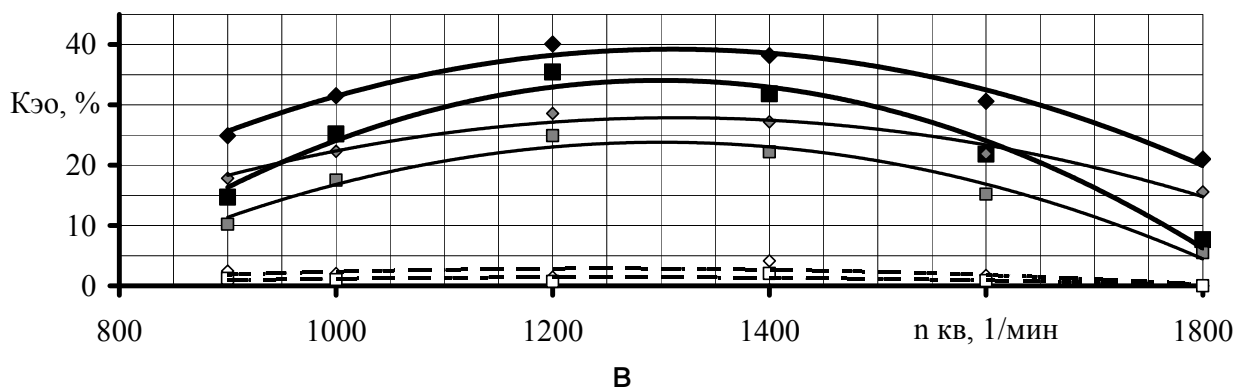
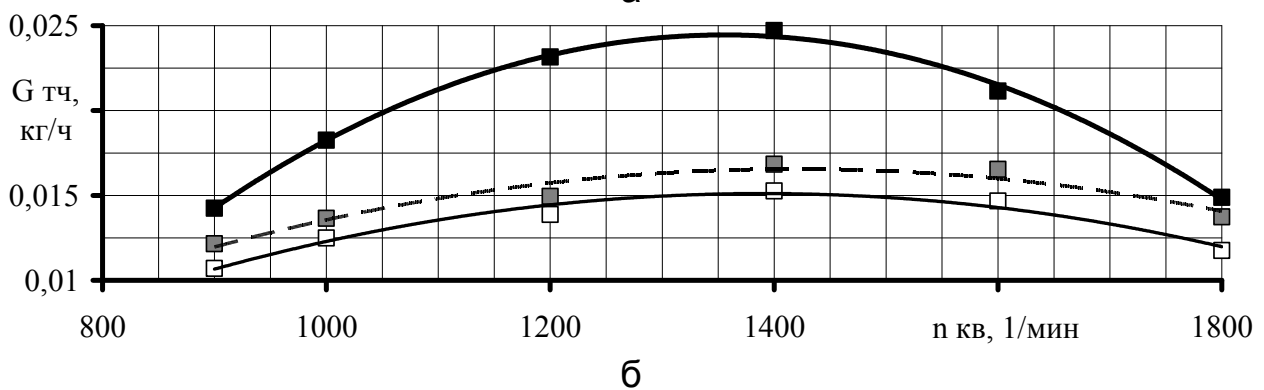
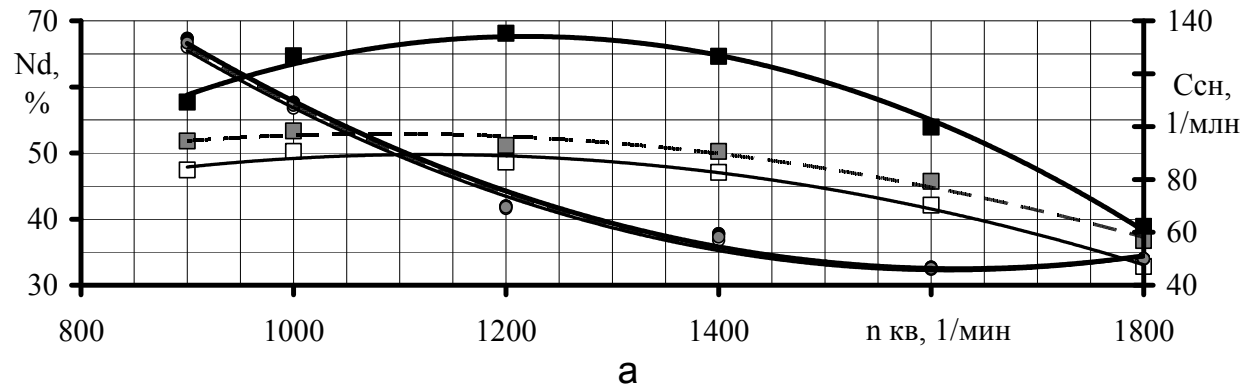


Рис. 3.1.2 – Зміна показників токсичності (а), димності ВГ (б), ефективності роботи експериментальних зразків ФЕ Тип № 1 і Тип № 2 розробленого ФТЧ (в), температури ВГ і перепаду температур ВГ на зразках (г) при роботі дизеля 2Ч10,5/12 за режимами зовнішньої швидкісної характеристики [А.17] (мовою оригіналу)

Самі ЗШХ побудовані шляхом описання експериментально отриманих точок (що відповідають стаціонарним режимам роботи дизеля) поліномами 1 – 4 ступеня методом лінійної регресії [8, 36]. При цьому використано режими з наступними значеннями $n_{кв}$: 900, 1000, 1200 (режим з $M_{крmax}$), 1400, 1600 і 1800 (режим з $N_{еном}$) $хв^{-1}$.

Величину $G_{твг}$ визначено сумуванням величин $G_{пов}$ і $G_{пал}$, що отримані непрямыми одноразовими вимірюваннями.

Величина $G_{Тч}$, зазвичай має визначатися гравіметричним методом із застосуванням повно- чи частковопоточних тунелів, але зважаючи на обмежені можливості матеріальної бази лабораторії, визначається розрахунком за формулою (1.4.5), що розроблена для автотракторних дизелів проф. І.В. Парсадановим, та отримана на основі сертифікаційних випробувань дизеля СМД-31 на моторному стенді фірми Ricardo, що обладнаний повнопоточним тунелем [5].

Ефективність очищення ВГ дизеля від ТЧ для масового викиду ТЧ і для окремих параметрів їх токсичності, що, як видно з формули (1.4.5), впливають на величину масового викиду ТЧ, визначається коефіцієнтами ефективності очищення за формулою (1.4.6) [8, 36].

3.1.5. Аналіз показників роботи ФТЧ

Як видно на рис. 3.1.4,а, N_D у очищеному потоці ВГ (що пройшов крізь експериментальний зразок ФЕ) має вид ступеневої залежності від $n_{кв}$. Разом з випадком неочищених ВГ, ця залежність наступна: досягає максимуму (51,1 % для зразка ФЕ Тип № 1 і 48,6 % для зразка ФЕ Тип № 2) на режимі з $M_{крmax}$ і зменшується як зі збільшенням (суттєво), так і зі зменшенням (незначно) $n_{кв}$, досягаючи мінімуму (48,2 % для зразка ФЕ Тип № 1 і 44,7 % для зразка ФЕ Тип № 2) на номінальному режимі.

Вид такої залежності для C_{CH} у очищених ВГ майже повторює її для неочищених, тому вид залежності для $G_{Тч}$ повністю визначається значеннями N_D .

На рис. 3.1.2,а видно, що залежність C_{CH} від $n_{кв}$ носить ступеневий характер і досягає максимуму (136 млн^{-1}) на режимі з мінімальною $n_{кв}$ за ЗШХ і з її ростом зменшується, досягаючи мінімуму (45 млн^{-1}) на режимі з $n_{кв} = 1600 \text{ хв}^{-1}$, незначно збільшуючись на режимі з номінальною $n_{кв}$ (1800 мин^{-1}). На рис. 3.1.2,а видно, що експериментальні зразки на величину C_{CH} майже не впливають (у межах інструментальної похибки відповідного ЗВТ).

Як видно з формул (1.4.5) і (1.4.6), $G_{Тч}$ має складові, що залежать від N_D і C_{CH} як лінійно, так і квадратично. Тому у формулі (1.4.6) для визначення $K_{EO}(G_{Тч})$ присутня не лише різниця N_D , а й різниця їх квадратів. Окрім того, за ненульового значення C_{CH} , навіть за нульового $K_{EO}(C_{CH})$, у деякому діапазоні значень N_D $K_{EO}(N_D)$ перевищує $K_{EO}(G_{Тч})$ (див. рис. 3.1.2,в).

На рис. 3.1.2,в видно, що за ефективністю очищення потоку ВГ від ТЧ за режимами ЗШХ зразок ФЕ Тип № 1 поступається зразку ФЕ Тип №

2 як кількісно (на 5 % на режимі з $M_{крmax}$), так і якісно (характер розподілу значень $K_{EO}(G_{TЧ})$ по режимах ЗШХ для зразка ФЕ Тип № 1 такий, що ефективність його роботи значно погіршується на режимах з мінімальною і номінальною $n_{кв}$ – на 35,5 і 26,5 % відповідно, у порівнянні зі зразком ФЕ Тип № 2). Однак зразок ФЕ Тип № 1 характеризується суттєво меншим ГО, може у зв'язку з цим містити меншу кількість модулів і, відповідно, вирізнятися меншими значеннями масогабаритних і вартісних показників.

Такий характер розподілу $K_{EO}(G_{TЧ})$ за режимами ЗШХ для зразка ФЕ Тип № 2 пояснюється тим, що на режимах з малою $n_{кв}$ у структурі ТЧ переважають фракції C_nH_m , а на режимі з $M_{крmax}$ спостерігається максимум $G_{TЧ}$ і середнє значення $G_{ВГ}$, а на номінальному режимі $G_{TЧ}$ зменшується але $G_{ВГ}$ досягає максимуму, збільшуючи швидкість потоку ВГ у модулі ФЕ.

Відмінності виду цієї залежності для обох типів експериментальних зразків ФЕ пояснюються різницею їх конструкції а отже і способів роботи.

Таким чином, за результатами першого етапу моторних досліджень для подальших етапів обрано зразок ФЕ Тип № 2, як такий, що характеризується більшою ефективністю роботи і більш сприятливим характером її розподілу за режимами ЗШХ. Подальші дослідження зразка ФЕ Тип № 1 не проводились.

Перепад температур на вході $t_{ФТЧвх}$ і виході $t_{ФТЧвих}$ з ФТЧ $\Delta t_{ФТЧ}$ зменшується зі зменшенням масових витрат ВГ $G_{ВГ}$ (див. рис. 3.1.2,в).

Це пояснюється збільшення швидкості потоку ВГ у ФЕ і зменшенням часу на процес теплообміну ВГ з матеріалами ФЕ і корпусу й останнього з повітрям НПС. Величина $\Delta t_{ФТЧ}$ збільшується зі збільшенням $t_{ФТЧвх}$. Це пояснюється інтенсифікацією процесу теплообміну зі збільшенням температурного напору.

Ці ефекти характерні й для порожнього корпусу ФТЧ $\Delta t_{МВ}$, і для ФТЧ зі експериментальним зразком ФЕ $\Delta t_{ФТЧ}$. Наявність зразка ФЕ у корпусі ФТЧ призводить до деякого підвищення температури ВГ на вході у ФТЧ $t_{ФТЧвх}$ (на 50 і 66 % від $\Delta t_{ФТЧ}$ відповідно).

Це пояснюється створенням значного опору експериментальними зразками на випуску дизельного ПДВЗ. Однак, температура ВГ не є адитивною величиною, на відміну від тиску, тому виділити значення перепаду температури на ФЕ з перепаду температур на ФТЧ за наявними експериментальними даними неможливо.

Залежності на рис. 3.1.2, описані поліномами методом найменших квадратів [8, 36], мають наступний вид.

Для дизеля 2Ч10,5/12 ($R^2 = 0,990...0,999$):

$$N_{D_ДВЗ} = -8,697 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв}^2 + 0,212 \cdot n_{кв} - 61,6; \quad (3.1.1)$$

$$C_{СН_ДВЗ} = 1,615 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв}^2 - 0,525 \cdot n_{кв} + 473,3; \quad (3.1.2)$$

$$G_{TЧ_ДВЗ} = -4,9 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^2 + 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв} - 6,6 \cdot 10^{-2}. \quad (3.1.3)$$

Для зразка ФЕ Тип № 1 ($R^2 = 0,981...0,999$):

$$N_{D_ФТЧ} = -3,083 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв}^2 + 6,704 \cdot 10^{-2} \cdot n_{кв} + 16,5; \quad (3.1.4)$$

$$C_{CH_ФТЧ} = 1,617 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв}^2 - 0,524 \cdot n_{кв} + 471,0; \quad (3.1.5)$$

$$G_{ТЧ_ФТЧ} = -1,7 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^2 + 4,8 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} - 1,8 \cdot 10^{-2}; \quad (3.1.6)$$

$$K_{EO}(N_D) = -7,751 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв}^2 + 0,202 \cdot n_{кв} - 107,3; \quad (3.1.7)$$

$$K_{EO}(C_{CH}) = -4,275 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 + 1,07 \cdot 10^{-2} \cdot n_{кв} - 5,2; \quad (3.1.8)$$

$$K_{EO}(G_{ТЧ}) = -1,111 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв}^2 + 0,289 \cdot n_{кв} - 153,5. \quad (3.1.9)$$

Для зразка ФЕ Тип № 2 ($R^2 = 0,995...0,999$):

$$N_{D_ФТЧ} = -3,678 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв}^2 + 8,289 \cdot 10^{-2} \cdot n_{кв} + 3,1; \quad (3.1.10)$$

$$C_{CH_ФТЧ} = 1,610 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв}^2 - 0,521 \cdot n_{кв} + 466,6; \quad (3.1.11)$$

$$G_{ТЧ_ФТЧ} = -1,9 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^2 + 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} - 2,1 \cdot 10^{-2}; \quad (3.1.12)$$

$$K_{EO}(G_{ТЧ}) = -8,06 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв}^2 + 0,211 \cdot n_{кв} - 99,2; \quad (3.1.13)$$

$$K_{EO}(N_D) = -5,56 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв}^2 + 0,146 \cdot n_{кв} - 68,3; \quad (3.1.14)$$

$$K_{EO}(C_{CH}) = -6,575 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 + 1,502 \cdot 10^{-2} \cdot n_{кв} - 6,1. \quad (3.1.15)$$

Залежності для величин $t_{ФТЧвх}$, $t_{ФТЧвих}$, $\Delta t_{ФТЧ}$ і $\Delta t_{МВ}$, виміряних термопереворювачами типу ТХА і приладами ОВЕН ТРМ-200, наведено у дослідженні [8].

Таким чином, математична модель ефективності роботи розробленого ФТЧ у реальних умовах експлуатації, що відповідає конструкції експериментального зразка ФЕ Тип № 2, за аналогією з математичною моделлю його гідравлічного опору у тих же умовах (див. формули (2.1.1) – (2.1.3)), відносно величин (1.4.5) і (1.4.6), побудована на основі залежностей (3.1.10) – (3.1.15) має наступний вид.

$$\begin{aligned} K_{EO} &= K_{EO}(G_{ТЧ})(g_{m_ВГ}) \cdot k_L(t_{ФТЧвхmax}) \cdot k_\tau(\tau_M; N_{ei}; WF_i) = \\ &= K_{EO}(G_{ТЧ})(n_{кв}) \cdot k_L(L_{вуп}) \cdot k_\tau(\tau_M; N_{ei}; WF_i), \% \end{aligned} \quad (3.1.16)$$

$$\begin{aligned} K_{EO}(G_{ТЧ})(g_{m_ВГ}) &= -0,332 \cdot g_{m_ВГ}^2 + 14,198 \cdot g_{m_ВГ} - \\ &- 112,557; R^2 = 0,96756, \%. \end{aligned} \quad (3.1.17)$$

Математична модель ефективності роботи розробленого ФТЧ, як видно з порівняння комплексу формул (2.1.1) – (2.1.3) та комплексу формул (3.1.16) – (3.1.17), має деякі відмінності від вищенаведеної моделі його ГО.

Вони зумовлені описаними вище особливостями конструкції безмоторної дослідницької установки, тобто відсутністю даних, отриманих на ній, з якими можна було б порівняти дані, отримані на моторному випробувальному стенді.

Відповідно до цього, у моделі ефективності роботи ФТЧ відсутні настроювальний k_0 (за вищенаведеними міркуваннями) і температурний коефіцієнти k_t . Останній втрачає фізичний сенс, оскільки показник ефективності роботи ФТЧ – K_{EO} – залежить на кожному окремому режимі роботи дизельного ПДВЗ не лише від температури ВГ, а й від значення масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ (див. формули (1.4.5), (1.4.6) і рис. 3.1.2,в).

3.1.6. Висновки по розділу

Проаналізовано результати першого етапу моторних стендових досліджень робочих характеристик різних варіантів конструкції розробленого ФТЧ нової нетрадиційної конструкції.

Наведено і обґрунтовано підходи до побудови математичної моделі ефективності роботи розробленого ФТЧ у реальних умовах експлуатації, яка подібна до математичної моделі його гідравлічного опору.

Визначенню фізичного змісту й значень компонувального і часового коефіцієнтів побудованої математичної моделі буде присвячено окремі дослідження.

Розділ 3.2. КОМПОНУВАЛЬНИЙ КОЕФІЦІЄНТ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ФІЛЬТРА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЯ

3.2.1. Постановка проблеми

Рівень екологічної безпеки (ЕБ) урбаністичної системи, вочевидь, визначається числовими значеннями параметрів, що характеризують рівні екологічної безпеки окремих складових такої системи, а сам рівень формується за синергетичним принципом, тобто не є простою алгебраїчною сумою складових. З числа таких складових слід особливу увагу приділити джерелам факторів екологічної небезпеки, що чинять такий вплив інтенсивно, різнобічно і під час свого нормального (неаварійного) функціонування. В урбосистемах одним з таких джерел є енергетичні установки (ЕУ), оснащені поршневіми двигунами внутрішнього згоряння (ПДВЗ), зокрема автотранспортні засоби (АТЗ) і спеціальна техніка (СТ).

Одним з відомих, способів вирішення такої проблеми, однак найдієвішим і разом з тим радикальним, є часткова або повна відмова від використання ПДВЗ як джерел механічної енергії для АТЗ та СТ.

Перший принцип реалізовано у гібридних автомобілях, другий – у електромобілях.

При цьому суттєвою перешкодою на шляху до широкого впровадження вищеозначених технологій є недостатній рівень дослідженості й розвитку елементної бази, у першу чергу накопичувачів електричної енергії, зокрема – акумуляторів та суперконденсаторів [91 – 93].

З іншого боку з огляду на наведене у [91 – 93] можна дійти висновку, що наразі, у найближчій перспективі, слід сконцентрувати увагу на дослідженнях менш радикальних способів забезпечення рівня ЕБ урбосистеми за рахунок узгодження показників екологічності ПДВЗ з законодавчо встановленими нормативами, описаним для автотракторних ПДВЗ, якими обладнано АТЗ і СТ різного призначення, у Правилах ЄЕК ООН № 49 і 96 [16, 17].

Згідно до наведеного у [1] серед таких способів найдієвішим є нейтралізація поллютантів у потоці відпрацьованих газів (ВГ) ПДВЗ, а серед засобів – фільтри твердих частинок (ФТЧ).

Сучасні способи і засоби забезпечення ЕБ автотранспорту на основі елементної бази з наноструктурованих напівпровідників є вкрай перспективним напрямком подальших досліджень, які втім можна віднести до більш віддаленої перспективи.

У зв'язку з наведеним вище та у першій частині дослідження [9] слід відмітити, що науково-дослідні роботи, які направлені на створення принципово нових і вдосконалення відомих конструкцій ФТЧ, а також дослідження особливостей їх роботи, є актуальними та економічно обґрунтованими.

3.2.2. Аналіз літературних джерел

З 01.01.2016 р. на території України введено у дію норми токсичності АТЗ і СТ з дизельними ПДВЗ стандартів Правил ЄЕК ООН №№ 49 і 96 рівня EURO V. На території Російської Федерації наразі діють норми тих самих стандартів рівня EURO V (з 01.01.2016 р.), а на території Європейської спілки – рівня EURO VI (з 01.09.2014 р. та 01.09.2015 р. для різних видів АТЗ і СТ) [1, 9, 16, 17, 86].

Авторами дослідження [1] розроблено систему управління екологічною безпекою (СУЕБ) процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ. До таких ЕУ у першу чергу слід віднести транспортні АТЗ і СТ, що перебуває на бойовому чергуванні підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України), Збройних Сил України, Національної Гвардії України, Національної поліції України, Державної прикордонної служби України, Служби безпеки України на інших силових відомств [87, 88], а також підрозділів гірничо-рятувальних загонів [89].

Така СУЕБ структурно подібна СУЕБ процесів пилогазопригнічення, що використовує багатофазні дисперсні структури (див. дослідження [2]), СУЕБ процесів утилізації твердих побутових відходів (див. дослідження [3]), СУЕБ життєвого циклу наноструктурованих напівпровідникових матеріалів (див. дослідження [91 – 93]).

Розроблена СУЕБ побудована на основі принципів багаторівневої декомпозиції, ієрархічних структур, методологічного підходу і десятичного поділу та містить декілька етапів, кожен з яких структурно розбито на декілька рівнів, що послідовно реалізуються одне за одним.

Перший етап цієї СУЕБ носить назву «Вихідні дані для створення СУЕБ» містить два рівні:

- Рівень 1 називається «Ідентифікація джерел факторів екологічної небезпеки і аналіз нормативно-правової бази»;
- Рівень 2, що має назву «Класифікація факторів екологічної небезпеки з урахуванням їх генезису і значущості».

Результатами виконання цих рівнів СУЕБ стали оновлена класифікація факторів екологічної небезпеки, джерелом яких є ЕУ з ПДВЗ, та виокремлення твердих частинок (ТЧ) як одного з найнебезпечніших законодавчо нормованих поллютантів у ВГ дизелів. ТЧ складаються з незгорілих вуглеводнів моторного палива і оливи C_nH_m , що адсорбовані на поверхнях ядер з сажі – пористого аморфного вуглецю.

За визначенням з [16, 17] ТЧ – це усі субстанції, що осіли на спеціальному фільтрі з тефлону при пропусканні скрізь нього спеціальним чином приготованої проби з ВГ, розбавлених чистим повітрям, і не є водою. При цьому виявлено, що до 95 % приведеної токсичності ВГ припадає на оксиди азоту NO_x і ТЧ, з яких у залежності від режиму роботи дизеля 20 – 45 % припадає на ТЧ [1, 9].

Другий етап такої СУЕБ носить назву «Удосконалені й нові технології для забезпечення ЕНБ, що використовуються СУЕБ» містить два рівні:

– Рівень 3 під назвою «Розроблення нових і удосконалення відомих підготовчих процесів»;

– Рівень 4, який носить найменування «Розроблення нового і удосконалення наявного оснащення для реалізації технологічних процесів».

Результатами виконання рівнів цього етапу стали нові класифікації способів і засобів зниження масового викиду ТЧ з потоком ВГ дизелів (у першу чергу ФТЧ) та здійснення процесу їх регенерації, а також позиціонування у цих класифікаціях конструкції розроблюваного авторами ФТЧ, математична модель ефективності роботи якого і була описана у попередній частині дослідження [9].

Призначенням ФТЧ є нейтралізація ТЧ у ВГ шляхом видалення з потоку, накопичення у фільтрувальному елементі (ФЕ) і перетворення їх на безпечні речовини безпосередньо у ФЕ чи поза бортом ЕУ.

При створенні вищезгаданих класифікацій застосовано методи літературно-патентного пошуку, аналізу і синтезу інформації, принципу десятичного поділу.

Третій етап СУЕБ носить назву «Організація та виконання технологічних процесів, що забезпечують заданий рівень ЕБ» містить два рівні:

– Рівень 5 під назвою «Організація та управління СУЕБ»;

– Рівень 6, котрий має назву «Виробничі процеси, що забезпечують заданий рівень ЕБ».

Результати їх виконання – це досліджені, описані та націоналізовані процеси, що відбуваються у ФЕ ФТЧ та у випускному тракті ПДВЗ.

Тобто дана серія досліджень займає цілком визначене місце побудові у СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Проблемою при цьому відсутність описання впливу процесів, що відбуваються у потоці ВГ у випускному тракті ПДВЗ, на робочі характеристики ФТЧ. До таких процесів слід віднести наступний причинно-наслідково зумовлений послідовний ланцюг [1, 85]:

– охолодження потоку ВГ за рахунок теплообміну з нерухомими деталями випускного тракту і випромінювання, розширення і сповільнення в'язкого потоку через лінійні та місцеві втрати напору;

– конденсації незгорілих вуглеводнів моторного палива і мастила на ТЧ за рахунок охолодження потоку ВГ;

– укрупнення самих ТЧ за рахунок їх коагуляції через наявність адгезивних властивостей адсорбованих на сажових ядрах шарів вуглеводнів.

Останнє, вочевидь, має спричинювати покращення ефективності процесу очищення потоку ВГ від ТЧ пристроями, що побудовані на інерційних і фільтрувальних способів.

Проте, безпосереднє дослідження процесів конденсації та коагуляції у потоці ВГ дизельних ПДВЗ досі становлять певні труднощі технологічно-методологічного характеру.

У даному дослідженні на основі аналізу експериментально отриманих даних буде здійснено оцінку і описання математичною мовою впливу

довжини випускного тракту дизеля між випускним колектором і ФТЧ на температуру потоку ВГ чи (як причини досліджуваного ефекту) і на ефективність роботи ФТЧ (як корисний практичний результат досліджуваного ефекту).

Метою даного дослідження є виявлення фізичного змісту, описання математичною мовою і визначення числових значень компоновального коефіцієнту математичної моделі ефективності роботи ФТЧ нової нетрадиційної конструкції, який дозволяє врахувати вплив місця розміщення ФТЧ вздовж випускного тракту дизельного ПДВЗ на його ефективність очищення потоку ВГ від ТЧ, шляхом аналізу експериментальних даних.

Об'єктом даного дослідження є робочі характеристики ФТЧ нової нетрадиційної конструкції.

Предметом даного дослідження є вплив показників компоновання випускної системи ПДВЗ на об'єкт дослідження.

Задачами даного дослідження є дослідження у широкій постановці є врахування у математичній моделі впливу на ефективність роботи ФТЧ ІПМаш наступних факторів.

1. Кількість насипки у сітчастих касетах у долях об'єму касети (дискретно 0 чи 100 %, без брикетування) як конструктивна особливість модуля ФЕ.

2. Площа вхідного отвору $S_{вх}$ модуля ФЕ як особливість геометрії модуля.

3. Кількість модулів у повнорозмірному ФЕ z_m як показник робочого об'єму циліндрів дизеля.

4. Комплекс показників, що характеризує стаціонарний режим роботи дизеля 2Ч10,5/12 – частота обертання колінчастого валу $n_{кв}$ (або потік ВГ $g_{тВГ}$) та крутний момент $M_{кр}$ (чи середній ефективний тиск P_e або температура ВГ на вході у ФТЧ $t_{ФТЧвх}$).

5. Довжина випускного тракту між випускним колектором дизеля і корпусом ФТЧ $L_{вип}$ (або максимально можлива температура ВГ $t_{ФТЧвхmax}$ на вході у ФТЧ) як особливість компоновки ФТЧ на АТЗ і СТ.

6. Комплекс показників, що характеризують динаміку засмічення ФЕ – час роботи дизеля 2Ч10,5/12 на стаціонарному режимі з максимальним крутним моментом $M_{крmax}$ T_M , ефективна потужність дизеля на i -му режимі N_{ei} і ваговий фактор цього режиму WF_i у стаціонарному випробувальному циклі, що описаний у стандартах [16, 17] і є моделлю експлуатації такого типу дизеля [81, 90].

Задачі 1 – 3 і, частково, 4 вирішено у попередній частині дослідження [9]. У даній частині відображено підходи до вирішення 4 (остаточно) та 5 задачі.

3.2.3. Визначення компонуального коефіцієнта математичної моделі ефективності роботи фільтра твердих частинок дизельних ПДВЗ

Пропонований та досліджуваний коефіцієнт встановлює зв'язок між температурою потоку ВГ на вході у корпус ФТЧ, що зумовлена місцем його розміщення вздовж випускного тракту дизельного ПДВЗ (перебігом процесів розширення потоку ВГ і теплообміну ВГ з повітрям НПС у випускному тракті), та ефективність очищення фільтром потоку ВГ від ТЧ, що зумовлена укрупненням ТЧ через конденсацію C_nH_m на ТЧ і коагуляцію самих ТЧ у потоці ВГ. У цьому й полягає невирішена проблема дослідження та його наукова новизна.

Матеріали досліджень [90, 91] містять достатньо експериментально отриманої інформації для описання зв'язку показників ефективності роботи ФТЧ, розробленого науковцями з НУЦЗУ та ІПМаш НАНУ, з наважливішими конструктивними параметрами дизеля, АТЗ і СТ й експлуатаційними факторами.

3.2.4. Отримання вихідних даних

Підходи до вирішення 1 – 4 задачі дослідження і його результати наведено у попередній частині дослідження [9]. Вищезгадані моторні випробування проводились у декілька етапів (особливості яких описані у [9]), результати першого з яких лягли в основу самої математичної моделі. Переваги обраного підходу до порівняльних досліджень із застосуванням ЗШХ, особливості самих характеристик і спосіб їх побудови наведено у [9]. Значення коефіцієнту послаблення світлового потоку N_D у % отримано прямими одноразовими вимірюваннями димоміром ІНФРАКАР-Д; значення об'ємної концентрації C_nH_m у ВГ C_{CH} у млн^{-1} – п'ятикомпонентним газоаналізатором АВТОТЕСТ-02.03; величина $G_{ТЧ}$ у кг/год – застосуванням відомої формули перерахунку (3.2.4) у [5, 9].

Другий етап моторних експериментальних досліджень проведено з метою виявлення і оцінки впливу температури дисперсного середовища аерозолі «ВГ дизеля – ТЧ» $t_{ВГ}$ на ефективність його очищення від дисперсної фази за допомогою досліджуваного ФТЧ.

Також було висунуто припущення про те, що зі зниженням значення $t_{ВГ}$ значення $K_{EO}(G_{ТЧ})$ за інших рівних умов має підвищуватись.

Такого ефекту слід було очікувати через вищевказані причини, що більш деталізовано можна описати наступним чином.

По-перше, місце встановлення діючого макету ФТЧ безпосередньо за вихідним фланцем випускного колектора дизеля характеризується значенням $L_{вип} = 0$ м та $t_{ВГ} = 605$ °С, а також максимальною швидкістю потоку ВГ крізь ФЕ.

При цьому процеси, що визначають розміри ТЧ (конденсація C_nH_m на сажових ядрах, коагуляція самих ТЧ), що знаходяться у логарифмічній залежності від $t_{ВГ}$ [80], у таких умовах далекі від свого завершення.

У випускному колекторі дизеля, згідно до наведеного у [1, 5, 80, 85],

мають розміри близько 5 нм (при $t_{BG} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$), у перерізі випускного тракту на вході у глушник шуму ВГ – близько 0,1 мкм (при $t_{BG} = 350\dots400 \text{ }^\circ\text{C}$), а у перерізі на виході з випускної системи АТЗ – перевищують 3...5 мкм ($t_{BG} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ і нижче).

Тобто, у функції t_{BG} відбувається збільшення розмірів ТЧ та зміна їх складу (рахункового, хімічного, за розмірами, за масою, за площею адсорбуючої поверхні), структури й геометричної форми (складної розгалуженої).

По-друге, у ФЕ досліджуваного макетного діючого зразка ФТЧ кількість модулів $z_M = 20$ од., у той час як за попередніми оцінками для дизеля 2Ч10,5/12 з робочим об'ємом 2,0 дм³ раціональне значення z_M має становити 30...50 од. (з різних міркувань), що забезпечує більшу ступінь розширення потоку ВГ на вході у ФЕ і відповідне зниження швидкості руху ВГ у ФЕ.

По-третє, за таких розмірів експериментального зразка обмеженою є і його сажомісткість, тобто динаміка заповнення ТЧ у часі, а отже і зміна у часі живих перерізів довільно розміщених каналів випадкової форми між гранулами насипки з природного цеоліту в сітчастих касетах.

По-четверте, стан насипки (фракційність, температура, спосіб брикетування і ущільнення), вочевидь, також мають чинити вплив на K_{EO} [9]. Для виявлення і оцінки такого впливу потрібні додаткові дослідження.

У експерименті зміна значення t_{BG} досягалась подовженням випускного тракту між фланцями випускного колектора і корпусу експериментального зразка відрізками гнучкого жароміцного трубопроводу на величину $L_{вип} = 1,5; 5,0$ та $8,0$ м. При цьому потік ВГ охолоджувався природним чином за рахунок процесів теплообміну з повітрям НПС та розширення.

Для кожного нового положення досліджуваного експериментального зразка знято ЗШХ, які потім порівняно з такою характеристикою для $L_{вип} = 0$ м, отриманою на першому етапі експериментальних досліджень.

Слід зауважити, що у ході експериментальної перевірки ці припущення знайшли своє підтвердження.

$K_{EO}(G_{ТЧ})$ підвищився від 40,1 % при $L_{вип} = 0$ м до 86,8 % при $L_{вип} = 8,0$ м на режимі максимального крутного моменту дизельного ПДВЗ.

На цьому режимі спостерігається глобальний максимум масового викиду ТЧ і $K_{EO}(G_{ТЧ})$. Однак, раціональним є обмеження значення $L_{вип} = 5,0$ м, оскільки на практиці більших значень досягнути складно навіть для великовантажних АТЗ і СТ, при цьому $K_{EO}(G_{ТЧ}) = 77,4$ % [81, 90].

Разом з цим також спостерігається зменшення ГО експериментального зразка та перепаду температури ВГ на зразку, фізична сутність цих процесів інтерпретована у [81].

Виявлені у тому ж дослідженні співвідношення між величинами:

а) температурою ВГ у місці встановлення діючого макету ФТЧ за його відсутності t_{BG} , температурою ВГ на вході у корпус ФТЧ $t_{ФТЧвх}$ і температурою ВГ на виході з корпусу ФТЧ $t_{ФТЧвих}$;

б) гідравлічним опором ФТЧ $\Delta P_{ФТЧ}$, частини випускного тракту дизе-

льного ПДВЗ, що розміщена за корпусом ФТЧ $\Delta P_{вип}$, корпусу ФТЧ без ФЕ ΔP_{MT} у якісному плані зберігаються для усіх значень $L_{вип}$.

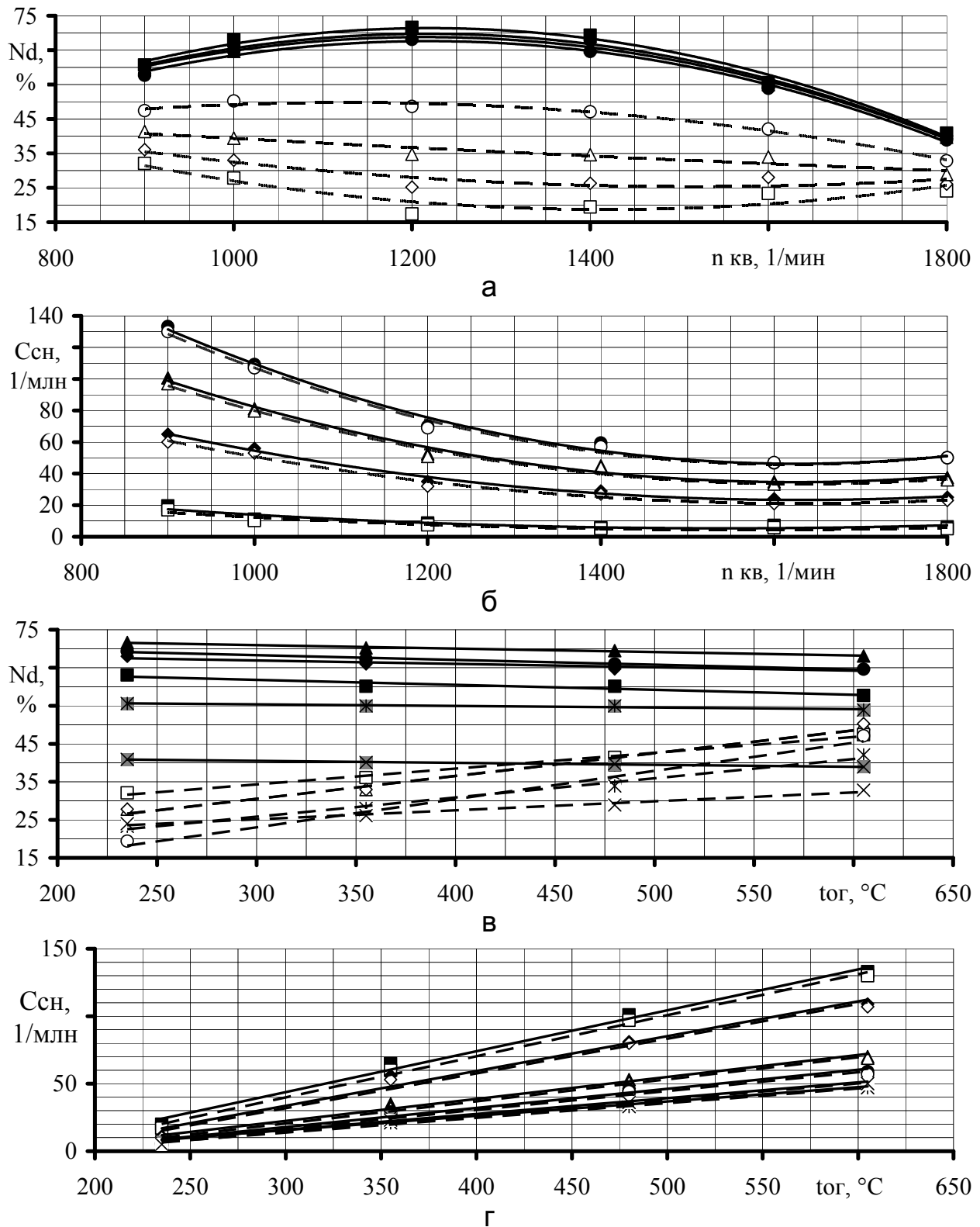
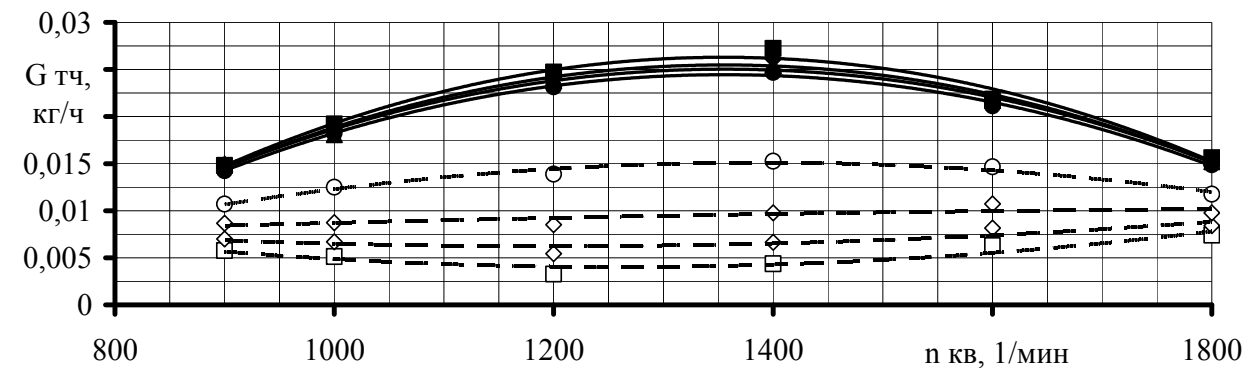
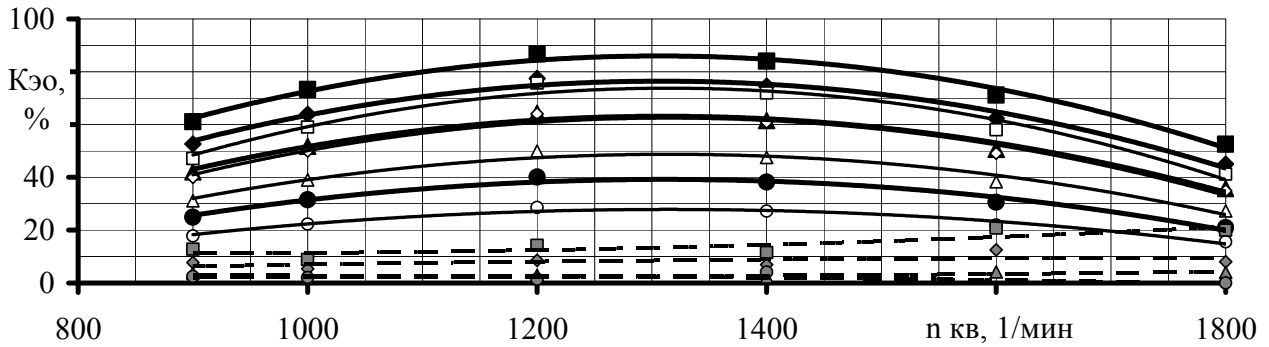


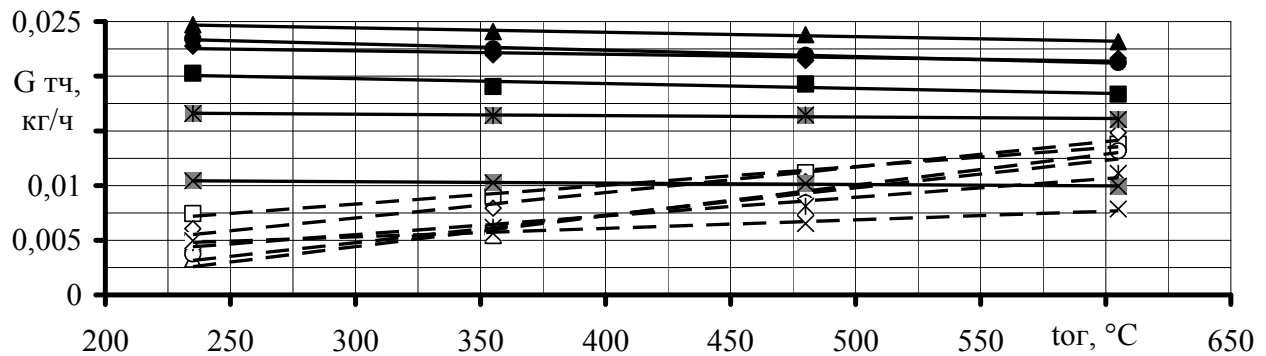
Рис. 3.2.1 – Зовнішні швидкісні характеристики дизеля 2410,5/12 для різних місць встановлення ФТЧ [А.27] (мовою оригіналу)



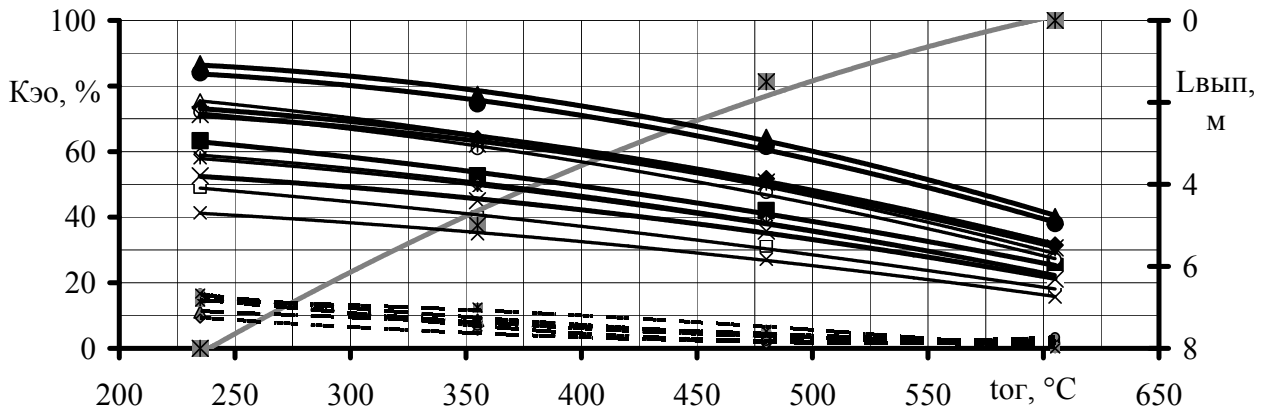
а



б



в



г

Рис. 3.2.2 – Залежності масового годинного викиду ТЧ з ВГ дизеля 2Ч10,5/12 та ефективності роботи ФТЧ за різними складовими ТЧ від частоти обертання колінчастого валу й температури ВГ на вході у корпус ФТЧ (місця встановлення ФТЧ вздовж випускного тракту дизеля) [А.27] (мовою оригіналу)

Від величини $L_{вип}$ також лінійно залежать величини $t_{ВГ}$, а величини $t_{ФТЧех}$, $t_{ФТЧвух}$, $\Delta t_{ФТЧ}$ – нелінійно (поліноми 2 ступеня).

Максимальну температуру ВГ на вході у ФТЧ $t_{ФТЧех}$ та величину $L_{вип}$ можна зв'язати наступною залежністю, отриманою шляхом опису експериментальних даних методом найменших квадратів ($R^2 = 0,986$) [81]:

$$t_{ФТЧех\max} = 2,176 \cdot L_{вип}^2 - 61,272 \cdot L_{вип} + 591,2, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.2.4)$$

Результати даного етапу моторних випробувань наведено на рис. 3.2.1 і 3.2.2.

На рис. 3.2.1 містяться залежності величин N_D , C_{CH} , при роботі дизеля 2Ч10,5/12 на режимах ЗШХ (тобто у функції $n_{ке}$) для різних фіксованих значень $L_{вип}$ (тобто у функції $t_{ФТЧех}$) за умов наявності (позначені індексом ФТЧ) та відсутності (позначені індексом ДВЗ) у його випускному тракті ФТЧ, експериментально отримані.

На рис. 3.2.1 застосовано наступні позначення:

для а, б, в, г:

- , □ – $t_{ВГ} = 235 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($L_{вип} = 8,0 \text{ м}$); ◆, ◇ – $t_{ВГ} = 355 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($L_{вип} = 5,0 \text{ м}$);
- ▲, Δ – $t_{ВГ} = 480 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($L_{вип} = 1,5 \text{ м}$); ●, ○ – $t_{ВГ} = 605 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($L_{вип} = 0,0 \text{ м}$);
- , ◆, ▲, ● – без ФТЧ; □, ◇, Δ, ○ – з ФТЧ;

для г: ■, ◆, ▲, ● – $K_{EO}(G_{ТЧ})$; □, ◇, Δ, ○ – $K_{EO}(N_D)$; ■, ◆, ▲, ● – $K_{EO}(C_{CH})$

На рис. 3.2.2 наведено залежності величин $G_{ТЧ}$ дизеля 2Ч10,5/12 та $K_{EO}(N_D)$, $K_{EO}(C_{CH})$ й $K_{EO}(G_{ТЧ})$ за режимами ЗШХ від величин $n_{ке}$ і $t_{ВГ}$ для різних фіксованих значень $L_{вип}$, отримані розрахунком.

На рис. 3.2.2,г також подано залежність величини $L_{вип}$ від $t_{ФТЧех}$, що відповідає формулі (3.2.4).

На рис. 3.2.2 застосовано наступні позначення:

для а, б:

- , □ – $t_{ВГ} = 235 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($L_{вип} = 8,0 \text{ м}$); ◆, ◇ – $t_{ВГ} = 355 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($L_{вип} = 5,0 \text{ м}$);
- ▲, Δ – $t_{ВГ} = 480 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($L_{вип} = 1,5 \text{ м}$); ●, ○ – $t_{ВГ} = 605 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($L_{вип} = 0,0 \text{ м}$);

для а, в:

- , ◆, ▲, ● – без ФТЧ; □, ◇, Δ, ○ – з ФТЧ;

для б, г:

- , ◆, ▲, ●, *, × – $K_{EO}(G_{ТЧ})$; □, ◇, Δ, ○, *, × – $K_{EO}(N_D)$;
- , ◆, ▲, ●, *, × – $K_{EO}(C_{CH})$; * – $L_{вип}$;

для в, г:

- , □, ■ – $n_{ке} = 900 \text{ хв}^{-1}$; ◆, ◇, ◆ – $n_{ке} = 1000 \text{ хв}^{-1}$;
- ▲, Δ, ▲ – $n_{ке} = 1200 \text{ хв}^{-1}$; ●, ○, ● – $n_{ке} = 1400 \text{ хв}^{-1}$;
- *, *, * – $n_{ке} = 1600 \text{ хв}^{-1}$; ×, ×, × – $n_{ке} = 1800 \text{ хв}^{-1}$

Подані на рис. 3.2.1 і 3.2.2 криві описано поліномами першого і другого ступеня методом найменших квадратів ($R^2 = 0,997...0,960$) [9, 81] і мають наступний вид.

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c; \quad (3.2.5)$$

де y – експериментально отримані показники роботи дизеля чи ФТЧ;
 x – впливаючий фактор, у даному випадку – $n_{кв}$, $хв.^{-1}$, при чому $n_{кв} = [800, 1800]$ $хв.^{-1}$; a, b, c – коефіцієнти апроксимуючого поліному.

Значення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів a, b і c для різних величини y при різних фіксованих значеннях величини $L_{вип}$ (або $t_{ФТЧехmax}$) у функції величини x зведено до табл. 3.2.1. При різних фіксованих значеннях величини $t_{ВГ}$ – у табл. 3.2.2.

Табл. 3.2.1 – Параметри апроксимуючих поліномів

y	$[y]$	a	b	c	a	b	c
$x = n_{кв}, [x] = хв^{-1}$		$[y]/[x]^2$	$[y]/[x]$	$[y]$	$[y]/[x]^2$	$[y]/[x]$	$[y]$
		$L_{вип} = 0,0$ м ($t_{ФТЧехmax} = 605$ °С)			$L_{вип} = 1,5$ м ($t_{ФТЧехmax} = 480$ °С)		
$N_D_{ДВЗ}$	кВт	$-8,697 \cdot 10^{-5}$	0,212	-61,6	$-8,634 \cdot 10^{-5}$	0,210	-58,6
$N_D_{ФТЧ}$	кВт	$-3,678 \cdot 10^{-5}$	8,289	3,1	$2,527 \cdot 10^{-6}$	$-1,882 \cdot 10^{-2}$	55,7
$C_{СН_{ДВЗ}}$	ppm	$1,615 \cdot 10^{-4}$	-0,525	473,3	$1,221 \cdot 10^{-4}$	-0,397	357,1
$C_{СН_{ФТЧ}}$	ppm	$1,610 \cdot 10^{-4}$	-0,521	466,6	$1,155 \cdot 10^{-4}$	-0,378	342,0
$G_{ТЧ_{ДВЗ}}$	кг/год	$-4,910 \cdot 10^{-8}$	$1,331 \cdot 10^{-4}$	$-6,6 \cdot 10^{-2}$	$-5,020 \cdot 10^{-8}$	$1,362 \cdot 10^{-4}$	$-6,7 \cdot 10^{-2}$
$G_{ТЧ_{ФТЧ}}$	кг/год	$-1,860 \cdot 10^{-8}$	$5,165 \cdot 10^{-5}$	$-2,1 \cdot 10^{-2}$	$-1,270 \cdot 10^{-9}$	$5,400 \cdot 10^{-6}$	$-4,6 \cdot 10^{-3}$
$K_{EO}(N_D)$	%	$-5,560 \cdot 10^{-5}$	0,146	-68,3	$-9,720 \cdot 10^{-5}$	0,256	-119,4
$K_{EO}(C_{СН})$	%	$-6,575 \cdot 10^{-6}$	$1,502 \cdot 10^{-2}$	-6,1	$4,981 \cdot 10^{-6}$	$-1,195 \cdot 10^{-2}$	9,8
$K_{EO}(G_{ТЧ})$	%	$-8,060 \cdot 10^{-5}$	0,211	-99,2	$-1,197 \cdot 10^{-4}$	0,314	-142,2
		$L_{вип} = 5,0$ м ($t_{ФТЧехmax} = 355$ °С)			$L_{вип} = 8,0$ м ($t_{ФТЧехmax} = 235$ °С)		
$N_D_{ДВЗ}$	кВт	$-8,968 \cdot 10^{-5}$	0,218	-63,2	$-9,391 \cdot 10^{-5}$	0,229	-68,4
$N_D_{ФТЧ}$	кВт	$2,669 \cdot 10^{-5}$	$-8,098 \cdot 10^{-2}$	86,8	$4,766 \cdot 10^{-5}$	-0,135	114,6
$C_{СН_{ДВЗ}}$	ppm	$7,863 \cdot 10^{-5}$	-0,256	232,3	$2,912 \cdot 10^{-5}$	$-8,99 \cdot 10^{-2}$	74,7
$C_{СН_{ФТЧ}}$	ppm	$7,400 \cdot 10^{-5}$	-0,242	218,4	$2,490 \cdot 10^{-5}$	$-7,789 \cdot 10^{-2}$	65,3
$G_{ТЧ_{ДВЗ}}$	кг/год	$-5,250 \cdot 10^{-8}$	$1,424 \cdot 10^{-4}$	$-7,1 \cdot 10^{-2}$	$-5,580 \cdot 10^{-8}$	$1,511 \cdot 10^{-4}$	$-7,6 \cdot 10^{-2}$
$G_{ТЧ_{ФТЧ}}$	кг/год	$7,140 \cdot 10^{-9}$	$1,709 \cdot 10^{-5}$	$-1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,290 \cdot 10^{-8}$	$3,258 \cdot 10^{-5}$	$-2,4 \cdot 10^{-2}$
$K_{EO}(N_D)$	%	$-1,247 \cdot 10^{-4}$	0,328	-153,0	$-1,472 \cdot 10^{-4}$	0,387	-180,7
$K_{EO}(C_{СН})$	%	$-4,310 \cdot 10^{-6}$	1,499	-3,7	$1,174 \cdot 10^{-5}$	$2,049 \cdot 10^{-2}$	20,1
$K_{EO}(G_{ТЧ})$	%	$-1,359 \cdot 10^{-4}$	0,356	-156,1	$-1,429 \cdot 10^{-4}$	0,373	-157,7

3.2.5. Аналіз результатів дослідження

На рис. 3.2.1,а видно, що залежність величини $N_{D_{ДВЗ}}$ від величини $L_{вип}$ зневажливо мала, це зумовлено похибками вимірювання димності ВГ і коагуляцією ТЧ.

Така залежність для величини $N_{D_{ФТЧ}}$ носить суттєвий характер і кількісно, і якісно, змінює форму з максимумом на форму з мінімумом, а сам екстремум зміщується зі значення величини $n_{кв}$ 1200 до 1400 $хв^{-1}$. Це зумовлено особливостями робочого процесу дизельного ПДВЗ і ФТЧ.

На рис. 3.2.1,б видно, що залежність величини $C_{СН_{ДВЗ}}$ від величини $L_{вип}$ носить суттєвий характер і наближається до горизонтальної прямої, це зумовлено процесом конденсації C_nH_m на ТЧ. Залежність величини $C_{СН_{ФТЧ}}$ від величини $L_{вип}$ майже повторює вищенаведену, що означає малу ефективність очищення потоку ВГ від газоподібних C_nH_m досліджу-

ваним ФТЧ.

На рис. 3.2.2, а видно, що залежність величини $G_{ТЧ}$ від величини $L_{вип}$ носить характер, аналогічний залежності величини N_D від величини $L_{вип}$, що зумовлено особливостями формули перерахунку величин N_D і $C_{СН}$ у величину $G_{ТЧ}$, описаними у [5, 9].

Те саме стосується і залежностей величин $K_{EO}(N_D)$, $K_{EO}(C_{СН})$ та $K_{EO}(G_{ТЧ})$ від величини $L_{вип}$ на рис. 3.2.2,б, що є сумарним ефектом вище-наведеного.

В цілому, з наведеного на рис. 3.2.1,в і г і 3.2.2,в видно, що залежності величин N_D , $C_{СН}$ та $G_{ТЧ_ДВЗ}$ від величини $t_{ФТЧ\&x}$ носять лінійний характер, а така залежність для величини $K_{EO}(G_{ТЧ})$ – нелінійний, що мало відрізняється від лінійного (див. рис. 3.2.2,г).

Табл. 3.2.2 – Параметри апроксимуючих поліномів

y	$[y]$	a	b	c	a	b	c
$x = t_{БГ},$ $[x] = ^\circ\text{C}$		$[y]/[x]^2$	$[y]/[x]$	$[y]$	$[y]/[x]^2$	$[y]/[x]$	$[y]$
		$n_{кв} = 900 \text{ хв.}^{-1}$			$n_{кв} = 1000 \text{ хв.}^{-1}$		
$N_D \text{ ДВЗ}$	кВт	0	$-1,309 \cdot 10^{-2}$	65,7	0	$-9,037 \cdot 10^{-3}$	69,6
$N_D \text{ ФТЧ}$	кВт	0	$4,149 \cdot 10^{-2}$	21,9	0	$6,000 \cdot 10^{-2}$	12,5
$C_{СН} \text{ ДВЗ}$	ppm	0	0,303	-47,3	0	0,258	-43,8
$C_{СН} \text{ ФТЧ}$	ppm	0	0,304	-51,4	0	0,257	-45,2
$G_{ТЧ} \text{ ДВЗ}$	кг/год	0	$-4,447 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	0	$-3,132 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
$G_{ТЧ} \text{ ФТЧ}$	кг/год	0	$1,717 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	0	$2,331 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$
$K_{EO}(N_D)$	%	$-6,078 \cdot 10^{-5}$	$-3,207 \cdot 10^{-2}$	59,8	$-1,172 \cdot 10^{-4}$	$-6,713 \cdot 10^{-5}$	65,4
$K_{EO}(C_{СН})$	%	$9,502 \cdot 10^{-5}$	-0,114	36,4	$7,371 \cdot 10^{-5}$	$-8,286 \cdot 10^{-2}$	24,7
$K_{EO}(G_{ТЧ})$	%	$-9,772 \cdot 10^{-5}$	$-1,975 \cdot 10^{-2}$	73,0	$-1,690 \cdot 10^{-4}$	$3,025 \cdot 10^{-2}$	75,3
		$n_{кв} = 1200 \text{ хв.}^{-1}$			$n_{кв} = 1400 \text{ хв.}^{-1}$		
$N_D \text{ ДВЗ}$	кВт	0	$-9,063 \cdot 10^{-3}$	73,6	0	$-1,246 \cdot 10^{-2}$	72,0
$N_D \text{ ФТЧ}$	кВт	0	$8,356 \cdot 10^{-2}$	-3,5	0	$7,408 \cdot 10^{-2}$	0,828
$C_{СН} \text{ ДВЗ}$	ppm	0	0,163	-26,3	0	0,142	-24,5
$C_{СН} \text{ ФТЧ}$	ppm	0	0,163	-28,4	0	0,140	-25,3
$G_{ТЧ} \text{ ДВЗ}$	кг/год	0	$-3,976 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	0	$-5,746 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
$G_{ТЧ} \text{ ФТЧ}$	кг/год	0	$2,825 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	0	$2,512 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
$K_{EO}(N_D)$	%	$-1,525 \cdot 10^{-4}$	$2,363 \cdot 10^{-3}$	83,3	$-1,457 \cdot 10^{-4}$	$2,428 \cdot 10^{-2}$	79,2
$K_{EO}(C_{СН})$	%	$5,937 \cdot 10^{-6}$	$-3,240 \cdot 10^{-2}$	18,6	$1,834 \cdot 10^{-4}$	-0,190	52,1
$K_{EO}(G_{ТЧ})$	%	$-2,363 \cdot 10^{-4}$	$7,457 \cdot 10^{-2}$	81,9	$-2,26 \cdot 10^{-4}$	$6,476 \cdot 10^{-2}$	80,7
		$n_{кв} = 1600 \text{ хв.}^{-1}$			$n_{кв} = 1800 \text{ хв.}^{-1}$		
$N_D \text{ ДВЗ}$	кВт	0	$-4,132 \cdot 10^{-3}$	56,6	0	$-5,179 \cdot 10^{-3}$	42,1
$N_D \text{ ФТЧ}$	кВт	0	$5,049 \cdot 10^{-2}$	10,7	0	$2,370 \cdot 10^{-2}$	18,0
$C_{СН} \text{ ДВЗ}$	ppm	0	0,106	-16,1	0	0,117	-19,4
$C_{СН} \text{ ФТЧ}$	ppm	0	0,109	-19,0	0	0,120	-21,6
$G_{ТЧ} \text{ ДВЗ}$	кг/год	0	$-1,281 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	0	$-1,241 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
$G_{ТЧ} \text{ ФТЧ}$	кг/год	0	$1,705 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	0	$7,796 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
$K_{EO}(N_D)$	%	$-1,157 \cdot 10^{-4}$	$4,846 \cdot 10^{-4}$	64,1	$-7,900 \cdot 10^{-5}$	$-2,197 \cdot 10^{-3}$	46,1
$K_{EO}(C_{СН})$	%	$-6,087 \cdot 10^{-5}$	$1,088 \cdot 10^{-2}$	15,4	$5,876 \cdot 10^{-5}$	$-9,200 \cdot 10^{-2}$	34,6
$K_{EO}(G_{ТЧ})$	%	$-1,751 \cdot 10^{-4}$	$3,877 \cdot 10^{-2}$	71,5	$-1,088 \cdot 10^{-4}$	$7,347 \cdot 10^{-3}$	56,7

Останні залежності дві можуть бути описані формулами (3.2.5) – (3.2.7).

$$G_{ТЧ_ДВЗ} = -3,304 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{ФТЧвх}} + 2,038 \cdot 10^{-2}, \text{ кг/год}; \quad (3.2.5)$$

$$G_{ТЧ_ФТЧ} = 1,978 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{ФТЧвх}} + 2,235 \cdot 10^{-3}, \text{ кг/год}; \quad (3.2.6)$$

$$K_{EO}(G_{ТЧ}) = -1,683 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{ФТЧвх}}^2 + 3,266 \cdot 10^{-2} \cdot t_{\text{ФТЧвх}} + 73,2, \%. \quad (3.2.7)$$

Вплив величин $t_{\text{ФТЧвхmax}}$ і $n_{\text{кв}}$ на величиную коефіцієнта k_L проілюстровано на рис. 3.2.3.

На рис. 3.2.3 видно, що такий вплив в обох випадках носить нелінійний характер і може бути описаний формулою (3.2.8).

$$k_L = -5,579 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{ФТЧвхmax}}^2 + 1,167 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{ФТЧвхmax}} + 2,3; R^2 = 0,99848. \quad (3.2.8)$$

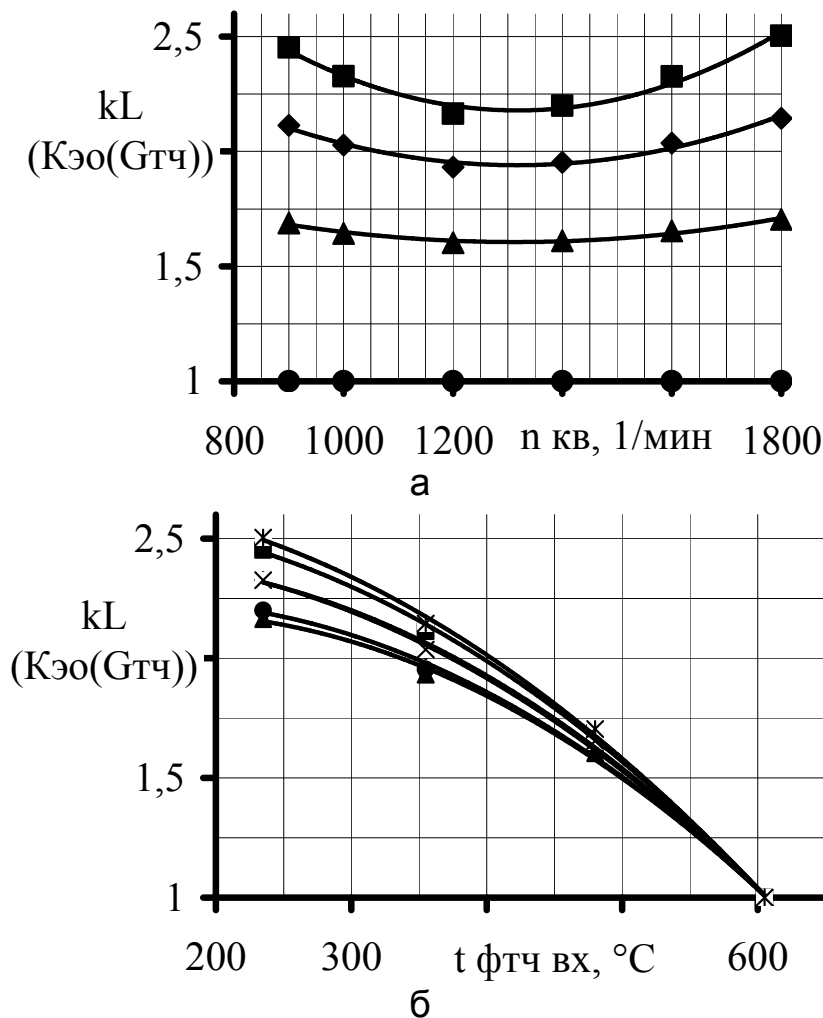


Рис. 3.2.3 – Залежність компоновочного коефіцієнту k_L від величин $n_{\text{кв}}$ (а) і $t_{\text{ФТЧвхmax}}$ (б) [А.27] (мовою оригіналу):
 для а: ■ – $L_{\text{вуп}} = 8$ м; ♦ – $L_{\text{вуп}} = 5$ м; ▲ – $L_{\text{вуп}} = 1,5$ м; ● – $L_{\text{вуп}} = 0,0$ м;
 для б: ■ – $n_{\text{кв}} = 1400$ хв⁻¹; ♦ – $n_{\text{кв}} = 1200$ хв⁻¹; ▲ – $n_{\text{кв}} = 1000$ хв⁻¹;
 ● – $n_{\text{кв}} = 900$ хв⁻¹; * – $n_{\text{кв}} = 1800$ хв⁻¹; × – $n_{\text{кв}} = 1600$ хв⁻¹

Слід зауважити, що для величини $K_{EO}(G_{TЧ})$ з описуваної математичної моделі компонувальний коефіцієнт k_L є по-суті аналогом комплексу температурного k_t і компонувального k_L коефіцієнтів математичної моделі гідравлічного опору ФТЧ, принципова різниця між якими у даному випадку не може бути виявлена за наявними експериментальними даними, а саме через відсутність даних фізичного моделювання процесу очищення потоку ВГ від ТЧ модулем розробленого ФЕ [81].

Компонувальний коефіцієнт для даної математичної моделі величина k_L за визначенням (що і є його фізичним змістом) рівний відношенню значень $K_{EO}(G_{TЧ})$ при різних фіксованих значеннях $L_{вип} \neq 0$ (або $t_{ФТЧвхmax} \neq t_{ФТЧвхmax}(M_{крmax})$, тобто за частковою швидкісною характеристикою) до значень $K_{EO}(G_{TЧ})$ при $L_{вип} = 0$ (або $t_{ФТЧвхmax} = t_{ФТЧвхmax}(M_{крmax})$, тобто за ЗШХ), при постійних значеннях $n_{ке}$.

Сама ж математична модель ефективності роботи ФТЧ (формула (3.2.1)) описує результати експериментальних досліджень. Це відбувається шляхом прийняття за основу ЗШХ при розміщенні ФТЧ у безпосередньо за випускним колектором вздовж випускного тракту дизеля при $L_{вип} = 0$ (базової ЗШХ – формули (3.2.2) і (3.2.3)).

Вплив глобальної зміни максимальної температури потоку ВГ на вході у корпус ФТЧ $t_{ФТЧвхmax}$, викликаній зміною місця його розміщення вздовж випускного тракту при $L_{вип} \neq 0$ (формула (3.2.4)) й локальної зміни температури $t_{ФТЧвх}$ за самою ЗШХ при цьому, враховується множенням значень $K_{EO}(G_{TЧ})$ за базовою ЗШХ при $n_{ке} = \text{const}$ на значення компоновочного коефіцієнта k_L (формула (3.2.8)).

3.2.6. Висновки по розділу

Таким чином, за результатами аналізу даних даного етапу стендових моторних досліджень можна зробити наступний головний висновок: температура ВГ чинить суттєвий вплив на всі робочі характеристики ФТЧ.

Зниження температури ВГ, досягнуте за рахунок перенесення ФТЧ вздовж випускного тракту дизельного ПДВЗ, сприятливо позначається як на ефективності очищення ім потоку ВГ від ТЧ, так і на значенні його гідравлічного опору (див. також дослідження [81]). Причому цей вплив тим сильніший, чим вища температура ВГ на вході у корпус ФТЧ, і навпаки, при наближенні її значення до температури повітря навколишнього природного середовища, тим менш значний ефект досягається.

У зв'язку з вищесказаним, слід зробити загальний висновок про те, що раціональне місце розміщення досліджуваного ФТЧ по довжині випускного тракту дизельного ПДВЗ знаходиться навколо значення $L_{вип} = 5,0$ м. Цей висновок також підкріплюється аналізом геометричних параметрів (зокрема, довжини) випускних трактів існуючих одиниць АТЗ і СТ, оснащених автотракторними дизелями, у яких довжина випускного тракту, що перевищує 5,0 м, не знайшла широкого поширення.

Вищенаведене можна розділити на наступні пункти.

1. Проаналізовано результати другого етапу моторних стендових досліджень робочих характеристик варіанту конструкції ФТЧ нової нетрадиційної конструкції, обраного за результатами першого етапу випробувань.

2. Наведено і обґрунтовано підходи до побудови математичної моделі ефективності роботи такого ФТЧ у реальних умовах експлуатації, яка подібна до математичної моделі його гідравлічного опору.

3. Визначено фізичний зміст і значення компонуального коефіцієнту такої математичної моделі у залежності від температури відпрацьованих газів на вході у корпус ФТЧ і місця розміщення фільтра вздовж випускного тракту дизельного ПДВЗ на основі аналізу експериментальних даних.

4. Визначенню фізичного змісту і значень часового коефіцієнта побудованої математичної моделі, що враховує особливості моделі експлуатації дизельного ПДВЗ і динаміку засмічення ФТЧ, буде присвячено окреме дослідження.

Наукова новизна результатів дослідження полягає в тому, що вперше встановлено і математичною описано кількісний і якісний зв'язки між показниками ефективності роботи ФТЧ й температурою ВГ автотракторного дизеля на вході у фільтр.

Практична значимість результатів дослідження полягає в тому, що вдосконалена завдяки визначенню компоновочного коефіцієнта математична модель та методики проведення стендових випробувань і аналізу їх результатів придатні для прогнозування робочих характеристик ФТЧ будь-якої конструкції з урахуванням місця його розміщення у випускному тракті дизельного ПДВЗ вздовж потоку ВГ.

Розділ 3.3. ОПИСАННЯ БЕТА-РОЗПОДІЛОМ МАСОВИХ ГОДИННИХ ВИКИДІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЯ З УРАХУВАННЯМ ТОЧНОСТІ ДИМОМІРА ТА ГАЗОАНАЛІЗАТОРА

3.3.1. Постановка проблеми і аналіз публікацій

Автотранспортні засоби (АТЗ), обладнані дизельними поршневыми двигунами внутрішнього згоряння (ПДВЗ), являє собою потужне джерело викидів законодавчо нормованих поллютантів, серед яких друге місце за приведеною токсичністю займають тверді частинки (ТЧ) [1, 5, 22, 68, 85]. ТЧ являють собою дисперсну фазу аерозолі відпрацьованих газів (ВГ), є продуктом неповного згоряння моторного палива, несуть у своєму складі канцерогенні речовини, формують смог у містах [1, 5, 22, 68, 85].

Результати кількісного оцінювання обсягу викидів такого полютанту згідно до нормативних документів [16] виражають в одиницях годинного масового викиду $G_{ТЧ}$ у кг/год, а саме оцінювання здійснюють експериментальним шляхом при непрямих вимірюваннях гравіметричним способом у ході стендових моторних випробувань ПДВЗ за стаціонарними стандартизованими випробувальними циклами з використанням комплексу засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), що називається тунелями розведення.

Однак, такі комплекси ЗВТ є складними, громіздкими, високовартісними (від сотень тисяч доларів США до мільйонів), мають бути сертифікованими [1].

Наразі на території України наявний лише один сертифікований тунель розведення закордонного виробництва. Тобто у переважній більшості підрозділів наукових організацій у нашій державі, що проводять науково-дослідні роботи з тематики ПДВЗ та у зв'язку з цим мають моторні випробувальні стенди, отримання значень величини $G_{ТЧ}$ є недоступним.

Для проведення експериментальних досліджень, результати яких можна порівнювати з результатами, отриманими з використанням тунелів розведення, науковці згаданих наукових організацій розробляють та використовують різного виду формули перерахунку, які дозволяють перевести покази значно більш доступних, дешевих і розповсюджених ЗВТ у значення $G_{ТЧ}$. До таких ЗВТ належать димоміри та багатокомпонентні газоаналізатори різноманітних конструкцій, оскільки основними складовими ТЧ є сажові ядра та сконденсовані й адсорбовані на їх поверхнях незгорілі вуглеводні моторного палива. До формул перерахунку слід віднести формули Парсаданова [5], Алкідаса [94], Мунтяна [95], MIRA [96].

Така формула перерахунку є функцією, яка пов'язує величину $G_{ТЧ}$ з показами димоміра (димність, або коефіцієнт послаблення світлового потоку N_D у %) та газоаналізатора (об'ємна концентрація незгорілих вуглеводнів у ВГ C_{CH} у млн^{-1} чи ppm).

Вказана залежність носить нелінійний характер [1]. Згадані прилади – димомір та газоаналізатор – характеризуються деякими значеннями точності вимірювань, які вказані у паспорті цих ЗВТ [61, 62].

Як відомо з основних положень метрології, характер розподілу ви-

падкових значень результатів непрямих вимірювань (а застосування згаданих формул перерахунку можна розглядати саме як непряме вимірювання) при нелінійній залежності цих результатів від значень результатів прямих вимірювань (показів димоміра та газоаналізатора) має характер, що суттєво відрізняється від закону нормального розподілу за асиметрією та ексцесом.

Причому такий ефект наявний навіть за умови відповідності законів розподілу випадкових значень результатів прямих вимірювань нормальному закону, який зумовлений інструментальними похибками ЗВТ.

Такий ефект тим сильніший, чим меншою є кількість повторних вимірювань з одним і тим же значенням математичного очікування (тобто на одній і тій же режимній точці поля робочих режимів ПДВЗ).

При стендових моторних випробуваннях зазвичай обмежуються 3...10 кратним вимірюванням на одній режимній точці, тобто про наявність вибірки даних, обсягом 50...1000 (за різними рекомендаціями [97]) значень без автоматизації процесу вимірювання і об'єднання згаданих приладів у єдиний вимірювальний комплекс мови не йде з очевидних причин (грошові, часові, трудові витрати на проведення експерименту).

Як показано у дослідженні [97, 98], в такому випадку для більш адекватного фізичній реальності описання можна апроксимувати емпіричний закон розподілу величини $G_{TЧ}$ у вигляді гістограми за допомогою сімейства кривих щільностей ймовірностей Пірсона, не близьких до нормального розподілу, а саме бета-щільностей.

Однак, таких досліджень досі не виконувалось, тому отримання параметрів бета-розподілу величини $G_{TЧ}$, визначеної за відомою формулою перерахунку з урахуванням точності приладів, покази яких нелінійно впливають на досліджувану величину, для деяких особливих режимів роботи ПДВЗ, є актуальним науково-технічним задачами, що мають наукову новизну та практичну цінність.

Кількісні та якісні результати їх вирішення придатні для створення методики зниження методологічної похибки визначення величини $G_{TЧ}$ й створення переліку відповідних рекомендацій.

Метою даного дослідження є отримання параметрів бета-щільності, що апроксимує емпіричний закон розподілу значень годинних масових викидів ТЧ з потоком ВГ ПДВЗ, отриманих непрямыми вимірюваннями, з урахуванням точності прямих вимірювань їх складових, що чинять нелінійний вплив.

Об'єктом даного дослідження є закон розподілу значень годинних масових викидів ТЧ з потоком ВГ ПДВЗ. Предметом даного дослідження є параметри бета-щільності, що апроксимує об'єкт дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні пункти.

1. Аналіз науково-технічної літератури за темою дослідження; математичного апарату та особливостей застосування формули перерахунку Парсаданова; конструкції та особливостей роботи димомірів та газоаналізаторів, а також їх похибок вимірювання; математичного апарату сімей-

ства кривих Пірсона.

2. Отримання вихідних даних для отримання параметрів бета-розподілу за даними стендових моторних випробувань автотракторного дизеля 2Ч10,5/12.

3. Здійснення розрахункового оцінювання значень параметрів бета-щільності для апроксимації значень величини $G_{ТЧ}$ у функції коефіцієнту послаблення світлового потоку та об'ємної концентрації незгорілих вуглеводнів у ВГ за умови розподілу його значень за нормальним законом у межах паспортної точності вимірювань димоміру.

4. Аналіз отриманих результатів, винесення висновків, планування напрямків подальших досліджень.

Під час виконання даної наукової роботи використано наступні *методи дослідження*: аналіз науково-технічної літератури з 16 джерел [1, 5, 9, 16, 22, 23, 38, 61, 62, 68, 85, 94 – 98], методику аналізу даних моторних стендових випробувань [22, 16], методику застосування формули перерахунку Парсаданова [5], математичний апарат бета-розподілу [98], метод чисельних розрахункових досліджень із застосуванням програм, написаних мовою Borland Pascal 7.0.

Наукова новизна результатів дослідження складає наступні пункти.

1. Вперше запропоновано для описання емпіричного закону розподілу значень величини годинних масових викидів ТЧ з потоком ВГ ПДВЗ, отриманих за формулами перерахунку, з урахуванням нелінійного впливу на них паспортної точності димоміра та газоаналізатора, що розподіляється за нормальним законом, використовувати математичний апарат системи кривих Пірсона.

2. Вперше отримано залежності параметрів бета-розподілу значень величини годинних масових викидів ТЧ з потоком ВГ ПДВЗ від кількості вихідних даних у виборці для основних точок поля його робочих режимів.

Результати виконаного дослідження вирізняються наступними пунктами *практичної цінності*.

1. Отримані параметри бета-розподілу значень величини годинних масових викидів ТЧ з потоком ВГ ПДВЗ як функції показів димоміра та газоаналізатора з урахуванням їх паспортної точності придатні для побудови уточненої методики оцінювання методологічної похибки визначення такої величини за умови малої кількості вихідних даних у виборці при автоматизації процесу вимірювань та ранжування за цим принципом відомих формул перерахунку.

2. Отримані залежності параметрів бета-розподілу значень величини годинних масових викидів ТЧ поршневого ДВЗ від кількості вихідних даних у виборці для основних точок області робочих режимів ПДВЗ дозволяють обґрунтувати вибір мінімальної кількості вимірювань димності та токсичності ВГ на його стаціонарному режимі роботи за умови автоматизації процесу вимірювання.

3. Створений програмний продукт у середовищі Borland Pascal придатний для подальших розрахункових досліджень.

3.3.2. Аналіз математичного апарату та особливостей застосування формули перерахунку Парсаданова

Відомими є декілька формул перерахунку значень показників димності потоку ВГ ПДВЗ у значення масового викиду ТЧ у потоці його ВГ, проте лише формула проф. І.В. Парсаданова (НТУ «ХПІ») враховує також об'ємну концентрацію незгорілих вуглеводнів моторного палива у потоці ВГ [5, 94 – 96].

Така формула перерахунку після деяких перетворень має вид, описаний формулами (3.3.1) – (3.3.3).

$$G_{ТЧ} = (a \cdot N_D + b \cdot N_D^2 + c \cdot C_{СН} + d \cdot C_{СН}^2) \cdot k, \text{ кг/год} \quad (3.3.1)$$

$$a = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(год}\cdot\%), \quad b = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ кг/(год}\cdot\%^2), \\ c = 0,45 \cdot f, \text{ кг}\cdot\text{млн/год}, \quad d = 0,33 \cdot f^2 \text{ кг}\cdot\text{млн}^2\text{/год},$$

$$f = \frac{4,78 \cdot 10^{-3} \cdot (G_{ПОВ} + G_{ПАЛ})}{0,7734 \cdot G_{ПОВ} + 0,7239 \cdot G_{ПАЛ}}, \quad (3.3.2)$$

$$k = 0,001 \cdot (0,7734 \cdot G_{ПОВ} + 0,7239 \cdot G_{ПАЛ}), \text{ кг/год}. \quad (3.3.3)$$

З формули (3.3.1) видно, що величини коефіцієнту послаблення світлового потоку N_D (у %) як показника димності ВГ та об'ємної концентрації незгорілих вуглеводнів у потоці ВГ $C_{СН}$ (у млн⁻¹ чи ррт) як показник токсичності ВГ, чинять нелінійний вплив на значення масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ $G_{ТЧ}$ – а саме, входять у формулу перерахунку як у першому, так і у другому ступені.

Досвід раніше здійснених досліджень показує [XX – XX], що у такому випадку наявна рознормалізація закону розподілу значень величини $G_{ТЧ}$ як результату репрямого вимірювання навіть за умови нормальності закону розподілу величин впливаючих факторів як результатів прямих вимірювань у межах паспортної точності засобів вимірювальної техніки.

Здійснено розрахункове дослідження впливу значень величин N_D і $C_{СН}$ на значення величини $G_{ТЧ}$ за формулою (3.3.1). При цьому величина N_D варіювалась у всьому можливому діапазоні її зміни – від 0 до 100 % з кроком 5 %, а величина $C_{СН}$ варіювалась у межах від 0 до 5000 ррт з кроком 10 ррт, при чому у стендових моторних випробуваннях автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 не отримано значень величини $C_{СН}$, більших за 250 ррт не зафіксовано.

На рис. 3.3.1 наведено сімейство ізоліній залежності величини $G_{ТЧ}$ від величини N_D , отриманих за формулою (3.3.1) за постійних значень величини $C_{СН}$.

На рис. 3.3.2 наведено сімейство ізоліній залежності величини $G_{ТЧ}$ від величини $C_{СН}$, отриманих за формулою (3.3.1) за постійних значень величини N_D .

На рис. 3.3.1 та 3.3.2 видно, що величина N_D чинить значно суттєвіший нелінійний вплив на величину $G_{ТЧ}$, аніж величина $C_{СН}$.

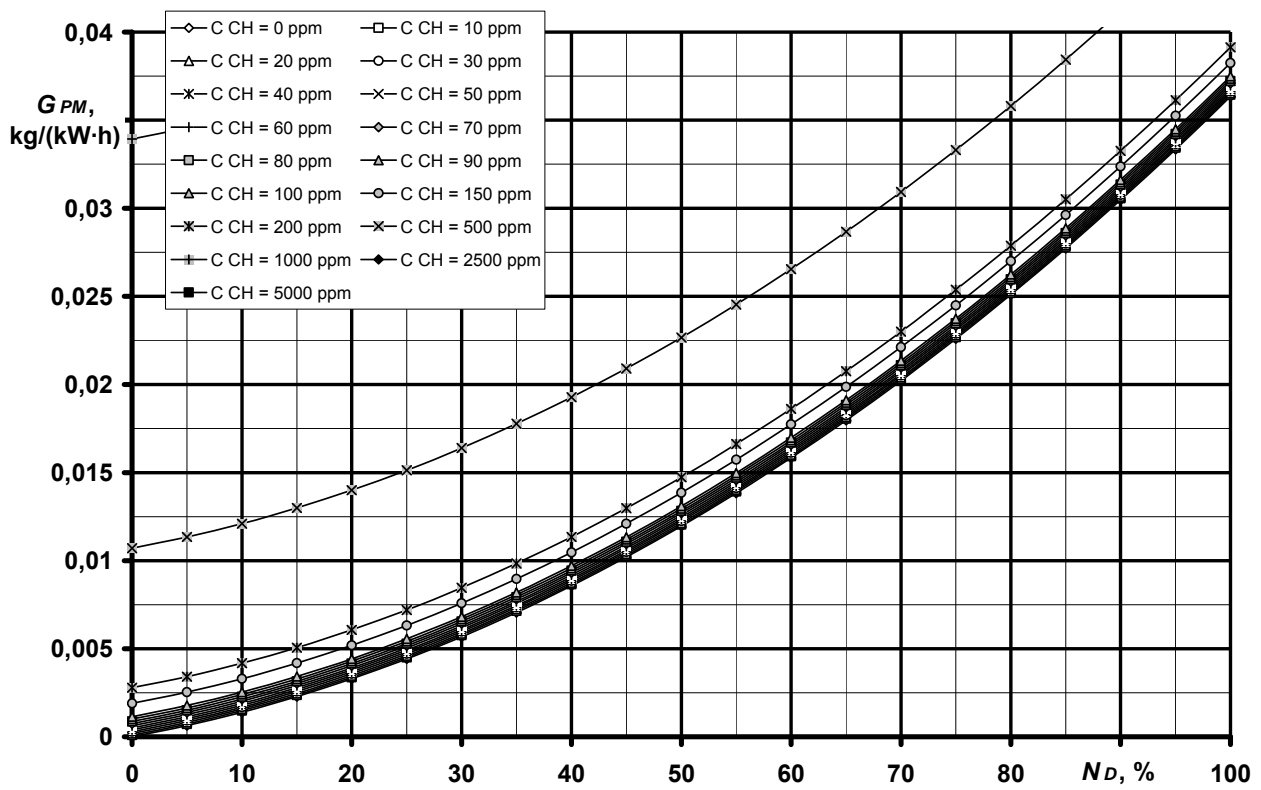


Рис. 3.3.1 – Ізолінії залежності величини $G_{ТЧ}$ від величини N_D , отриманих за формулою (3.3.1) за постійних значень величини C_{CH}

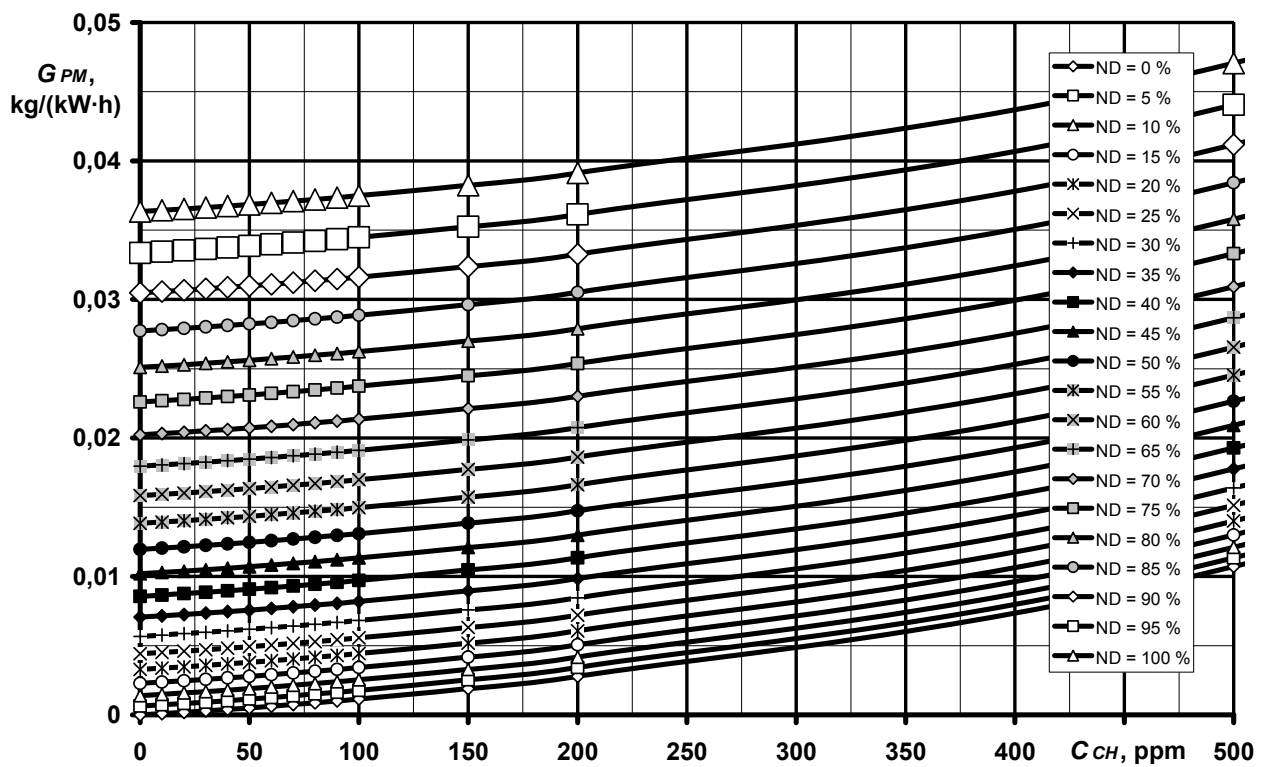


Рис. 3.3.2 – Ізолінії залежності величини $G_{ТЧ}$ від величини C_{CH} , отриманих за формулою (3.3.1) за постійних значень величини N_D

3.3.3. Аналіз конструкції та особливостей роботи димомірів і багатокомпонентних газоаналізаторів та їх похибок вимірювання

Моторний випробувальний стенд відділу водневої енергетики ІПМаш НАН України, на якому отримано результати досліджень [9, 23], встановлено автотракторний дизель 2410,5/12 [38] та комплекс ЗВТ, що включає п'ятикомпонентний газоаналізатор АВТОТЕСТ-02.03.П та димомір ИНФРАКАР-Д, технічні характеристики цих приладів наведено у документах [61, 62] і зведено до табл. 3.3.1.

Зовнішній вид димоміра ИНФРАКАР-Д подано на рис. 3.3.3, а п'ятикомпонентного газоаналізатора АВТОТЕСТ-02.03.П – на рис. 3.3.4.

На рис. 3.3.5 наведено зовнішній вигляд частковопоточного тунелю компанії AVL та його тримача тефлонових фільтрів.



Рис. 3.3.3 – Димомір ИНФРАКАР-Д [61]



Рисунок 3.3.4 – Газоаналізатор п'ятикомпонентний АВТОТЕСТ-02.03.П [62]

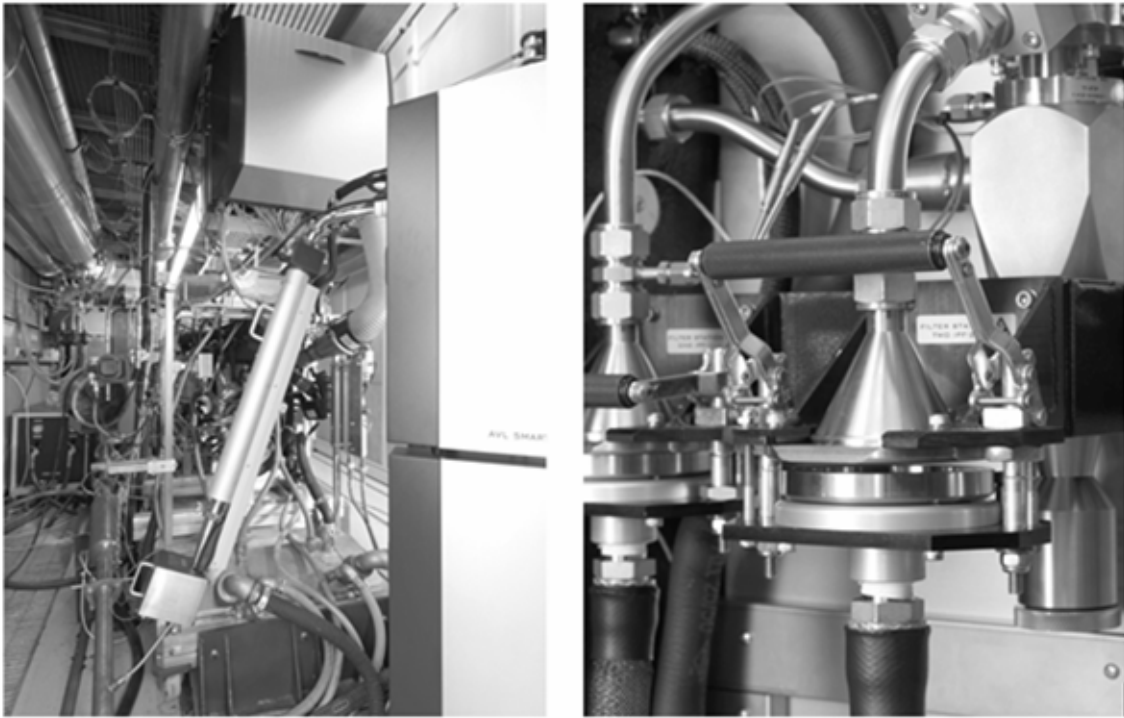


Рис. 3.3.5 – зовнішній вигляд частковопоточного тунелю компанії AVL та його тримача тефлонових фільтрів

Таблиця 3.3.1 – Технічні характеристики засобів вимірювальної техніки.
Технічні характеристики димоміру ІНФРАКАР-Д
модель Д1-3.01/.02 ЛТК [61]

Ефективна оптична база (L)	0,43 м
Коефіцієнт поглинання світла (K)	$0 \dots \infty \text{ м}^{-1}$
Коефіцієнт послаблення світлового потоку (N)	0 – 100 %
Границі допустимої похибки, приведеної до верхньої границі вимірювання величини K / величини N	$\pm 0,05$ % при $K = 1,6 \dots 1,8 \text{ м}^{-1}$ / ± 1 %
Вимірювання температури моторного мастила / діапазон	так / 20...100 °C
Вимірювання частоти обертання колінчастого вала / діапазон	так / 0...6000 об/хв
Границі допустимої похибки, приведеної до верхньої границі вимірювання температури мастила / частоти обертання	$\pm 2,5$ % / $\pm 2,5$ %
Автовимикання проб за підстройки нуля / робота з ЛТК та мотор тестерами / зв'язок з персональним комп'ютером по RS-232	так / так / так
Час прогріву робочої камери при 20 °C	не більше 10 хв.
Напруга живлення / споживана потужність	12 та 220 В / Не більше 40 Вт
Середнє напрацювання до відмови / термін служби	10000 год / 10 років
Маса оптичного блоку / пульта управління	6 кг / 0,5 кг
Габарити оптичного блоку / пульта управління (Ш×Г×В)	355×220×220 мм / 210×110×40 мм

Таблиця 3.3.2 – Технічні характеристики засобів вимірювальної техніки.
Автомобільний 5-ти компонентний газоаналізатор Автотест – 02.03.П [62]

Діапазон вимірювання вмісту вуглеводнів CH / оксидів азоту NO_x , млн ⁻¹	0 – 2000 / 0 – 5000
Діапазон вимірювання вмісту CO / діоксиду вуглецю CO_2 / кисню O_2 , %	0 – 5 % / 0 – 16 % / 0 – 21 %
Границі допустимої похибки CH . Абсолютна / відносна похибка	±12 млн ⁻¹ / ±5 %
Границі допустимої похибки CO . Абсолютна / відносна похибка	±0,06 % / ±4 %
Границі допустимої похибки CO_2 . Абсолютна / відносна похибка	±0,5 / ±4 %
Границі допустимої похибки O_2 . Абсолютна / відносна похибка	±0,1 / ±4 %
Границі допустимої похибки NO_x . Абсолютна / відносна похибка	±50 млн ⁻¹ / ±5 %
Діапазон вимірювання λ -параметра / частоти обертання КВ	0,50 – 2,00 / 0 – 8000 об/хв
Вимірювання температури мастила	20 – 125 °С
Витрата аналізованого газу, не менше	60 л/год
Час встановлення показів / робочого режиму, не більше	60 с / 30 хв
Електроживлення через БП від мережі змінного струму	220 ± 22 В
Електроживлення від мережі постійного струму (бортової мережі автомобіля)	12,6 ± 2 В
Потужність споживана, не більше / Діапазон робочих температур	25 Вт / 0 – 40 °С
Автоматична евакуація конденсату / автоматичне відключ. проби / порт RS- 232	так / так / так
Датчик компенсації змін атмосферного тиску / Робота в складі ЛТК – МЕТА	немає / немає
Робота зі спеціалізованим ПЗ «АВТОТЕСТ» / Робота з ЛТК і мотортестером	так / так
Середній термін служби / середнє напрацювання на відмову, не менше	4 років / 10000 год
Габаритні розміри (Ш×Г×В) / Маса, не більше	360x170x350 мм / 5,5 кг

3.3.4. Система кривих Пірсона

В математичні статистиці проводять апроксимацію на основі типових розподілів, до яких можна віднести нормальний, логарифмічно-нормальний, експоненціальний, Вейбулла, гамма розподіли тощо. Перевага застосування типових розподілів складається в їхній гарній вивченості та можливості отримання обґрунтованих, незміщених та відносно високо-ефективних оцінок параметрів. Однак вказані вище типові закони не мають необхідного різноманіття форм, тому їхнє застосування не дає необхідної спільності представлення випадкових величин.

Моменти розподілу випадкової величини не характеризують його повністю, але вони визначають його однозначно за деяких умов, котрі виконуються майже для усіх розподілів, які використовуються на практиці.

Під час вирішення задач обробки експериментальних даних знання моментів еквівалентно знанню функції розподілу та збіг значень перших моментів двох розподілів говорить про їхню приблизну однаковість.

Не знаючи точно вигляд функції розподілу, але, знайшовши необхідні перші моменти, можна підібрати інший розподіл з таким ж першими моментами.

Практично результати такої апроксимації вважатимуться задовільними за умови збігу перших чотирьох моментів.

Вважається [97, 98], що довільну невід'ємну функцію $f(y) \geq 0$, яка задовольняє умовам нормування $\int_{-\infty}^{\infty} f(y) dy = 1$, можна розглядати як щільність імовірності $P(y)$ деякої випадкової величини. Різноманітний характер щільностей імовірності $P(y)$ дає система кривих Пірсона, яка задається диференціальним рівнянням

$$\frac{dP(y)}{dy} = \frac{y - a}{b_0 + b_1 \cdot y + b_2 \cdot y^2} \cdot P(y), \quad (3.3.4)$$

в якому коефіцієнти a і b_i , $i = 0,1,2$, повністю задають систему розподілів. Розв'язання цього рівняння записується в загальному вигляді

$$P(y) = C \cdot \exp\left(\int \frac{y - a}{b_0 + b_1 \cdot y + b_2 \cdot y^2} \cdot dy\right). \quad (3.3.5)$$

Проводячи рекурентні перетворення, визначають старші моменти через молодші, що дозволяє визначити постійні a і b_i через вибіркові оцінки центральних моментів розподілу та привести до системи рівнянь (3.3.6).

В загальному випадку розподіли Пірсона визначаються чотирма моментами \tilde{m}_1 , $\tilde{\mu}_2$, $\tilde{\mu}_3$ і $\tilde{\mu}_4$. Рішення цієї системи зведено у табл. 3.3.3.

$$\begin{cases} -a + b_1 = 0 \\ b_0 + 3 \cdot b_2 \cdot \tilde{\mu}_2 = -\tilde{\mu}_2 \\ -a \cdot \tilde{\mu}_2 + 3 \cdot b_1 \cdot \tilde{\mu}_2 + 4 \cdot b_2 \cdot \tilde{\mu}_3 = -\tilde{\mu}_3 \\ -a \cdot \tilde{\mu}_3 + 3 \cdot b_0 \cdot \tilde{\mu}_2 + 4 \cdot b_1 \cdot \tilde{\mu}_3 + 5 \cdot b_2 \cdot \tilde{\mu}_4 = -\tilde{\mu}_4 \end{cases} \quad (3.3.6)$$

Відомо, що характер кривої може бути різним залежно від коренів рівняння $b_0 + b_1 y + b_2 y^2 = 0$.

Позначаючи корні цього рівняння через y_1 та y_2 маємо:

$$y_{1,2} = -\frac{b_1}{2 \cdot b_2} \cdot \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{1}{K}} \right), \quad K = \frac{b_1^2}{4 \cdot b_0 \cdot b_2}. \quad (3.3.7)$$

Для визначеності знаки обираються таким чином, що $y_1 < y_2$.

Значення коренів залежні від величини K .

Якщо $K < 0$, то корені дійсні та мають різні знаки (тип I розподілу за класифікацією Пірсона).

При $K > 1$ корені дійсні та мають однакові знаки (тип VI розподілу).

При $0 < K < 1$ корені комплексні (тип IV розподілу).

Для усіх варіантів розрахунку $y_1, y_2 \in \text{Re}$, $y_1 > 0, y_2 < 0$, $K < 0$, що є однозначною та вичерпною підставою вважати емпіричний розподіл величини G_{PM} таким, який можливо апроксимувати кривою Пірсона з щільністю I типу, тобто бета-розподілом.

Таблиця 3.3.3 – Коефіцієнти для визначення типу розподілу

$d = 10 \cdot \tilde{\mu}_2 \cdot \tilde{\mu}_4 - 18 \cdot \tilde{\mu}_2^3 - 12 \cdot \tilde{\mu}_3^2$	
$c_0 = -\tilde{\mu}_2 \cdot (4 \cdot \tilde{\mu}_2 \cdot \tilde{\mu}_4 - 3 \cdot \tilde{\mu}_3^2)$	$b_0 = c_0 / d$
$c_1 = -\tilde{\mu}_3 \cdot (\tilde{\mu}_4 + 3 \cdot \tilde{\mu}_2^2)$	$b_1 = c_1 / d, a = b_1$
$c_2 = -2 \cdot \tilde{\mu}_2 \cdot \tilde{\mu}_4 + 6 \cdot \tilde{\mu}_2^3 + 3 \cdot \tilde{\mu}_3^2$	$b_2 = c_2 / d$

Тип I розподілу за класифікацією Пірсона є бета-розподілом, який можна записати у різних виглядах, але звичним є запис у формі:

$$f(y) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p) \cdot \Gamma(q)} \cdot y^{p-1} \cdot (1-y)^{q-1}, \quad \text{при } 0 \leq y \leq 1. \quad (3.3.8)$$

Стандартний бета-розподіл зосереджений на відрізку від 0 до 1.

Шляхом лінійних перетворень бета-величину можна перетворити так, що вона буде приймати значення на будь-якому інтервалі.

Тип VI розподілу є бета-розподілом II роду

$$f(y) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p) \cdot \Gamma(q)} \cdot \frac{y^{p-1}}{(1+y)^{p+q}}, \quad 0 \leq y < \infty. \quad (3.3.9)$$

Про тип IV розподілу нічого однозначно сказати не можна, існують лише окремі випадки цього розподілу.

3.3.5. Методика визначення параметрів бета-розподілу

Узагальнений бета-розподіл описує розподіл випадкової величини $z = \alpha + (\beta - \alpha) \cdot y$, що є лінійною функцією випадкової величини y , яка має бета-розподіл I типу з параметрами p, q і розподілена в інтервалі $\alpha \leq y \leq \beta$.

Справедливе й зворотне – якщо випадкова величина z має узагальнений бета-розподіл з вказаними параметрами, то випадкова величина $y = (z - \alpha) / (\beta - \alpha)$ має бета-розподіл I типу з параметрами p, q [101].

Переходячи до змінної $G_{TЧ}$, яка змінюється в інтервалі значень $G_{TЧ\min} \leq G_{TЧ} \leq G_{TЧ\max}$ (це легко визначається з аналізу емпіричних даних), запишемо щільність ймовірностей формулою (3.3.10), початкові моменти – формулою (3.3.11), а центральні – формулою (3.3.12).

$$f(G_{TЧ}) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p) \cdot \Gamma(q)} \cdot \frac{(G_{TЧ} - G_{TЧ\min})^{p-1} \cdot (G_{TЧ\max} - G_{TЧ})^{q-1}}{(G_{TЧ\max} - G_{TЧ\min})^{p+q-1}}, \quad (3.3.10)$$

$$m_n(p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)} \cdot \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot (G_{TЧ\max} - G_{TЧ\min})^k \cdot G_{TЧ\min}^{n-k} \cdot \frac{\Gamma(p+k)}{\Gamma(p+q+k)}, \quad (3.3.11)$$

$$\mu_n(p, q) = (G_{TЧ\max} - G_{TЧ\min})^n \cdot \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)} \cdot \sum_{k=0}^n (-1)^k \cdot C_n^k \cdot \left(\frac{p}{p+q}\right)^k \cdot \frac{\Gamma(p+n-k)}{\Gamma(p+q+n-k)}. \quad (3.3.12)$$

В цих виразах $C_n^k = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$, $k \leq n$ – біноміальні коефіцієнти,

$\Gamma(\bullet)$ – гамма-функція, яка за визначенням [19]

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} \cdot e^{-t} \cdot dt, \quad (\operatorname{Re} z > 0). \quad (3.3.13)$$

Для цілого аргументу обчислення гамма-функції пов'язано з обчисленням факторіалу, але для загального випадку необхідно використовувати наближення, наприклад, формулу Стірлінга, або інші наближення через неперервний дріб – див. формулу (3.3.14). Це забезпечує цілком достатню для досліджень точність.

$$\Gamma(z) \approx e^{-z} \cdot z^{z-\frac{1}{2}} \cdot (2\pi)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[1 + \frac{1}{12 \cdot z} + \frac{1}{288 \cdot z^2} - \frac{139}{51840z^3} - \frac{571}{2488320 \cdot z^4} + \frac{163879}{209018880 \cdot z^5} + \frac{5246819}{75246796800 \cdot z^6} \right]. \quad (3.3.14)$$

Для неперервних розподілів справедливі наступні співвідношення між початковими та центральними моментами [98], що також можна використати при розрахунках:

$$m_n = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot \mu_k \cdot m_1^{n-k}, \quad \mu_n = \sum_{k=0}^n (-1)^{n-k} \cdot C_n^k \cdot m_k \cdot m_1^{n-k}, \quad (3.3.15)$$

що для моментів до 4-го включно дає вирази, зведені в табл. 3.3.4.

В усіх розрахунках кривих Пірсона потрібна висока точність обчислень (необхідно утримувати до 8÷10 знаків після коми), що пояснюється мультиплікативною схемою нагромадження похибок у степеневих членах

Таблиця 3.3.4 – Моменти розподілу

Порядок моменту	Початкові моменти	Центральні моменти
0	$m_0 = 1$ (за визначенням)	$\mu_0 = 1$ (за визначенням)
1	m_1 (визначається)	$\mu_1 = 0$
2	$m_2 = m_1^2 + \mu_2$	$\mu_2 = m_2 - m_1^2$
3	$m_3 = m_1^3 + 3 \cdot \mu_2 \cdot m_1 + \mu_3$	$\mu_3 = m_3 - 3 \cdot m_2 \cdot m_1 + 2 \cdot m_1^3$
4 (початковий)	$m_4 = m_1^4 + 6 \cdot \mu_2 \cdot m_1^2 + 4 \cdot \mu_3 \cdot m_1 + \mu_4$	
4 (центральний)	$\mu_4 = m_4 - 4 \cdot m_3 \cdot m_1 + 6 \cdot m_2 \cdot m_1^2 - 3 \cdot m_1^4$	

Для узагальненого бета-розподілу математичне очікування $m_1(p, q)$, дисперсія $D(p, q)$, коефіцієнти асиметрії Sk й ексцесу Ex мають вигляд:

$$m_1(p, q) = \frac{G_{TЧ\min} \cdot q + G_{TЧ\max} \cdot p}{p + q}, \quad (3.3.16)$$

$$D(p, q) = \frac{(G_{TЧ\max} - G_{TЧ\min})^2 \cdot p \cdot q}{(p + q)^2 \cdot (p + q + 1)}, \quad (3.3.17)$$

$$Sk = \frac{2 \cdot (q - p)}{p + q + 2} \cdot \sqrt{\frac{p + q + 1}{p \cdot q}}, \quad (3.3.18)$$

$$Ex = \frac{6 \cdot ((p - q)^2 \cdot (p + q + 1) - p \cdot q \cdot (p + q + 2))}{p \cdot q \cdot (p + q + 2) \cdot (p + q + 3)}. \quad (3.3.19)$$

Замінюючи $m_1(p, q)$ і $D(p, q)$ на відповідні вибіркові оцінки \tilde{m}_1 і \tilde{S}^2 (визначені за формулами з [97, 101]), скористуємось співвідношеннями для визначення параметрів розподілу (p, q)

$$p = \frac{\tilde{m}_1 - G_{TЧ\min}}{G_{TЧ\max} - G_{TЧ\min}} \cdot \left[\frac{(\tilde{m}_1 - G_{TЧ\min}) \cdot (G_{TЧ\max} - \tilde{m}_1)}{\tilde{S}^2} - 1 \right], \quad (3.3.20)$$

$$q = \frac{G_{TЧ\max} - \tilde{m}_1}{G_{TЧ\max} - G_{TЧ\min}} \cdot \left[\frac{(\tilde{m}_1 - G_{TЧ\min}) \cdot (G_{TЧ\max} - \tilde{m}_1)}{\tilde{S}^2} - 1 \right]. \quad (3.3.21)$$

Ці вирази враховують моменти 1-го та 2-го порядків, що є цілком природним, але можна визначати параметри (p, q) за умов збігу 1-го та 3-го або 4-го початкових моментів.

Рівняння, які необхідно використати для пошуку (p, q) , є нелінійними, тому рішення системи нелінійних рівнянь ми отримали наближеними з точністю порядку 10^{-8} [99]. Нові параметри позначаємо p^* , q^* .

Для визначення форми розподілу, для використання критеріїв згоди тощо, для зіставлення гіпотез про форму розподілу вибірка має бути представленою у вигляді гістограми, що складається з m_{CT} стовпчиків певної довжини $\Delta G_{TЧ}$.

Гістограми дозволяють наочно продемонструвати розподіл значень змінних за інтервалами групування, тобто як часто змінні приймають значення з різних інтервалів.

Загальноприйнятним є використання інтервалів однакової довжини. В літературі зі статистичної обробки експериментальних даних [98 – 101] приведено конкретні рекомендації стосовно вибору кількості m_{CT} інтервалів групування, які істотно відрізняються між собою.

Згідно до рекомендацій нами використано формулу Старджеса [98 – 101]:

$$m_{cm} = \log_2 N + 1 = 3,322 \cdot \lg N + 1. \quad (3.3.22)$$

Для отримання моментів розподілу вищих порядків, тобто 3-го, 4-го і так далі, а також уточнення значень параметрів бета-розподілу p і q , у розрахунках застосовують похідну гамма-функції $\Gamma'(z)$ [98 – 101].

У дослідженні використано два способи визначення значення величини $\Gamma'(z)$:

– власне похідна з розкладання гама-функції у ряд за формулою Стірлінга [98] (див. формулу (3.3.14)) – формула (3.3.23);

– з використанням пси-функції (дігама-функції) ((див. формулу (3.3.24)), яка за визначенням є відношенням величин $\Gamma'(z)$ та $\Gamma(z)$ –

формула (3.3.25) [98], при цьому значення самої пси-функції отримується за асимптотичною формулою (3.3.26).

$$\Gamma_1'(z) \approx e^{-z} z^{z-\frac{1}{2}} (2\pi)^{\frac{1}{2}} \left[\left(1 + \frac{1}{12z} + \frac{1}{288z^2} - \frac{139}{51840z^3} - \frac{571}{2488320z^4} + \dots \right) \cdot \left(\ln z - \frac{1}{2z} \right) - \left(\frac{1}{12z^2} + \frac{1}{144z^3} - \frac{139}{17280z^4} - \frac{571}{622080z^5} + \dots \right) \right] \quad (3.3.23)$$

$$\Psi(z) = \frac{d[\ln(z)]}{dz} = \frac{\Gamma_1'(z)}{\Gamma_1(z)}, \quad (3.3.24)$$

$$\Gamma_2'(z) = \Psi(z) \cdot \Gamma(z), \quad (3.3.25)$$

$$\Psi(z) \approx \ln z - \frac{1}{2z} - \frac{1}{12z^2} + \frac{1}{120z^4} - \frac{1}{252z^6}. \quad (3.3.26)$$

Порівняння результатів застосування обох підходів зведено до табл. 3.3.5.

Таблиця 3.3.5 – Порівняння результатів застосування різних способів отримання похідної гама-функції

Варіант	$\Psi(1)$	$\Gamma_1'(1)$	$\Gamma_2' = \Psi(1)$
Примітка	-C (постійна Ейлера)	-	$\Gamma'(1) = 1$
Значення	-0,57721566490	-0,579128335	-0,57896825

3.3.6. Отримання вихідних даних

Для виконання розрахункового дослідження потрібні дані щодо величини математичного очікування масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та інструментальних похибок.

Перше отримано з використанням формули (3.3.1), при цьому використано дані стендових моторних випробувань цього дизеля, отримані з досліджень [9, 23], що зведені до табл. 3.3.6.

Друге отримано з технічної документації до димоміра [61] та багатоконпонентного газоаналізатора [62] та зведено до табл. 3.3.6.

Дослідження буде виконано для двох точок поля робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12:

– режим з максимальною димністю ВГ – це режим максимального крутного моменту з наступними координатами поля робочих режимів: $n_{кв} = 1200 \text{ хв}^{-1}$ та $M_{кр} = 110 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

– режим з максимальною концентрацією продуктів неповного згоряння палива у ВГ – режим номінальної потужності з наступними координатами поля робочих режимів: $n_{кв} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ та $M_{кр} = 95 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Таблиця 3.3.6 – Вихідні дані для розрахункового дослідження

Точка	$n_{ке}$, об/хв	$M_{КР}$, Н·м	$G_{ПОВ}$, кг/год	$G_{ПАЛ}$, кг/год	N_D , %	$C_{СН}$, ррм	Точність, %	
							N_D	$C_{СН}$
$M_{КРmax}$	1200	110	72,315	3,657	71,6	27	± 2,5	± 5,0
$N_{е ном}$	1800	95	109,218	4,3	38,9	72	± 2,5	± 5,0

3.3.7. Описання математичним апаратом системи кривих Пірсона емпіричного закону розподілу значень величини годинних масових викидів ТЧ дизелем 2Ч10,5/12 як функції паспортної точності димоміра та газоаналізатора

Для проведення досліджень, пов'язаних з апроксимацією емпіричних даних, необхідно отримати випадкові числа з заданим законом розподілу. В термінах математичної статистики останні є випадковою вибіркою обсягом N з генеральної сукупності, розподіленої за цим законом.

Механізм генерування випадкових чисел, який використовується в роботі, описано в [100]. За допомогою програмного задавача випадкових чисел **RANDOM** генерується реалізація випадкової величини r_i ($i = 1 \dots N$), розподіленої рівномірно в інтервалі $[0, 1]$, і має назву стандартної рівномірної послідовності.

Для нормального розподілу з нульовим математичним очікуванням ($m_u = 0,0$) і одиничною дисперсією ($\sigma_u = 1,0$) на основі двох послідовно узятих чисел $(r_1, r_2), (r_3, r_4), \dots, (r_{N-1}, r_N)$ (для N значень маємо $N/2$ пар чисел) одержуємо відповідно два числа $(u_1, u_2), (u_3, u_4), \dots, (u_{N-1}, u_N)$ нормально розподіленої випадкової величини r :

$$u_i = \sqrt{-2 \cdot \ln r_i} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot r_{i+1}), \quad u_{i+1} = \sqrt{-2 \cdot \ln r_i} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot r_{i+1}),$$

$$(i=1,3,\dots, N-1). \quad (3.3.27)$$

При одержанні реалізації досліджуваного параметру у вигляді нормальної випадкової величини з ненульовим математичним очікуванням m_{PAR} і стандартним відхиленням σ_{PAR} , відмінним від одиниці, використовується наступне співвідношення [100], за яким відбувається лінійне перетворення випадкової величини та нормальність не порушується:

$$X_i = m_{PAR} + u_i \cdot \sigma_{PAR}, \quad (i = 1 \dots N). \quad (3.3.28)$$

Для визначеності у роботі задавали обсяг вибірки N , який в будь-якому випадку буде обмеженим кількістю спостережень або дослідів (табл. 6). Згідно з формулою (19) були отримані точні значення, які з урахуванням унімодальності розподілу за рекомендаціями округлюються до найближчого більшого непарного числа.

Таблиця 3.3.7 – Залежність кількості інтервалів групування від обсягу вибірки

Обсяг вибірки випадкової величини	N						
	50	100	200	300	400	500	1000
Точне значення	6,643	7,644	8,644	9,230	9,644	9,966	10,966
Кількість інтервалів групування m_{CT}	7	9	9	11	11	11	11

В роботі розглянуто випадок, коли величина C_{CH} вважається постійною, а похибка визначення N_D вважається нормально розподіленою у межах зазначеної в табл. 3.3.6. точності.

Для N_D було проведено чисельне моделювання з наступними параметрами:

1) $m_{PAR} = 71,6 \%$; $\sigma_{PAR} = 0,01 \%$; з відповідними параметрами для точки M_{KPmax} ;

2) $m_{PAR} = 38,9 \%$; $\sigma_{PAR} = 0,01 \%$; з відповідними параметрами для точки $N_{e ном}$.

Розрахункові дані за формулами (3.3.1) – (3.3.3) для цих варіантів є такими:

1) $a = 2,3 \cdot 10^{-3}$ кг/(год·%), $b = 5,0 \cdot 10^{-5}$ кг/(год·%²), $c = 0,00279$ кг·млн/год, $d = 1,268 \cdot 10^{-5}$ кг·млн²/год, $f = 0,006199$, $k = 0,05858$ кг/год, $G_{TЧ} = 0,029617$;

2) $a = 2,3 \cdot 10^{-3}$ кг/(год·%), $b = 5,0 \cdot 10^{-5}$ кг/(год·%²), $c = 0,002788$ кг·млн/год, $d = 1,264 \cdot 10^{-5}$ кг·млн²/год, $f = 0,006196$, $k = 0,08758$ кг/год, $G_{TЧ} = 0,037781$.

Зважаючи на нелінійність залежності параметру $G_{TЧ}$ від N_D , формально за умови нормального розподілу похибки вимірювання останнього розподіл $G_{TЧ}$ має відрізнятись від нормального.

Але прийняття чи неприйняття гіпотези нормальності має бути підтверджено розрахунками коефіцієнтів асиметрії та ексцесу.

Вибіркові (залежні від обсягу вибірки) коефіцієнти асиметрії \tilde{Sk} та ексцесу \tilde{Ex} визначаються за формулами:

$$\tilde{Sk} = \frac{\tilde{\mu}_3}{\tilde{S}^3}, \quad \tilde{Ex} = \frac{\tilde{\mu}_4}{\tilde{S}^4} - 3. \quad (3.3.29)$$

Для нормального розподілу $Sk = 0$, тобто розподіл симетричний відносно математичного очікування. $Sk > 0$, якщо правий хвіст більш довгий порівняно з лівим, $Sk < 0$ у протилежному випадку.

Для нормального розподілу $Ex = 0$. $Ex > 0$, якщо пік розподілу умовно гострий, $Ex < 0$, якщо пік розподілу умовно гладкий, закруглений.

Для попереднього висновку про можливість апроксимації емпіричних даних нормальним розподілом при достатньо великому обсязі вибірки (порядку 10^3) проводиться обчислення вибіркових середньоквадратичних відхилень коефіцієнтів асиметрії (S_1) й ексцесу (S_2) [98]

$$S_1 = \sqrt{\frac{6 \cdot (N-2)}{(N+1) \cdot (N+3)}}, \quad S_2 = \sqrt{\frac{24 \cdot N \cdot (N-2) \cdot (N-3)}{(N+1)^2 \cdot (N+3) \cdot (N+5)}}. \quad (3.3.30)$$

Іноді рекомендується вказані коефіцієнти обчислювати за наступними формулами:

$$\begin{aligned} \tilde{S}k &= \frac{k_3}{\sqrt{k_2^3}}, \quad \tilde{E}x = \frac{k_4}{k_2^2} - 3, \quad \text{де } k_2 = \frac{\tilde{\mu}_2}{1 - \frac{1}{N}}, \quad k_3 = \frac{\tilde{\mu}_3}{\left(1 - \frac{1}{N}\right) \cdot \left(1 - \frac{2}{N}\right)}, \\ k_4 &= \frac{\tilde{\mu}_4}{\left(1 - \frac{2}{N+1}\right) \cdot \left(1 - \frac{2}{N}\right) \cdot \left(1 - \frac{3}{N}\right)} - \frac{3 \cdot \tilde{\mu}_2^2}{\left(1 - \frac{2}{N}\right) \cdot \left(1 - \frac{3}{N}\right)}. \end{aligned} \quad (3.3.31)$$

Якщо вибірковий розподіл є нормальним або близький до нормального, то обчислені за формулами (3.3.31) коефіцієнти $\tilde{S}k$ і $\tilde{E}x$ мають асимптотичне нормальні розподіли з нульовим математичним очікуванням та середньоквадратичними відхиленнями відповідно до формул (3.3.32).

Вважається, що якщо виконується умова $|\tilde{S}k| \leq 3S_1$, то розподіл симетричний. Якщо, при цьому, для коефіцієнту ексцесу виконується нерівність $|\tilde{E}x| \leq 5S_2$, розподіл можна вважати нормальним. Слід зазначити, що в літературі зустрічаються інші варіанти ($|\tilde{S}k| \leq 2S_1$, $|\tilde{E}x| \leq 2S_2$ тощо), що свідчить про неоднозначність застосування цього критерію нормальності розподілу.

$$S_1 = \sqrt{\frac{6 \cdot N \cdot (N-1)}{(N-2) \cdot (N+1) \cdot (N+3)}}, \quad S_2 = \sqrt{\frac{24 \cdot N \cdot (N-1)^2}{(N-3) \cdot (N-2) \cdot (N+3) \cdot (N+5)}}. \quad (3.3.32)$$

Поряд з аналізом «близькості» емпіричного розподілу до нормального з використанням коефіцієнтів асиметрії Sk та ексцесу Ex за гістограмою також застосовують наступні критерії [100]:

- критерій згоди Стюдента (хі-квадрат) – див. формулу (3.3.33);
- критерій у вигляді ентропійного коефіцієнту $K_{ЕНТР}$ – див. формулу (3.3.34).

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{m_{CT}} \frac{(r_j - N \cdot e_j)^2}{N \cdot e_j}, \quad (3.3.33)$$

$$K_{ЕНТР} = \frac{d_{\Gamma} \cdot N}{2 \cdot \tilde{S}} \cdot 10^X, \quad X = -\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^{m_{CT}} r_j \cdot \lg(r_j), \quad (3.3.34)$$

де d_{Γ} (або $\Delta G_{TЧ}$) – ширина стовпчика гістограми, N – обсяг вибірки (кількість вимірювань), \tilde{S} – середньоквадратичне відхилення, m_{CT} – число стовпчиків гістограми, r_j – число спостережень (кількість «влучань») у j -му стовпчику; e_j – площа під кривою розподілу.

Критерій хі-квадрат характеризує нормальність емпіричного закону розподілу лише якісно, оскільки за його значенням можливим є лише прийняття чи відкидання гіпотези про нормальність емпіричного закону розподілу досліджуваної величини.

Ентропійний коефіцієнт, на відміну від критерію хі-квадрат, характеризує нормальність емпіричного закону розподілу не лише лише якісно, а й кількісно, тобто за його значенням можливим є визначити ступінь наближення емпіричного закону розподілу досліджуваної величини до нормального.

Для нормального розподілу $K_{ЕНТР} = 2,066 \approx 2,07$, це є взагалі максимальним значенням для розподілів, мінімальне значення $K_{ЕНТР} = 1,11$ для арксинусоїдального, решта знаходиться у вказаних границях.

За цим критерієм будь-який розподіл, відмінний від нормального, буде мати менший за 2,066 ентропійний коефіцієнт. Це стосується безперервних розподілів, для гістограми можна очікувати деяке перевищення у величині ентропійного коефіцієнта.

3.3.8. Визначення залежності параметрів бета-розподілу значень величини годинних масових викидів ТЧ дизелем 2Ч10,5/12 від кількості вихідних даних у виборці

Розрахункове дослідження здійснено у два етапи з різним ступенем наближення:

А. Попередній, коли для деяких варіантів обсягу вибірки вихідних даних – $N = 50, 100, 200, 300, 400, 500$ і 1000 – здійснено по 2 – 4 незалежних моделювання – для виявлення загальних тенденцій досліджуваних явищ та процесів;

В. Уточнений, коли для усіх варіантів обсягу вибірки вихідних даних – $N = 50, 100, 200, 300, 400, 500, 700$ і 1000 – здійснено по 15 незалежних моделювань – для отримання досліджуваних залежностей у кінцевому виді.

У цьому розділі монографії наведено результати здійснення обох етапів.

Розрахункове дослідження здійснено у програмному продукті Applied Beta-Distribution, розробленому авторами у програмному середовищі Borland Pascal 7.0.

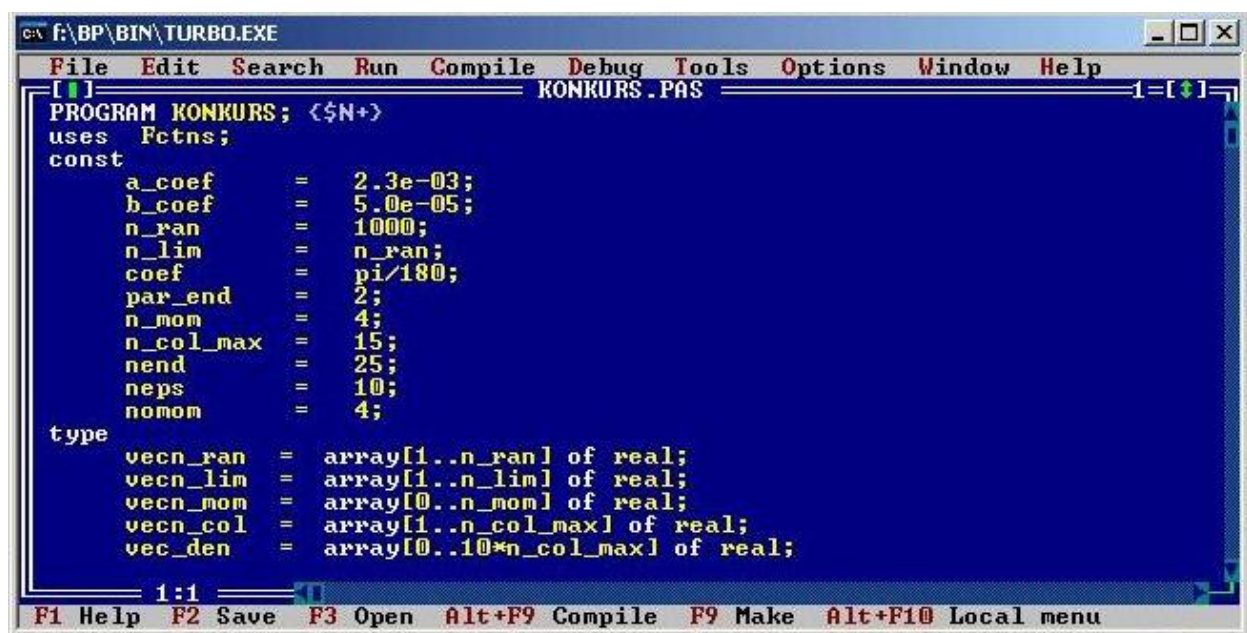
Програмний продукт Applied Beta-Distribution розроблено авторами дослідження і використовувався у попередніх дослідженнях для описання математичним апаратом бета-розподілу емпіричних даних щодо інших об'єктів – геометричних характеристик головного перерізу тіл кочення кулькових підшипників та геометричних характеристик траєкторії руху пожежного суцільного гідравлічного струменя з неідеального текучого середовища у функції показників точності їх виготовлення [8, 151 – 155].

Програмний продукт для здійснення даного дослідження вдосконалено за вищенаведеними принципами, а саме:

- у алгоритм розрахунку введено додатковий математичний апарат для визначення значення похідної гама-функції з використанням пси-функції;

- у алгоритм розрахунку введено додатковий математичний апарат для визначення ступеня наближення закону емпіричного розподілу до нормального закону з використанням ентропійного коефіцієнту.

Робоче вікно програмного продукту наведено на рис. 3.3.6, вдосконалені частини програмного коду – на рис. 3.3.7 – 3.3.9, результати роботи програми – на рис. 3.3.10.



```
PROGRAM KONKURS; <$N+>
uses Fctns;
const
  a_coef      = 2.3e-03;
  b_coef      = 5.0e-05;
  n_ran       = 1000;
  n_lim       = n_ran;
  coef        = pi/180;
  par_end     = 2;
  n_mom       = 4;
  n_col_max   = 15;
  nend        = 25;
  neps        = 10;
  nomom       = 4;
type
  vecn_ran    = array[1..n_ran] of real;
  vecn_lim    = array[1..n_lim] of real;
  vecn_mom    = array[0..n_mom] of real;
  vecn_col    = array[1..n_col_max] of real;
  vec_den     = array[0..10*n_col_max] of real;
```

Рис. 3.3.6 – Робоче вікно програмного продукту Applied Beta-Distribution

```

F:\BP\BIN\TURBO.EXE
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window Help
FCTNS.PAS
function gampr(x1, x2, a, b, c:real):real;
const pi = 3.14159;
var
  cc : array[1..4] of real;
  z : real;

begin
  z:=a*x1+b*x2+c;
  cc[1]:=1.0/12.0;
  cc[2]:=1.0/288.0;
  cc[3]:=139.0/51840.0;
  cc[4]:=571.0/2488320.0;

  gampr:=exp(-z)*exp((z-0.5)*ln(z))*sqrt(2.0*pi)*
    (ln(z)-0.5/z)*(1.0+cc[1]/z+cc[2]/sqrt(z)-cc[3]/
    (z*sqrt(z))-cc[4]/sqrt(z*z))-(cc[1]/sqrt(z)+2.0*
    cc[2]/(z*sqrt(z))-3.0*cc[3]/sqrt(z*z)-4.0*cc[4]/
    (z*sqrt(z*z)));

end <gampr>;

function gamprnew(z:real):real;
1:1
F1 Help F2 Save F3 Open Alt+F9 Compile F9 Make Alt+F10 Local menu

```

Рис. 3.3.7 – Використання похідної гама-функції з формули Стірлінга у Applied Beta-Distribution

```

F:\BP\BIN\TURBO.EXE
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window Help
FCTNS.PAS
gamprnew:=exp(-z)*exp((z-0.5)*ln(z))*sqrt(2.0*pi)*
  (ln(z)-0.5/z)*(1.0+cc[1]/z+cc[2]/sqrt(z)-cc[3]/
  (z*sqrt(z))-cc[4]/sqrt(z*z))-(cc[1]/sqrt(z)+2.0*
  cc[2]/(z*sqrt(z))-3.0*cc[3]/sqrt(z*z)-4.0*cc[4]/
  (z*sqrt(z*z)));

end <gamprnew>;

function psi(a:real):real;
const pi = 3.14159;
begin
  psi:=ln(a)-1.0/(2.0*a)-1.0/(12.0*sqrt(a))+1.0/(120.0*sqrt(sqrt(a)))-
  1.0/(252.0*sqrt(a)*sqrt(a)*sqrt(a));
end <psi>;

end.
1:1
F1 Help F2 Save F3 Open Alt+F9 Compile F9 Make Alt+F10 Local menu

```

Рис. 3.3.8 – Отримання похідної гама-функції з використанням псі-функції за асимптотичною формулою у Applied Beta-Distribution

```

c:\f:\BP\BIN\TURBO.EXE
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window Help
KONKURS.PAS
1-[F1]

      dfdq2:=dfdq2+factor*
          exp(j*ln(par_max-par_min))*exp((i-j)*ln(par_min))*
          gamma(pqj)*psi(pqj)*gamma(pj)/sqr(gamma(pqj));
    end <j>;
    dfdp[i]:=dfdp1*(gamma(pden)*gamma(pq)*psi(pq)-
              gamma(pq)*gamma(pden)*psi(pden))/sqr(gamma(pden))+
              dfdp2*gamma(pq)/gamma(pden);
    dfdq[i]:=dfdq1*gamma(pq)*psi(pq)/gamma(pden)-
              dfdq2*gamma(pq)/gamma(pden);
  end <i>;

  J_11:=dfdp[1]; J_12:=dfdq[1];
  J_21:=dfdp[nomom]; J_22:=dfdq[nomom];
  DET_J:=J_11*J_22-J_12*J_21;
  J_1_11:= J_22/DET_J; J_1_12:=-J_12/DET_J;
  J_1_21:=-J_21/DET_J; J_1_22:= J_11/DET_J;

  pden:=pden-(J_1_11*FPQ[1]+J_1_12*FPQ[nomom]);
  qden:=qden-(J_1_21*FPQ[1]+J_1_22*FPQ[nomom]);
end <ieps>;
1:1
F1 Help F2 Save F3 Open Alt+F9 Compile F9 Make Alt+F10 Local menu

```

Рис. 3.3.9 – Введення ентропійного коефіцієнту у Applied Beta-Distribution

```

c:\f:\BP\BIN\TURBO.EXE
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window Help
E0100_13.TXT
2-[F1]

n_ran= 100      n_col= 9
ND_exp= 71.49083915 ND_var= 0.58198193 ND_sko= 0.76287740
as_ND= -0.11820809 ex_ND= -0.60528758
GTCH<ND>_exp= 0.02952265 GTCH<ND>_var= 0.00000018 GTCH<ND>_sko= 0
GTCH<ND>_min= 0.02852932 GTCH<ND>_max= 0.03053092

as_em= -0.10275627 ex_em= -0.55479430
sko_as_em1= 0.23774389 sko_ex_em1= 0.45474705
sko_as_em2= 0.24137978 sko_ex_em2= 0.47833113
c0= -0.00000000 c1= 0.00000000 c2= 0.00000000 d= 0.00000000
b0= -0.00000027 b1= 0.00003710 b2= 0.18042717 a= 0.00003710
kden= -0.00703448 xden1= 0.00112746 xden2= -0.00133311

pdenbase= 2.3003813 qdenbase= 2.3350013
as_pq= 0.01068879 ex_pq= -0.78573009

pden= 2.3316456 qden= 2.3667362
as_pq= 0.01064570 ex_pq= -0.77909151
KENTR= 1.9033159
1:1
F1 Help F2 Save F3 Open Alt+F9 Compile F9 Make Alt+F10 Local menu

```

Рис. 3.3.10 – Вікно результатів розрахунку у Applied Beta-Distribution

Результати здійснення етапу А.

А.1. Проведено дослідження для $N_D = m_{PAR} = 71,6 \%$; $\sigma_{PAR} = 0,01 \%$; з відповідними параметрами для точки $M_{KP\max}$. Отримані результати, які зведені до табл. 3.3.8 – 3.3.11.

Для усіх варіантів етапу А: для $N = 50$ було проведено 4 незалежних моделювання (№ 1 – 4); для $N = 100$ було проведено 2 незалежних моделювання (№ 1, 2); для $N = 200$ було проведено 2 незалежних моделювання (№ 1, 2); для $N = 1000$ було проведено 2 незалежних моделювання (№ 1, 2).

А.2. Проведено дослідження для $N_D = m_{PAR} = 38,9 \%$; $\sigma_{PAR} = 0,01 \%$; з відповідними параметрами для точки $N_{e\text{ ном}}$.

На рис. 3.3.11 – 3.3.16 наведені деякі варіанти розрахунків за етапами А.1 і А.2. На них видно, що для відносно малої вибірки $N = 50$ результати моделювання № 1 – 4 істотно відрізняються для різних моделювань. За характером для вибірок від $N = 50$ до $N = 1000$ всі емпіричні розподіли можна апроксимувати бета-розподілом. Для всіх рисунків етапу А: гістограма – емпіричний розподіл; суцільна крива – нормальний розподіл; пунктирна крива – β -розподіл.

Ентропійні коефіцієнти дорівнюють: для $N = 50$ відповідно для 1, – 4 моделювання 1,802; 1,831; 1,864; 1,804; для $N = 100$ для 1, 2 моделювання 1,894; 1,936; для $N = 200$ для 1, 2 моделювання 2,012; 2,047; для $N = 1000$ для 1, 2 моделювання 2,051; 2,103.

Таблиця 3.3.8 – Досліджувані параметри для вибірки $N = 50$

№	$G_{TЧ\min}$	$G_{TЧ\max}$	$\tilde{S}k$	$\tilde{E}x$	S_1	S_2
1	0,02891951	0,03046965	0,45322200	-0,25781864	0,32641734 / 0,33660071	0,59754514 / 0,66190837
2	0,02891991	0,03022309	-0,71151152	0,38231254		
3	0,02882750	0,03066533	-0,0791023	-0,54252520		
4	0,02875707	0,03053186	0,13170868	-0,61838129		

№	y_1	y_2	K	p/q	p^*/q^*
1	-0,00071184	0,00149653	-0,14450240	1,8606490 / 2,1651018	1,9018434 / 2,2130368
2	-0,00238214	0,00059132	-0,56919075	2,0954906 / 1,4570580	2,1582031 / 1,5006639
3	-0,00131405	0,00115260	-0,00430213	1,7522549 / 2,0704201	1,8016201 / 2,1287488
4	-0,00101312	0,00124052	-0,01028619	2,0954906 / 1,4570580	2,0954906 / 1,4570580

№	$Sk(p, q)$	$Ex(p, q)$	$Sk(p^*, q^*)$	$Ex(p^*, q^*)$	$K_{ЕНТР}$
1	0,11286711	-0,83740013	0,11220670	-0,82753788	1,899
2	-0,28080085	-0,81508968	-0,27872534	-0,80199252	1,802
3	0,12600050	-0,85891995	0,12508698	-0,84560917	1,849
4	0,04828565	-0,91866120	0,04798713	-0,90646924	1,860

Таблиця 3.3.9 – Досліджувані параметри для вибірки $N = 100$

№	$G_{TЧ\min}$	$G_{TЧ\max}$	$\tilde{S}k$	$\tilde{E}x$	S_1	S_2
1	0,02875218	0,03052909	0,10011083	-0,66285584	0,23774389	0,45474705
2	0,02848386	0,03048479	-0,02885812	-0,18594486	/ 0,24137978	/ 0,47833113

№	y_1	y_2	K	p/q	p^*/q^*
1	-0,00095690	0,00114642	-0,00818594	2,0724098 / 2,2547351	2,0969402 / 2,2814236
2	-0,00232063	0,00213853	-0,00167038	2,0954906 / 1,4570580	2,1582031 / 1,5006639

№	$Sk(p,q)$	$Ex(p,q)$	$Sk(p^*,q^*)$	$Ex(p^*,q^*)$	$K_{ЕНТР}$
1	0,11665210	-0,61387844	0,06133587	-0,80844150	1,916
2	-0,12012731	-0,73482716	-0,11973271	-0,72985421	1,885

Таблиця 3.3.10 – Досліджувані параметри для вибірки $N = 200$

№	$G_{TЧ\min}$	$G_{TЧ\max}$	$\tilde{S}k$	$\tilde{E}x$	S_1	S_2
1	0,02867647	0,03058972	0,06411678	-0,36929532	0,17063266	0,33370700
2	0,02861211	0,03070921	-0,02224597	-0,17412779	/ 0,17192480	/ 0,34220239

№	y_1	y_2	K	p/q	p^*/q^*
1	-0,00135141	0,00153659	-0,00412848	2,4378979 / 2,6852828	2,4525847 / 2,7014599
2	-0,00230703	0,00216147	-0,00106234	2,0954906 / 1,4570580	2,1582031 / 1,5006639

№	$Sk(p,q)$	$Ex(p,q)$	$Sk(p^*,q^*)$	$Ex(p^*,q^*)$	$K_{ЕНТР}$
1	0,06717557	-0,73271225	0,06705573	-0,72999719	2,037
2	0,01023884	-0,66016208	0,01021766	-0,65734287	2,066

Таблиця 3.3.11 – Досліджувані параметри для вибірки $N = 1000$

№	$G_{TЧ\min}$	$G_{TЧ\max}$	$\tilde{S}k$	$\tilde{E}x$	S_1	S_2
1	0,02833908	0,03085604	-0,06021571	-0,07631877	0,07722775	0,15376266
2	0,02836848	0,03084467	0,04247676	-0,20891472	/ 0,07734382	/ 0,15453425

№	y_1	y_2	K	p/q	p^*/q^*
1	-0,00386953	0,00299151	-0,01664940	4,3272104 / 4,4377357	4,3352495 / 4,4459801
2	-0,00206182	0,00230878	-0,00320296	3,6202955 / 3,8529891	3,6241881 / 3,8571319

№	$Sk(p,q)$	$Ex(p,q)$	$Sk(p^*,q^*)$	$Ex(p^*,q^*)$	$K_{ЕНТР}$
1	0,01464277	-0,5095915	0,01463385	-0,50902527	2,069
2	0,03828872	-0,57090672	0,03827492	-0,57057075	2,032

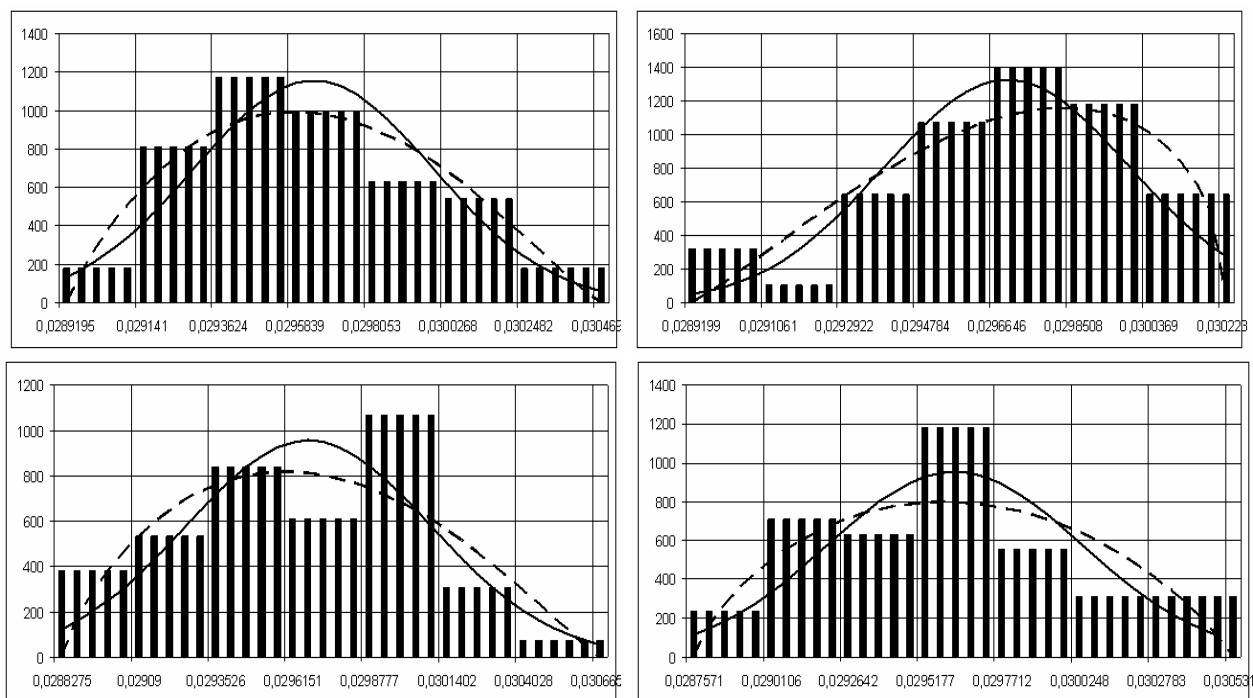


Рис. 3.3.11 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 50$ та для точки $M_{KP\max}$

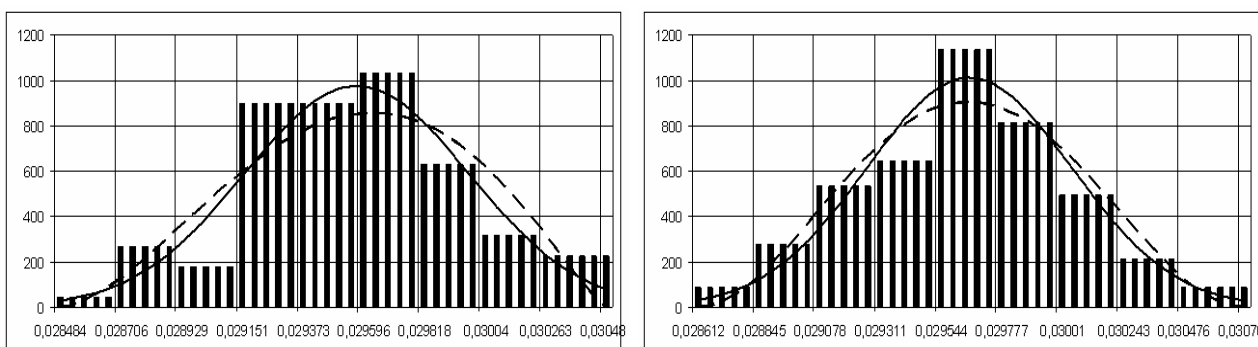


Рис. 3.3.12 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 100$ та 200 та для точки $M_{KP\max}$

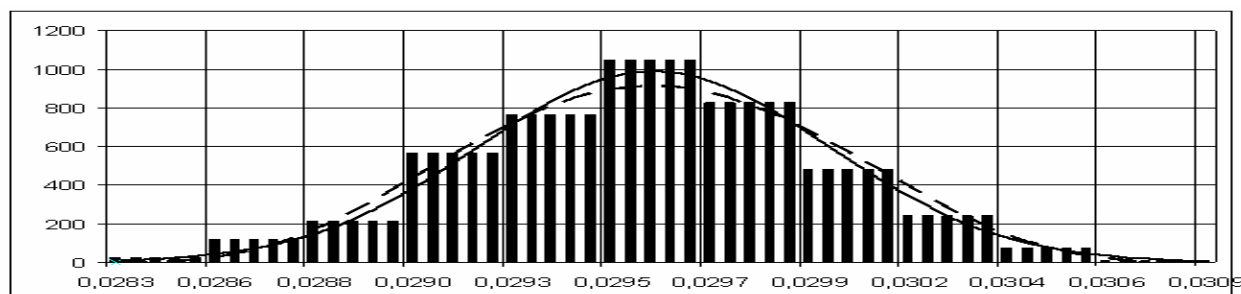


Рис. 3.3.13 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 1000$ та для точки $M_{KP\max}$

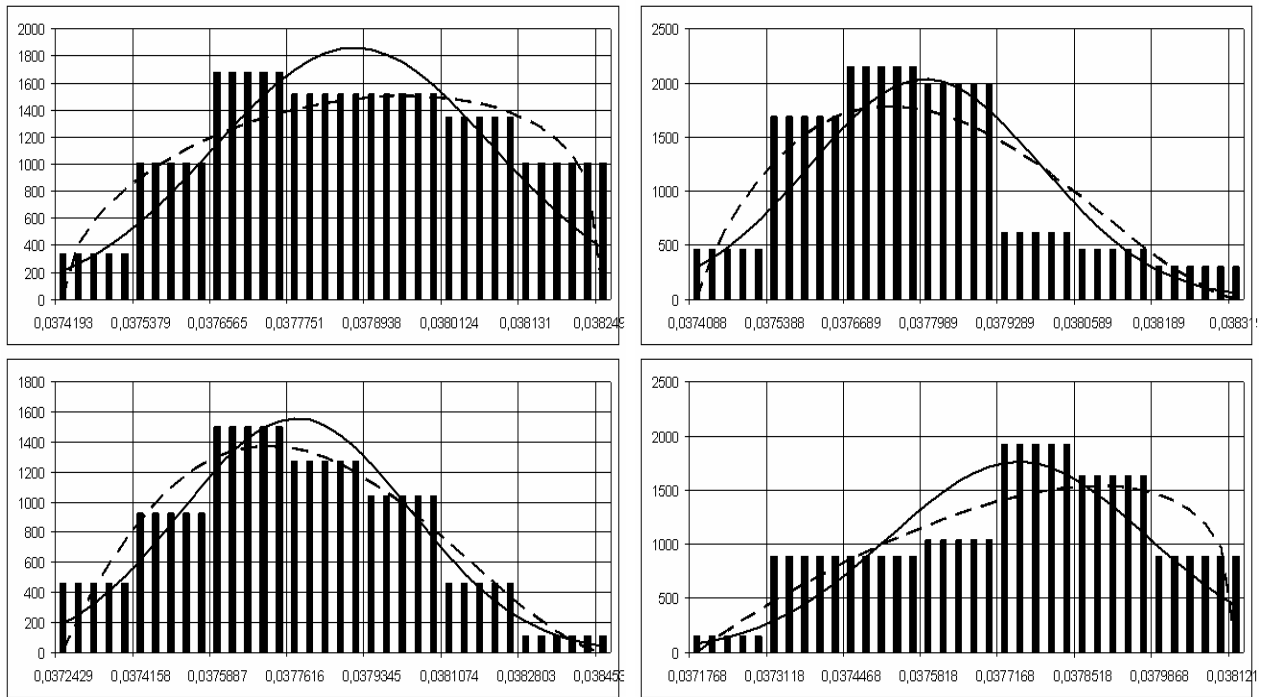


Рис. 3.3.14 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 50$ та для точки $N_{e \text{ ном}}$

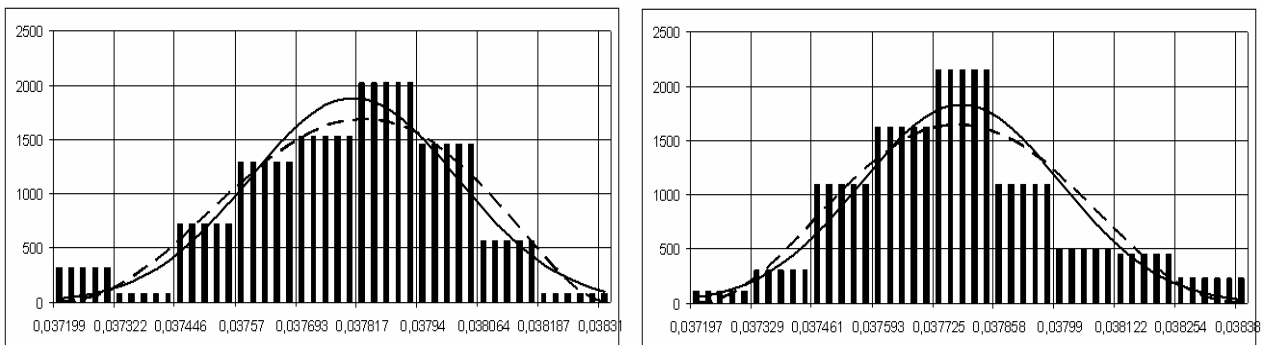


Рис. 3.3.15 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 100$ та 200 та для точки $N_{e \text{ ном}}$

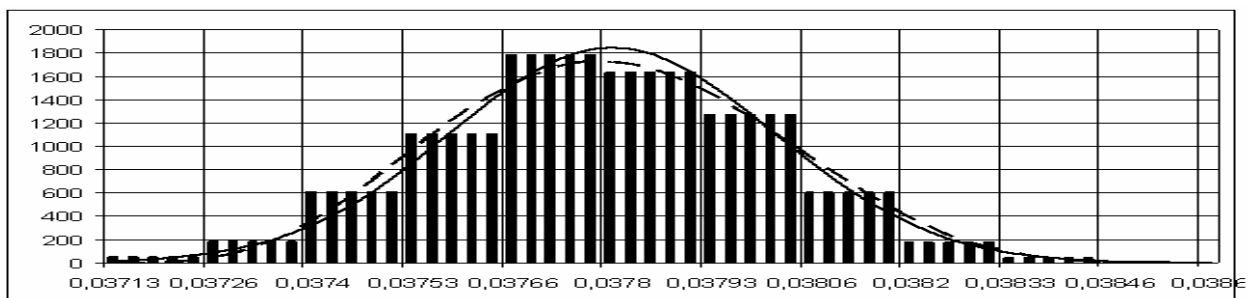


Рис. 3.3.16 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 1000$ та для точки $N_{e \text{ ном}}$

A.3. Проведено дослідження для $C_{CH} = m_{PAR} = 27$ ppm; $\sigma_{PAR} = 0,02$ ppm; з відповідними параметрами для точки M_{KPmax} . Отримані результати, які зведені до табл. 12.12 – 12.15.

A.4. Проведено дослідження для $C_{CH} = m_{PAR} = 72$ ppm; $\sigma_{PAR} = 0,02$ ppm; з відповідними параметрами для точки $N_{e ном}$.

На рис. 3.3.17 – 3.3.22 наведені деякі варіанти розрахунків за етапами A.3 і A.4. На них видно, що для відносно малої вибірки $N = 50$ розподіли істотно відрізняються для різних моделювань. За характером для вибірок від $N = 50$ до $N = 1000$ всі емпіричні розподіли можна апроксимувати бета-розподілом.

Ентропійні коефіцієнти дорівнюють: для $N = 50$ відповідно для 1, – 4 моделювання 1,882; 1,875; 1,763; 1,640; для $N = 100$ для 1, 2 моделювання 1,989; 2,055; для $N = 200$ для 1, 2 моделювання 2,017; 2,020; для $N = 1000$ для 1, 2 моделювання 2,059; 2,089.

Аналізуючи дані у табл. 3.3.8 – 3.3.15 та у табл. 3.3.11 – 3.3.22, а також отримані результати для $N = 300, 400, 500$, які за браком місця не представлені у роботі, але принципово не відмінні від наведених у роботі, можна сказати про можливість апроксимації емпіричних розподілів за допомогою бета-розподілу. У всіх без винятку варіантах коефіцієнт K є від'ємним, корені рівняння (3.3.25) є дійсними та різними за знаком. Ентропійний коефіцієнт зі збільшенням обсягу вибірки зростає, наближуючись до свого теоретично можливого межового значення 2,07.

Таблиця 3.3.12 – Досліджувані параметри для вибірки $N = 50$

№	$G_{TЧmin}$	$G_{TЧmax}$	$\tilde{S}k$	$\tilde{E}x$	S_1	S_2
1	0,02931412	0,02984893	-0,02106289	-0,06437803	0,32641734 / 0,33660071	0,59754514 / 0,66190837
2	0,02932000	0,02985982	0,14509283	-0,24716214		
3	0,02943124	0,02982885	0,22557085	-0,53427843		
4	0,02933976	0,02981721	-0,18219882	-0,77949547		

№	y_1	y_2	K	p/q	p^*/q^*
1	-0,00110215	0,00099615	-0,00255837	2,4621439 / 2,2912629	2,5227333 / 2,3476472
2	-0,00044753	0,00062642	-0,02853805	1,7563820 / 2,1856887	1,8014236 / 2,2417397
3	-0,00022102	0,00031557	-0,03204668	1,5393422 / 1,8411341	1,5796760 / 1,8893754
4	-0,00031022	0,00024257	-0,01520076	2,0954906 / 1,4570580	2,0954906 / 1,4570580

№	$Sk(p, q)$	$Ex(p, q)$	$Sk(p^*, q^*)$	$Ex(p^*, q^*)$	$K_{ЕНТР}$
1	-0,05104335	-0,79414479	-0,05063324	-0,82939346	1,942
2	0,16396312	-0,82509491	0,16290632	-0,83664651	1,866
3	0,13950753	-0,90955775	0,13873712	-1,00176025	1,808
4	-0,01222401	-1,00062181	-0,01212533	-1,00253973	1,859

Таблиця 3.3.13 – Досліджувані параметри для вибірки $N = 100$

№	$G_{TЧ\min}$	$G_{TЧ\max}$	$\tilde{S}k$	$\tilde{E}x$	S_1	S_2
1	0,02930351	0,02984780	-0,35744248	-0,30117644	0,23774389	0,45474705
2	0,02934612	0,02984159	0,07517427	-0,52249600	/ 0,24137978	/ 0,47833113

№	y_1	y_2	K	p/q	p^*/q^*
1	-0,00052232	0,00027941	-0,10108034	2,3190796 / 1,9481306	2,3497543 / 1,9738987
2	-0,00030192	0,00034279	-0,00403470	2,2244047 / 2,2445666	2,2514511 / 2,2718582

№	$Sk(p, q)$	$Ex(p, q)$	$Sk(p^*, q^*)$	$Ex(p^*, q^*)$	$K_{ЕНТР}$
1	-0,12778669	-0,82239959	-0,12732376	-0,80326289	1,894
2	0,00654369	-0,82394622	0,00649567	-0,78651414	1,982

Таблиця 3.3.14 – Досліджувані параметри для вибірки $N = 200$

№	$G_{TЧ\min}$	$G_{TЧ\max}$	$\tilde{S}k$	$\tilde{E}x$	S_1	S_2
1	0,02928215	0,02988149	0,05554803	-0,39070085	0,17063266	0,33370700
2	0,02930008	0,02979604	-0,13232296	-0,65712195	/ 0,17192480	/ 0,34220239

№	y_1	y_2	K	p/q	p^*/q^*
1	-0,00039069	0,00043545	-0,00294379	2,8862867 / 3,0362901	2,9030485 / 3,0539230
2	-0,00030503	0,00025029	-0,00981062	2,3332279 / 2,1184702	2,3480153 / 2,1318965

№	$Sk(p, q)$	$Ex(p, q)$	$Sk(p^*, q^*)$	$Ex(p^*, q^*)$	$K_{ЕНТР}$
1	0,03366127	-0,67819152	0,03355867	-0,66539887	2,010
2	-0,06992881	-0,78220574	-0,06982596	-0,77543153	1,998

Таблиця 3.3.15 – Досліджувані параметри для вибірки $N = 1000$

№	$G_{TЧ\min}$	$G_{TЧ\max}$	$\tilde{S}k$	$\tilde{E}x$	S_1	S_2
1	0,02923779	0,02993943	0,01524640	-0,14005096	0,07722775	0,15376266
2	0,02917024	0,02990028	-0,03300684	-0,01520879	/ 0,07734382	/ 0,15453425

№	y_1	y_2	K	p/q	p^*/q^*
1	-0,00065859	0,00069225	-0,00062126	4,9172201 / 5,0669305	4,9226544 / 5,0725303
2	-0,00245778	0,00180214	-0,02426287	5,2824451 / 4,2376297	5,2869405 / 4,2412360

№	$Sk(p, q)$	$Ex(p, q)$	$Sk(p^*, q^*)$	$Ex(p^*, q^*)$	$K_{ЕНТР}$
1	0,01658696	-0,45109063	0,01658615	-0,47523464	2,073
2	-0,12434667	-0,47177625	-0,12419698	-0,53997575	2,077

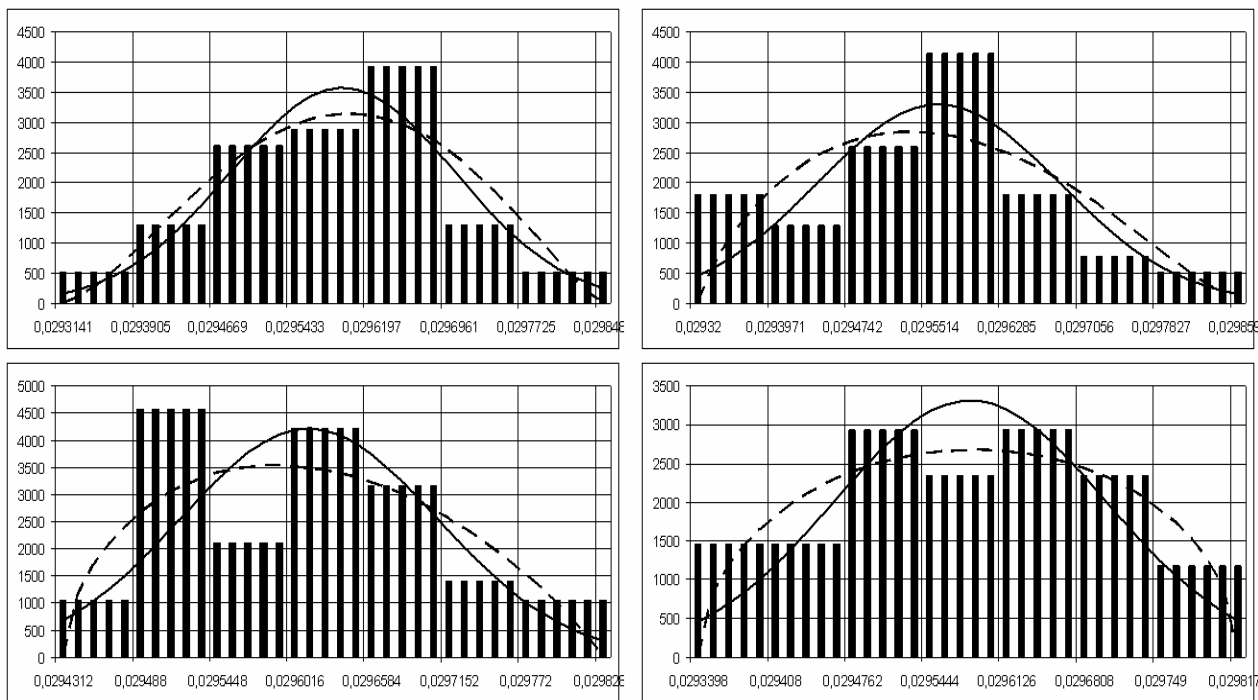


Рисунок 3.3.17 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 50$ (моделювання № 1 – 4) та точки M_{KPmax}

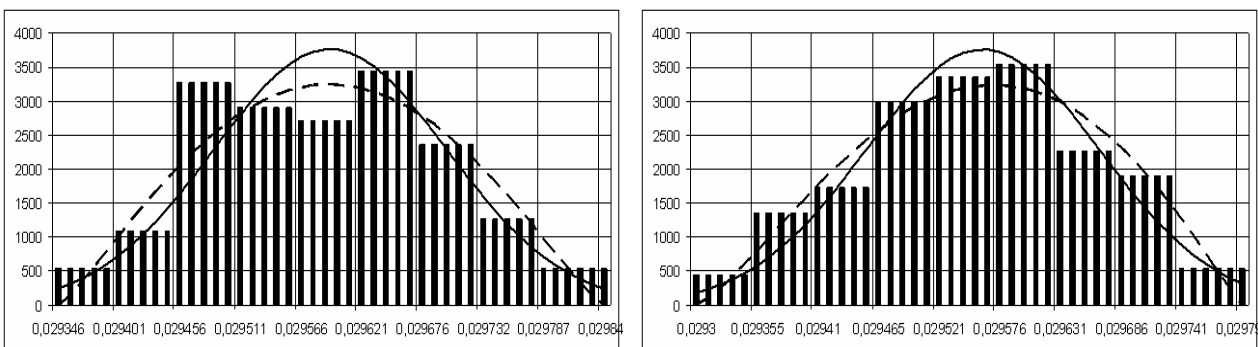


Рисунок 3.3.18 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 100$ та 200 для точки M_{KPmax}

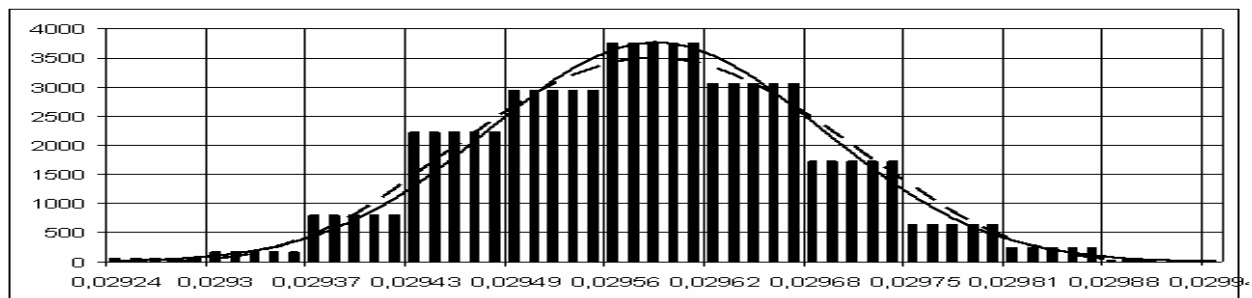


Рисунок 3.3.19 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 1000$ для точки M_{KPmax}

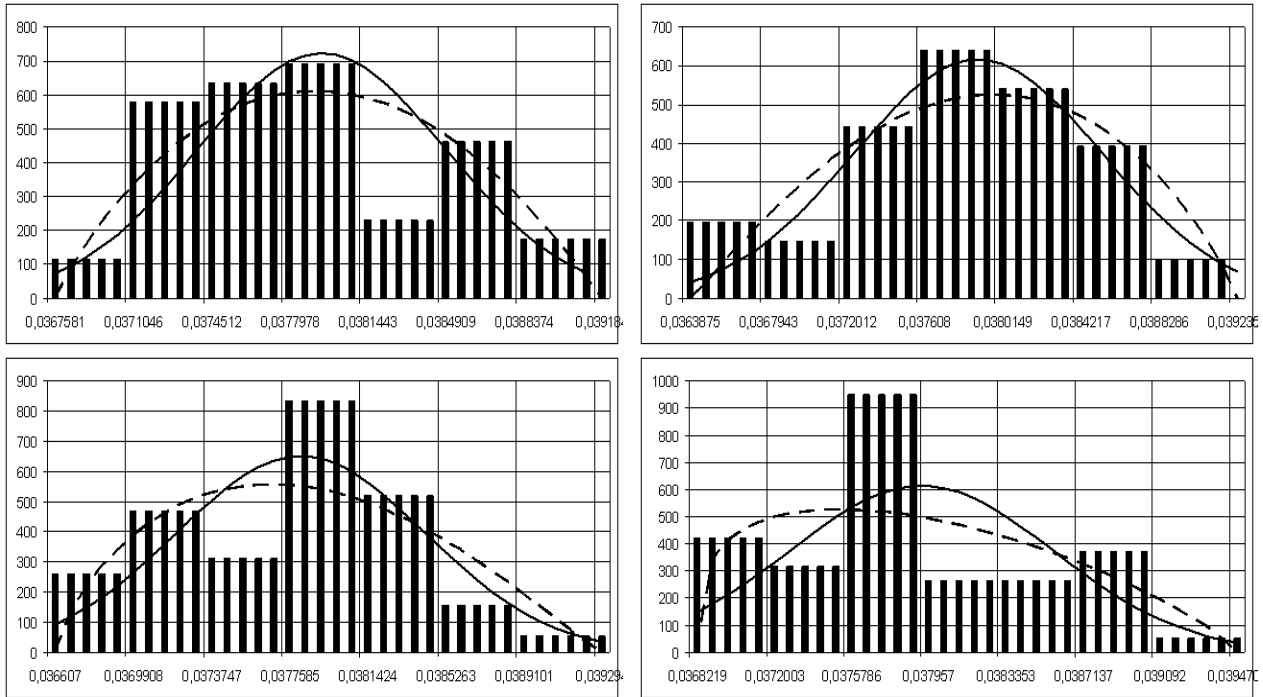


Рисунок 3.3.20 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 50$ (моделювання № 1 – 4) та точки $N_{e \text{ ном}}$

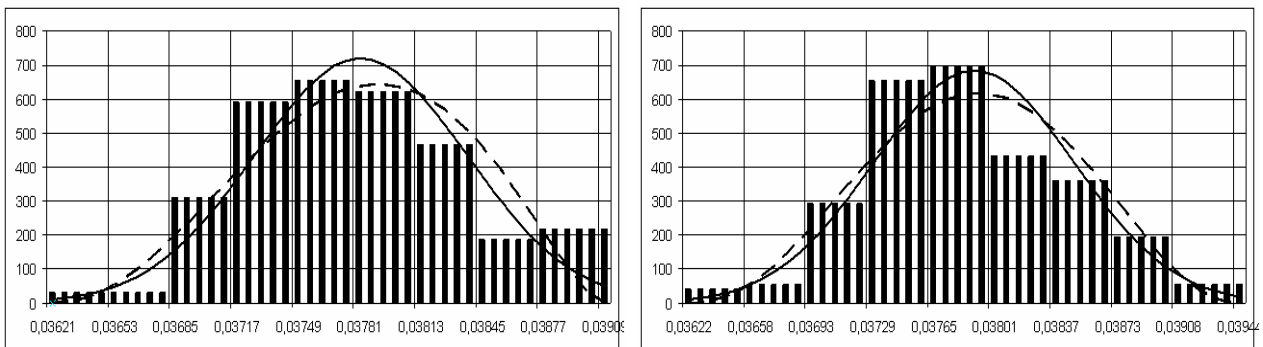


Рисунок 3.3.21 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 100$ та 200 для точки $N_{e \text{ ном}}$

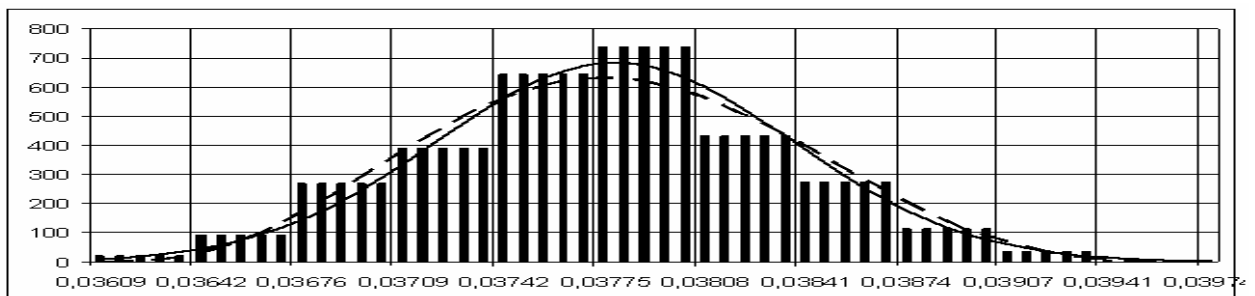


Рисунок 3.3.22 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 1000$ для точки $N_{e \text{ ном}}$

Результати здійснення етапу В.

Результати розрахунків, осереднені для 15 незалежних моделювань за усіма варіантами обсягу вибірки вихідних даних N зведено до табл. 3.3.16 та проілюстровано на рис. 3.3.22 – 3.3.23 у виді гістограм емпіричного та графіків нормального і бета-розподілу, а також на рис. 3.3.24 – 3.3.27 у вигляді графіків залежності значень кількості колонок гістограм розподілу m_{col} , параметрів бета-розподілу p і q , коефіцієнтів асиметрії A_S й E_X ексцесу бета-розподілу, ентропійного коефіцієнта K_{entr} від обсягу вибірки вихідних даних N за умови варіювання одного з двох впливаючих факторів (коефіцієнта послаблення світлового потоку N_D у ВГ та об'ємної концентрації незгорілих вуглеводнів у потоці ВГ C_{CH}) у межах паспортної точності засоба вимірювальної техніки та інваріантності другого.

Вказані графіки апроксимовано методом найменших квадратів з отриманням формул (3.3.35) – (3.3.40).

Таблиця 3.3.16 – Результати розрахункового дослідження, осереднені для 15 незалежних моделювань за усіма варіантами обсягу вибірки вихідних даних

N	од.	m_{col}	$N_D = \text{var}, C_{CH} = \text{const}$					$C_{CH} = \text{var}, N_D = \text{const}$				
			p	q	K_{entr}	A_S	E_X	p	q	K_{entr}	A_S	E_X
50		7	1,902	1,931	1,844	0,032	-0,362	2,003	1,922	1,878	0,013	-0,384
100		9	2,538	2,386	1,939	-0,014	-0,326	2,315	2,394	1,960	0,006	-0,312
200		9	2,813	2,930	2,010	0,010	-0,238	2,936	3,093	2,013	0,033	-0,225
300		9	3,422	3,407	2,028	0,036	-0,202	3,193	3,306	2,052	-0,006	-0,221
400		11	3,647	3,572	2,045	0,021	-0,158	3,754	3,908	2,057	0,048	-0,172
500		11	3,801	3,781	2,051	0,014	-0,153	3,733	3,829	2,061	-0,007	-0,140
700		11	4,068	4,037	2,061	0,005	-0,127	4,177	4,346	2,068	0,002	-0,119
1000		11	4,405	4,395	2,072	0,019	-0,091	4,495	4,473	2,080	0,025	-0,096

$$A_S(N_D) = A_S(C_{CH}) = 0,015 = \text{const}; R^2 = 1,0; \quad (3.3.35)$$

$$E_X(N_D) = E_X(C_{CH}) = 0,0948 \cdot \ln(N) - 0,743; R^2 = 0,987; \quad (3.3.36)$$

$$p(N_D) = q(N_D) = 0,833 \cdot \ln(N) - 1,381; R^2 = 0,988; \quad (3.3.37)$$

$$K_{entr}(N_D) = 0,074 \cdot \ln(N) + 1,588; R^2 = 0,916; \quad (3.3.38)$$

$$p(C_{CH}) = q(C_{CH}) = 0,863 \cdot \ln(N) - 1,548; R^2 = 0,978; \quad (3.3.39)$$

$$K_{entr}(C_{CH}) = 0,066 \cdot \ln(N) + 1,648; R^2 = 0,918; \quad (3.3.40)$$

Як видно з табл. 3.3.16, рис. 3.3.25 та формули (3.3.35), присутня незначна лівостороння асиметрія ($A_S > 0$) усіх запропонованих кривих щільності бета-розподілу емпіричних даних застосування формули перерахунку проф. І.В. Парсаданова, величина якої інваріантна відносно обсягу вибірки. Для нормального закону $A_S = 0$.

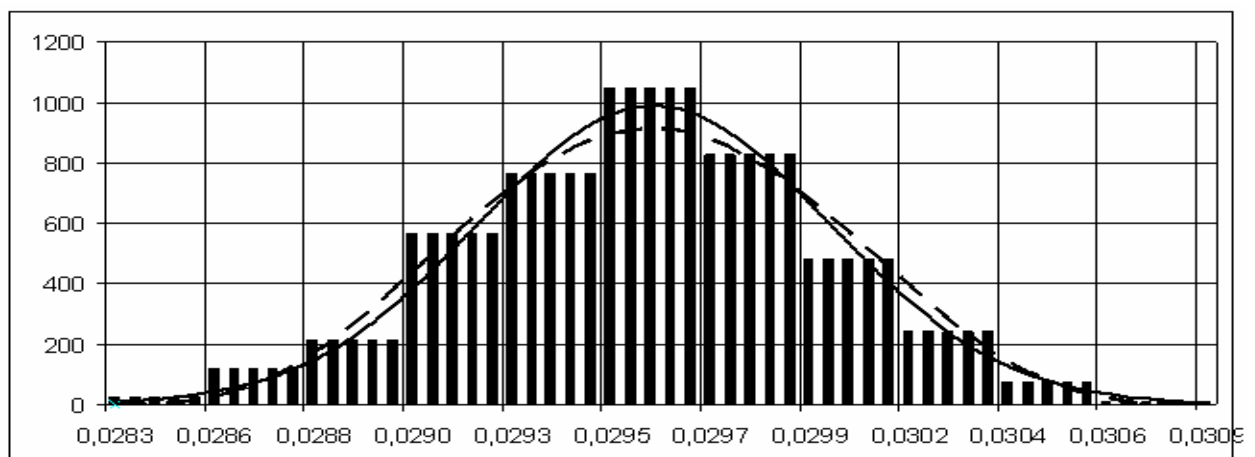
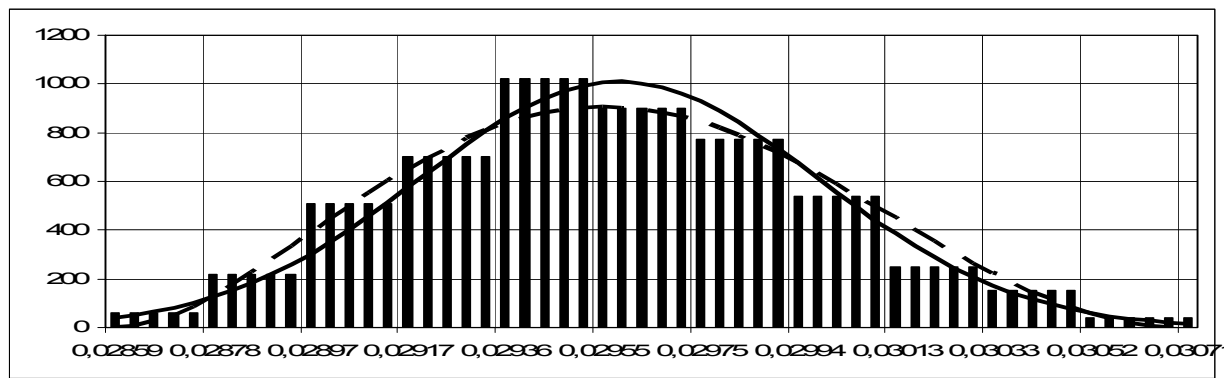
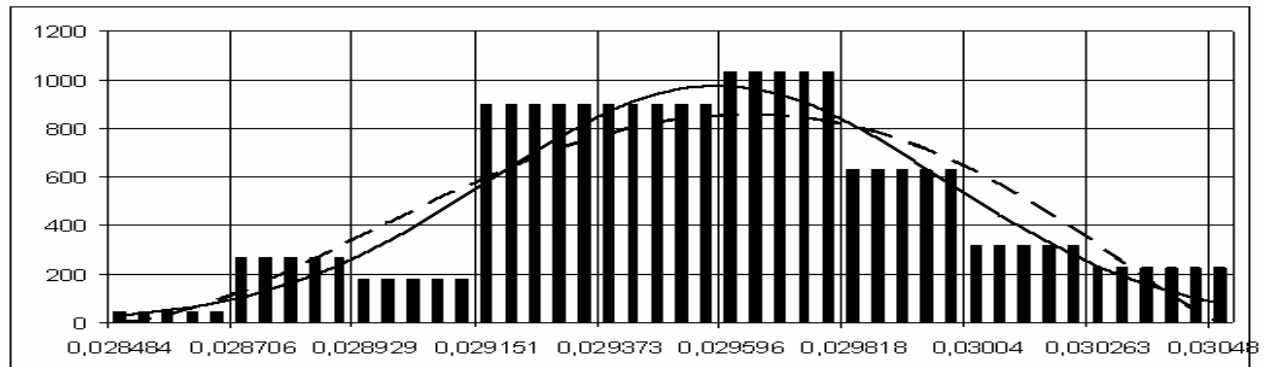
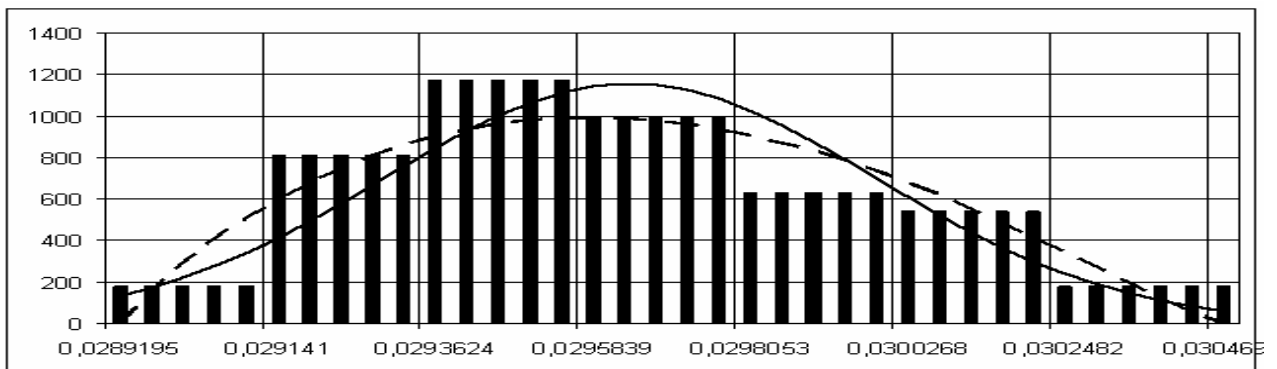


Рис. 3.3.22 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 50, 100, 500$ і 1000 та для точки $M_{KP_{max}}$, осереднені за результатами 15 незалежних моделювань, при $N_D = var, C_{CH} = const$

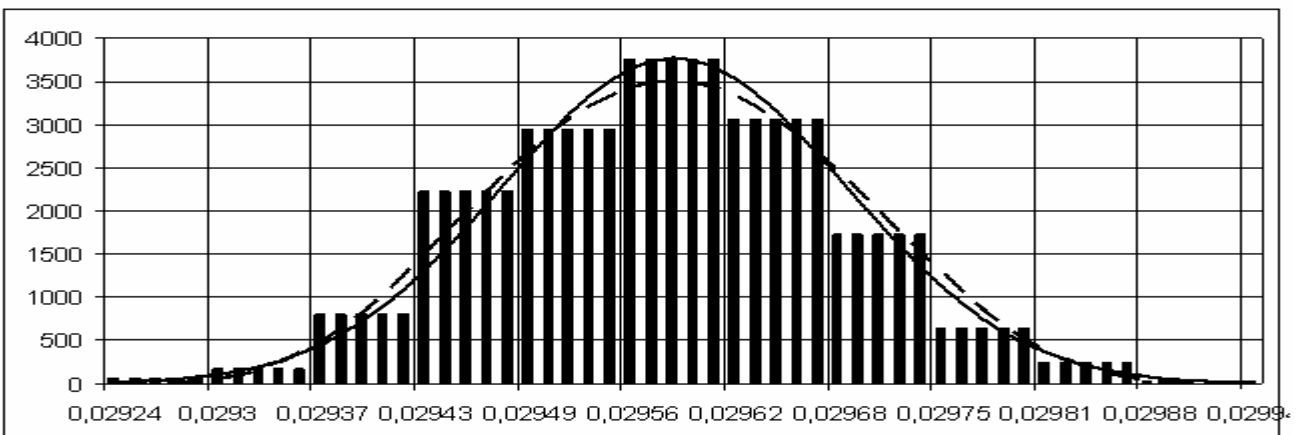
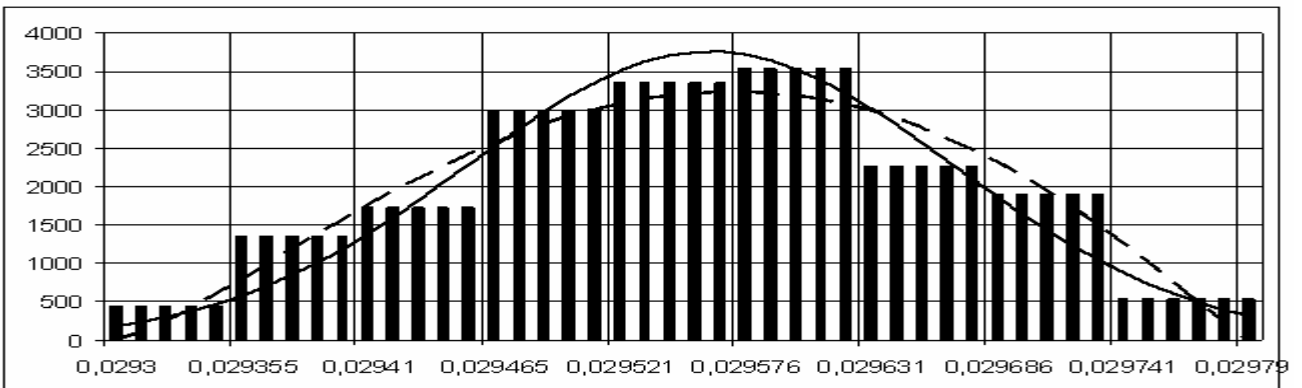
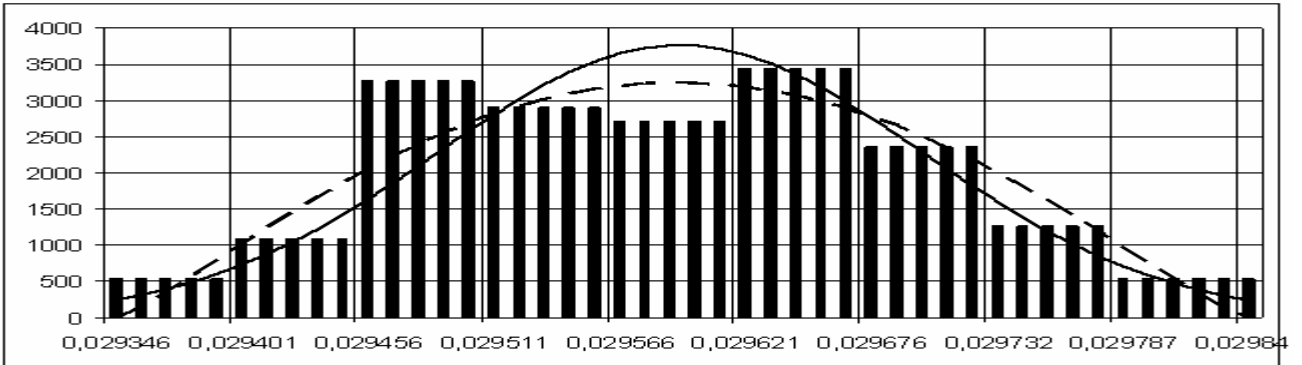
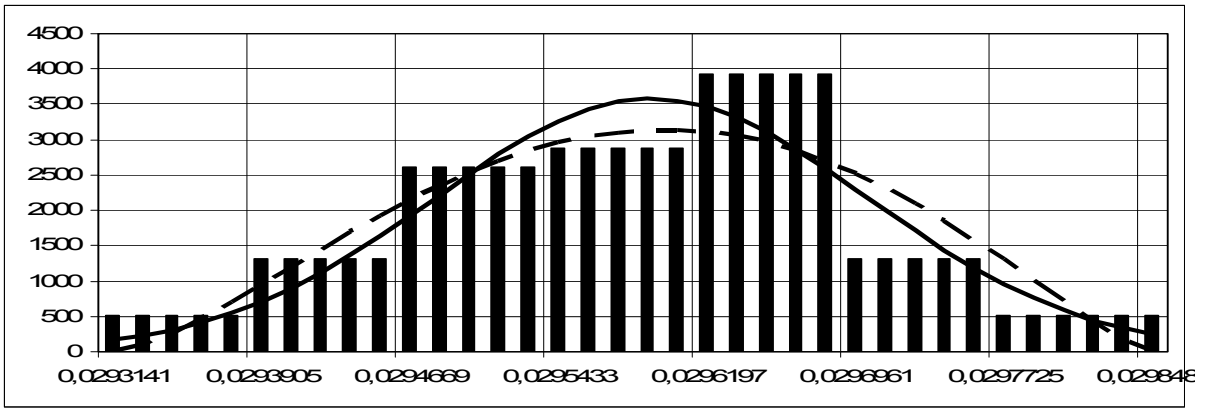


Рис. 3.3.23 – Емпіричний, нормальний та бета-розподіли для $N = 50, 200, 400$ і 700 та для точки M_{KPmax} , осереднені за результатами 15 незалежних моделювань, при $C_{CH} = var, N_D = const$

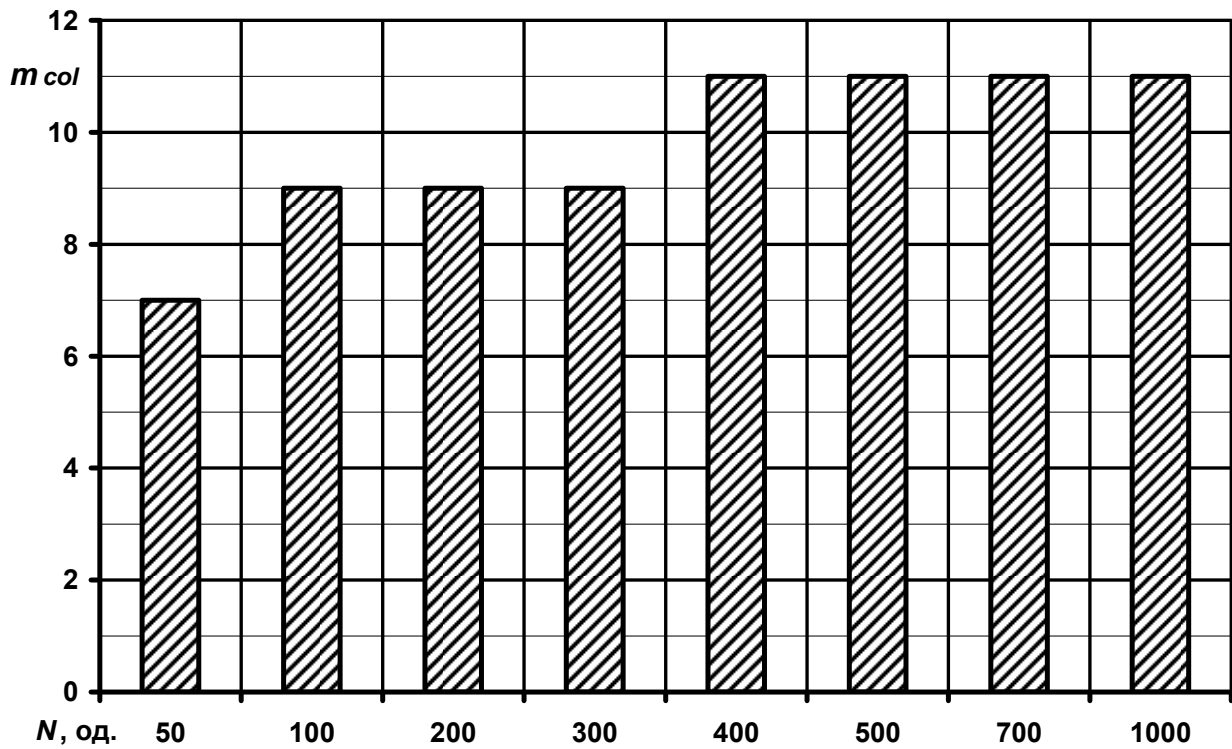


Рис. 3.3.24 – Гістограма залежності значень величини m_{col} від обсягу вибірки вихідних даних N для усіх варіантів розрахунку

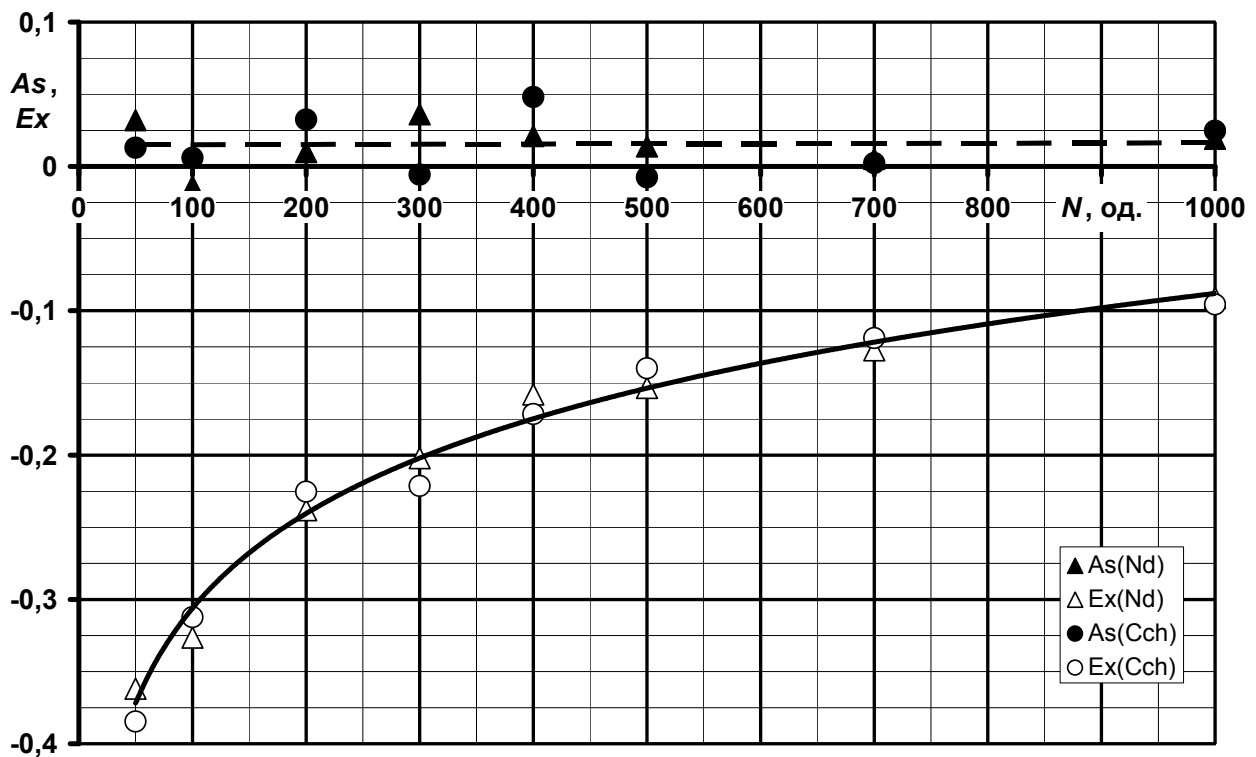


Рис. 3.3.25 – Графіки залежності значень величин A_S та E_X від обсягу вибірки вихідних даних N , осереднені за результатами 15 незалежних моделювань, при варіюванні величинами N_D та C_{CH}

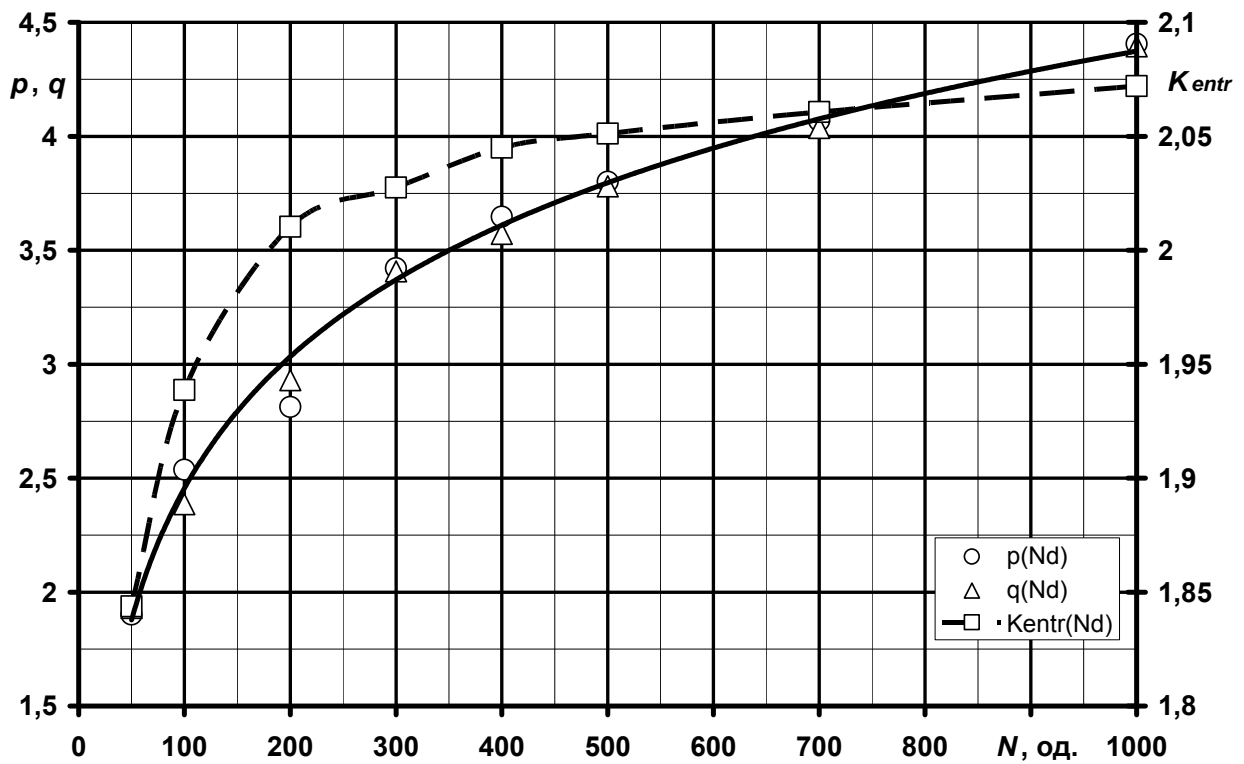


Рис. 3.3.26 – Графіки залежності значень величин p і q та K_{entr} від обсягу вибірки вихідних даних N , осереднені за результатами 15 незалежних моделювань, при $N_D = var$, $C_{CH} = const$

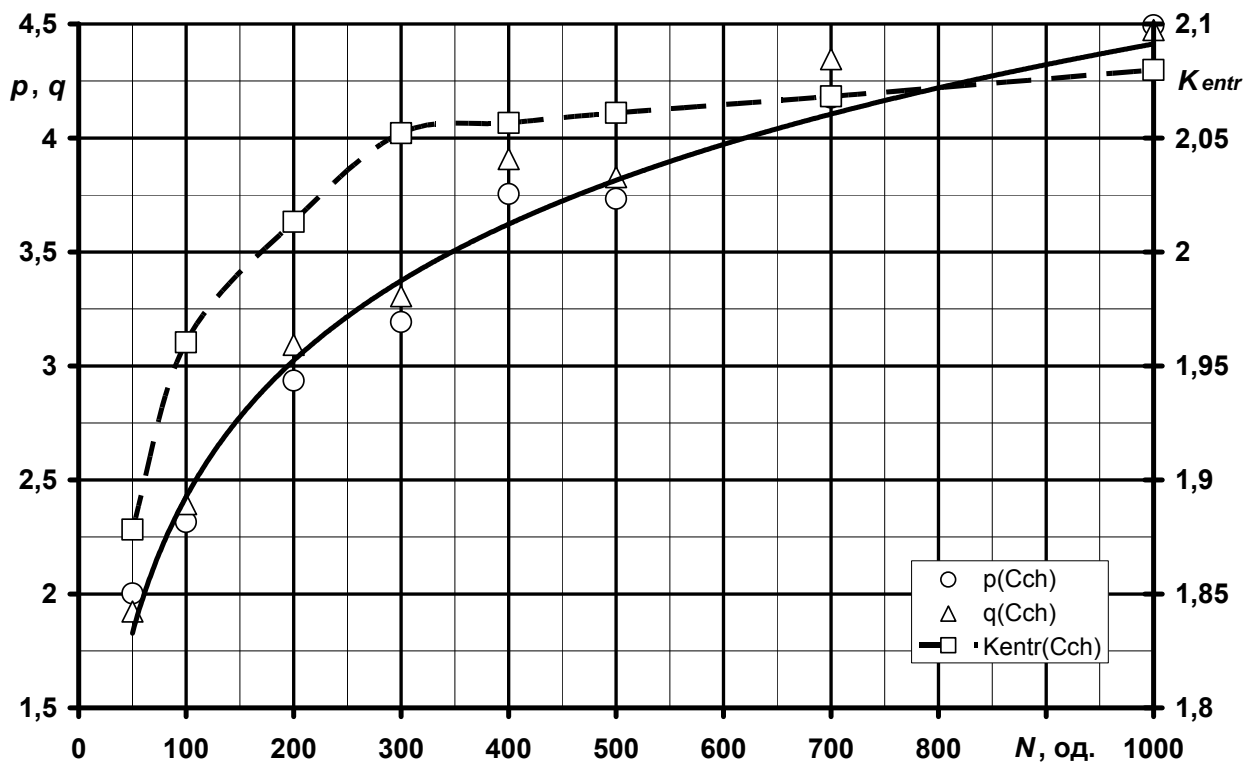


Рис. 3.3.27 – Графіки залежності значень величин p і q та K_{entr} від обсягу вибірки вихідних даних N , осереднені за результатами 15 незалежних моделювань, при $C_{CH} = var$, $N_D = const$

Також з табл. 3.3.16, рис. 3.3.25 та формули (3.3.36) видно, що усі криві щільності бета-розподілу таких емпіричних даних при варіюванні обох впливаючих факторів мають однаковий виражений характерний вид піку з малою гостротою (гладкий $E_x < 0$), при цьому гострота піку нелінійно залежить від обсягу вибірки, зростаючи з його зростанням і наближаючись до гостроти піку нормального закону розподілу ($E_x = 0$).

З табл. 3.3.16, рис. 3.3.36 і 3.3.37 та формул (3.3.37) і (3.3.39) видно, що параметри бета-розподілу p і q рівні одне одному при варіюванні обох впливаючих факторів (що також зумовлює практично симетричний вид кривої щільності розподілу), мають практично однаковий вид нелінійної залежності від обсягу вибірки, зростаючи з його зростанням практично у 2 рази.

Дані у табл. 3.3.16, рис. 3.3.36 і 3.3.37 та формул (3.3.38) – (3.3.40) показують, що значення ентропійного коефіцієнту K_{entr} приблизно рівні одне одному при варіюванні обох впливаючих факторів та мають однаковий вид нелінійної залежності від обсягу вибірки. Так величина K_{entr} інтенсивно зростає зі збільшенням обсягу вибірки у межах 50 – 300 вимірювань від значення 1,84 до 2,05, а потім виходять на полицьку, асимптотично наближаючись до значення 2,07, характерного для закону нормального розподілу.

3.3.9. Висновки по розділу

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

1. За результатами аналізу науково-технічної літератури за темою дослідження виявлено, що отримання значень масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ поршневого ДВЗ як законодавчо нормованого поллютанта за допомогою тунелів розведення наразі не є можливим для підрозділів наукових організацій на території України, а тому на практиці використовуються різні формули перерахунку, складові яких визначаються безпосередніми вимірюваннями значно більш доступними засобами вимірювальної техніки – газоаналізаторами та димомірами. Чим і обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження.

З аналізу математичного апарату відомих формул перерахунку – Парсаданова, Алкідаса, Мунтяна – випливає, що отримані вимірюваннями газоаналізатором і димоміром значення складових цих формул перерахунку чинять на результат їх застосування нелінійний вплив. При цьому, виникає проблема вибору адекватного фізичній реальності закону, що описує емпіричний розподіл шуканої величини, оскільки наявна його рознормалізація навіть за умови нормальності закону розподілу значень впливаючих факторів.

З аналізу спеціалізованої літератури та паспортів димоміра і багатоконцентного газоаналізатора встановлено, що для першого значення коефіцієнта послаблення світлового потоку визначається з точністю $\pm 2,5\%$, а об'ємної концентрації незгорілих вуглеводнів у потоці ВГ – з

точністю $\pm 5,0$ %. Результати вимірювань у межах цих похибок розподіляються за нормальним законом.

2. За результатами аналізу математичного апарату сімейства кривих Пірсона стає зрозумілим, що це універсальний розрахунковий апроксимуючий інструмент, що дає змогу описати формулами емпіричні розподіли, представлені гістограмами практично будь-якої форми. Для досліджуваного випадку вирішення характеристичного рівняння загальної диференційним рівнянням сімейства кривих Пірсона дає такі значення коефіцієнтів, які свідчать про відповідність емпіричного розподілу досліджуваної фізичної величини до I типу розподілів за класифікацією Пірсона – бета-щільності.

3. З метою отримання вихідних даних для опису емпіричного розподілу значень масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ ПДВЗ, а саме значень математичного очікування досліджуваної величини, проаналізовано дані стендових моторних експериментальних досліджень автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (значення масових годинних витрат повітря і моторного палива дизелем) та відповідний йому набір вихідних даних – у першому випадку вибірку випадкової величини значень коефіцієнта послаблення світлового потоку і фіксоване значення величини об'ємної концентрації незгорілих вуглеводнів у потоці ВГ, у другому ці випадкові величини міняються місцями.

4. Здійснено розрахункове оцінювання значень параметрів бета-щільності для апроксимації значень величини масового годинного викиду ТЧ з потоком ВГ ПДВЗ як функції коефіцієнту послаблення світлового потоку за умови розподілу його значень за нормальним законом у межах паспортної точності вимірювань димоміру та за фіксованого значення величини об'ємної концентрації незгорілих вуглеводнів у потоці ВГ у першому випадку, а у другому ці випадкові величини міняються місцями.

5. За результатами здійсненого розрахункового дослідження встановлено, що емпіричний розподіл значень масового годинного викиду твердих частинок з відпрацьованими газами поршневого ДВЗ, отриманих при застосуванні однієї з відомих формул перерахунку як функція показників димності відпрацьованих газів суттєво відрізняється від нормального закону за кількості вимірювань, меншій за 50, навіть при підтвердженні гіпотези про нормальність розподілу показів димоміра та газоаналізатора у межах паспортної похибки вимірювань. Таким чином, у роботі здійснено вибір раціональної кількості багаторазових вимірювань коефіцієнта послаблення світлового потоку у одному випадку та об'ємної концентрації незгорілих вуглеводнів у ВГ у другому на одному режимі роботи дизельного двигуна при стендових моторних випробуваннях для випадку автоматизації процесу вимірювань.

6. Отримано параметри бета-щільності для описання досліджуваного показника екологічної безпеки та їх залежності від кількості вимірювань.

Глава 4. РОЗРАХУНКОВЕ КРИТЕРІАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ БЕЗАВАРІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ПОРШНЕВИМ ДВЗ

Розділ 4.1. ОТРИМАННЯ ПОРЕЖИМНИХ ЗНАЧЕНЬ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

4.1.1. Постановка проблеми

На бойовому чергуванні підрозділів ДСНС України знаходиться велика кількість енергетичних установок (ЕУ), оснащених поршневим двигуном внутрішнього згорання (ПДВЗ) як основним джерелом механічної енергії. Це одиниці пожежної та аварійно-рятувальної техніки, зокрема з дизельними ПДВЗ.

Кожна одиниця ПДВЗ є джерело екологічної небезпеки, зокрема масових викидів поллютантів з потоком відпрацьованих газів (ВГ), в тому числі твердих частинок (ТЧ).

Найдієвішим способом підвищення рівня екологічної безпеки (ЕБ) процесу експлуатації таких об'єктів шляхом приведення показників токсичності їх ВГ до законодавчо нормованих вимог є розробка і реалізація відповідних систем управління екологічною безпекою (СУЕБ).

При цьому матеріальною основою комплексного вирішення такого завдання є розробка і впровадження систем нейтралізації законодавчо нормованих поллютантів у ВГ та їх агрегатів, зокрема фільтрів твердих частинок (ФТЧ) [1, 22].

Для якісного і кількісного оцінювання ефективності застосування існуючих або знову розроблених систем нейтралізації й їх агрегатів потрібне застосування відповідного критеріального математичного апарату і методики його застосування.

У зв'язку з цим, актуальним є аналіз особливостей такого апарату з відповідною йому методики застосування з числа відомих.

4.1.2. Аналіз літературних джерел

Питання критеріального оцінювання показників рівня ЕБ різних об'єктів в процесі їх функціонування і окремих робочих процесів в їх агрегатах і системах актуальні й знаходять досить широке висвітлення в публікаціях робіт наукового характеру [14, 102 – 130].

Так, саме цій тематиці присвячені попередні роботи авторів даного дослідження [14, 24, 25], а також монографія [5] цілком присвячена питанням розрахункового комплексного критеріального паливно-екологічного оцінювання процесу експлуатації дизельних ПДВЗ різного призначення при роботі на різних видах моторного палива.

Результати робіт [102 – 119] щодо критеріального оцінювання рівня

ЕБ різних об'єктів та робіт [120 – 130] щодо оцінювання різних ЕУ закордонних дослідників в основному непридатні до обраного предмету дослідження як частини об'єкта дослідження в рамках сформульованої мети даного дослідження.

Головною причиною цього є те, що більшість з описаних критеріальних апаратів (за винятком робіт [120, 121, 123, 126, 124, 130]) оперують наборами вихідних даних, що містять інформацію про концентрації забруднюючих речовин в повітрі навколишнього природного середовища (НПС) урбосистеми, отриману розрахунком, моделюванням або від мережі метеорологічних станцій та дистанційного супутникового сканування земної поверхні у поєднанні з ГІС-технологіями, а не від моторних стендових випробувань ПДВЗ.

Іншою причиною є відсутність серед набору вихідних даних для оцінювання інформації про витрату палива ПДВЗ (крім робіт [126, 130]) та неврахування особливостей моделі експлуатації ПДВЗ (крім робіт [121, 129]).

Третьою причиною виступає відсутність можливості виділити процес безаварійної експлуатації ЕУ на тлі тривалості її життєвого циклу (всі роботи [102 – 130]).

Четвертою причиною є відсутність можливості комплексного врахування повного набору таких факторів ЕБ [1] для ЕУ з ПДВЗ, як енергетичне забруднення НПС (теплота, шум, вібрації), інформаційне забруднення НПС, забруднення НПС викидами рідких поллютантів (моторне паливо і масло, інші технічні рідини) і твердими відходами (деталі, що вичерпали свій ресурс) (всі роботи [102 – 130]).

Очевидно, що повне усунення вищеописаних принципових проблем можливо тільки шляхом створення нового критеріального апарату. При цьому найближче до задоволення вищеописаних вимог з відомих побудований математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова (НТУ «ХПІ»), описаний в монографії [5].

Проте аналіз цього математичного апарату і методики його застосування дозволив виявити ряд напрямків його подальшого вдосконалення, розрахунковому дослідженню одного з яких присвячене дане дослідження.

Метою даного дослідження є обґрунтування вибору способу отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових розрахунковим шляхом.

Об'єктом даного дослідження є рівень ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Предметом даного дослідження є математичний апарат і методика застосування комплексного паливно-екологічного критерію для розрахункового оцінювання показників об'єкта дослідження.

Завданнями даного дослідження є наступні:

1. Аналіз математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію.

2. Розробка способів отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових.

3. Розрахункове порівняльне дослідження таких способів.

4. Обґрунтування вибору раціонального способу отримання порежимних значень критерію на основі аналізу результатів розрахункового порівняльного дослідження.

4.1.3. Аналіз математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію

Комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова $K_{ПЕ}$ описується формулою (1.2.1), а його складові – формулами (1.2.2) – (1.2.8) [5, 25].

Однак, у наведеному у розділі 1.2 і монографії [5] математичному апараті комплексного паливно-екологічного критерію, так само як і в методиці його застосування, виявлено резерви для вдосконалення. Це наступні напрямки досліджень, які будуть носити розрахунковий характер.

1. Вибір і обґрунтування раціональних одиниць для вираження вартісних еквівалентів складових критерію, а саме витрат на паливо Z_f і на компенсацію екологічної шкоди Z_e .

2. Вибір і обґрунтування раціональних способів переходу від середньоексплуатаційних значень критерію і його складових до порежимних.

3. Вибір і обґрунтування раціонального набору вихідних даних для розрахункового критеріального оцінювання.

Загальні міркування і розрахункові дослідження щодо першого з цих напрямків представлені в роботі [6]. В результаті рекомендовано і обґрунтовано застосування долара США в якості раціональних одиниць для вираження вартісних еквівалентів складових критерію як світової резервної вільноконвертованій валюти, єдиною, історія існування якої повністю охоплює історію існування ПДВЗ як таких.

В даному дослідженні представлені загальні міркування і розрахунки за другим напрямом. Актуальність вирішення такої науково-технічної задачі полягає в тому, що значення факторів ЕБ зазначеного процесу і ефективності заходів щодо поліпшення їх рівня нерівномірно розподілені по режимах відповідних моделей експлуатації.

4.1.4. Способи отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових

Аналіз формул (1.2.1) – (1.2.8) показує наступне. За ними можливим є розрахункове отримання всього одного значення основних складових критерію $K_{ПЕ}$, а саме витрат Z_f , Z_e і коефіцієнта β , так само як і власне значення самого критерію, для конкретної моделі експлуатації ПДВЗ, що містить 8 – 30 полігонів (індивідуальних представницьких режимів роботи ПДВЗ). Таке значення називається середньоексплуатаційним. При цьому для його розрахунку використовуються значення впливових факторів – питомих ефективних масових часових витрат палива і викидів законода-

вчо нормованих полютантів, для кожного індивідуального представницького режиму роботи ПДВЗ. Такі значення називають порежимними. Це впливає з наявності операції підсумовування по всіх режимів в формулах (1.2.3), (1.2.5) і (1.2.8), а також вмісту таблиць в додатках монографії автора критерію проф. І.В. Парсаданова [5].

Це означає, що порівняння різних типів ПДВЗ, однотипних ПДВЗ різних торгових марок, модернізованих і не модернізованих ПДВЗ однієї тієї ж моделі і т.д. можливо тільки в термінах середньоексплуатаційних значень критерію K_{PE} і його складових.

У монографії [5] значення критерію K_{PE} і його складових отримані для різних моделей експлуатації для дизелів різного призначення і працюють на різному паливі (солярна олива, стиснений природний газ, водопаливна емульсія, рапсовометилловий ефір), що характеризують ці моделі експлуатації в цілому (середньоексплуатаційне значення), а не окремі їх режими (порежимні значення). Це обумовлено тим, що у всіх моделях експлуатації присутні «проблемні» режими нульової (холостого ходу) і малої ефективної потужності. Для режимів холостого ходу, згідно до класичних уявлень дисципліни «Теорія ДВЗ», вважається, що $N_e \rightarrow 0$ кВт і тому $\eta_e \rightarrow 0$, $g_e \rightarrow \infty$ кг/(кВт·год), тоді Z_e, Z_f і $Z_{fe} \rightarrow \infty$ \$/(кВт·год), $\beta \rightarrow 1,0$ і $K_{PE} \rightarrow 0$ (див. формули (1.2.1) – (1.2.8)). Для режимів малої ефективної потужності значення критерію K_{PE} і його складових неінформативні.

Однак з нашої точки зору чималий науковий і практичний інтерес викликає порівняння між собою і порежимних значень критерію K_{PE} , і його складових, що дозволить виявити закономірності та особливості оцінюваного рівня паливно-екологічного досконалості оцінюваних ПДВЗ при роботі їх по окремим режимам моделей експлуатації.

В такому випадку можна виділити чотири основні способи модифікації математичного апарату критерію K_{PE} і методики його застосування для переходу від середньоексплуатаційних до порежимних значень критерію і його складових, які представлені на рис. 4.1.3.

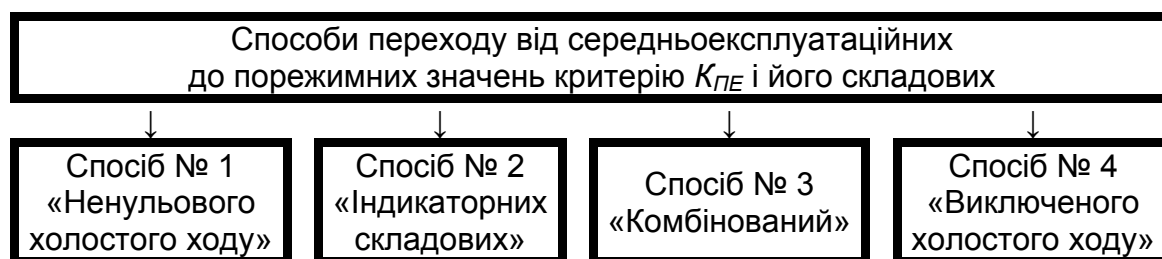


Рис. 4.1.3 – Способи переходу від середньоексплуатаційних до порежимних значень критерію K_{PE} і його складових

Способи переходу від середньоексплуатаційних до порежимних значень критерію K_{PE} і його складових можна описати таким чином.

Спосіб № 1 «Ненульового холостого ходу». Передбачає перехід від визначення поняття «холостий хід» з використанням понятійного апарату

дисципліни «Теорія ДВЗ» до використанням понятійного апарату дисципліни «Експлуатація ЕУ» і надання в зв'язку з цим ненульових значень крутному моменту, а значить і ефективної потужності, режимам холостого ходу моделі експлуатації ПДВЗ.

Спосіб № 2 «Індикаторних складових». Передбачає використання питомих індикаторних значень всіх складових критерію.

Спосіб № 3 «Комбінований». Передбачає використання порежимних значень приведених питомих ефективних масових часових викидів законодавчо нормованих полютантів і середньоексплуатаційних значень ефективного ККД і питомої ефективної масової годинної витрати палива.

Спосіб № 4 «Виключеного холостого ходу». Передбачає присвоєння режимам холостого ходу нульових або негативних значень паливно-екологічної ефективності й неврахування режимів холостого ходу при підрахунку середньоексплуатаційного значення критерію. Спосіб № 4 в подальшому дослідженні застосовується не буде через невідповідність меті й задачам критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ взагалі, і даного дослідження зокрема.

Для реалізації способу № 2 потрібно інформація щодо порежимних значень індикаторного ККД η_i та індикаторної потужності N_i ПДВЗ. Оскільки дане розрахункове дослідження, як і дослідження [14, 24], виконано на прикладі автотракторного дизеля Д21А1 (2Ч10,5/12), а в якості моделі експлуатації використано 13-режимний стандартизований стаціонарний випробувальний цикл, то така інформація має вигляд, представлений на рис. 4.1.4. Опис технічних характеристик дизеля 2Ч10,5/12 і параметрів його моделі експлуатації, а також нормативні вимоги до показників токсичності його ВГ, містяться в роботах [14, 24].

Для реалізації способу № 1 необхідно задатися значенням ефективної потужності N_e на режимах холостого ходу (при частоті обертання колінчастого вала $n_{ке} = 800 - 1800 \text{ хв}^{-1}$), зокрема для 13-режимного циклу – режиму мінімального холостого ходу. Приймаємо значення, рівне 0,5 % від паспортного максимального значення крутного моменту $M_{кр}$ по зовнішній швидкісній характеристиці ($M_{крmax} = 110 \text{ Н}\cdot\text{м}$ при частоті обертання колінчастого вала $n_{ке} = 1200 \text{ хв}^{-1}$), що для частоти обертання колінчастого вала дизеля 2Ч10,5/12 на режимі мінімального холостого ходу $n_{ке} = 800 \text{ хв}^{-1}$ приймає значення 0,55 Н·м, а ефективна потужність при цьому складе 46,1 Вт.

Ця ефективна потужність при роботі ПДВЗ в складі ЕУ, зокрема одиниці пожежної або аварійно-рятувальної техніки, витрачається на забезпечення дозарядки електричного акумулятора, дозаправки газового балона пневмопривода системи відкриття дверей, створення надлишкового тиску в акумуляторі гідравлічного сервоприводу системи підсилювача рульового управління, створення розрядження у вакуумних системах сервоприводу гальмівної системи, забезпечення роботи систем освітлення, запалювання, електронного автоматичного управління, GPS-навігації, радіо- і стільникового зв'язку з диспетчером, кондиціонування, системи

запобігання викраденню, мультимедійної системи, приладової панелі, роботи склоочисників й склопідйомників і т.д.

Тобто, для забезпечення енергією і підтримки робочих параметрів агрегатів систем, безпосередньо не беруть участь у виконанні основних функцій одиниці такої техніки (тобто обслуговуючих), наприклад приводу насоса подачі вогнегасної рідини, гідравлічної пожежної драбини, автокрана, кузова самоскида і т.д., і не приводять у рух саму ЕУ.

Середньоексплуатаційні значення ефективних й індикаторних значень потужності й ККД дизеля 2Ч10,5/12 для 13-режимного циклу, розраховані за формулами (1.2.1) – (1.2.3), тобто для базового варіанту, мають такі значення: $\eta_{eme} = 0,344$, $N_{eme} = 6,152$ кВт, $\eta_{ime} = 0,557$, $N_{ime} = 9,977$ кВт, $\eta_{ime} = 0,617$, $g_{eme} = 0,291$ кг/(кВт·год), $g_{ime} = 0,180$ кг/(кВт·год).

Середньоексплуатаційні значення витрат Z_f , Z_e і Z_{fe} , величини U_e , коефіцієнта β , а також комплексного паливно-екологічного критерію $K_{ПЕ}$, розраховані за формулами (1.2.4) – (1.2.8) для базового варіанту, мають такі значення: $Z_{ime} = 0,253$ \$/(кВт·год), $Z_{eme} = 0,832$ \$/(кВт·год), $Z_{feme} = 1,085$ \$/(кВт·год), $U_{eme} = 2,858$ \$/кг, $\beta_{me} = 0,7668$, $K_{ПЕ} = 85,690$ %.

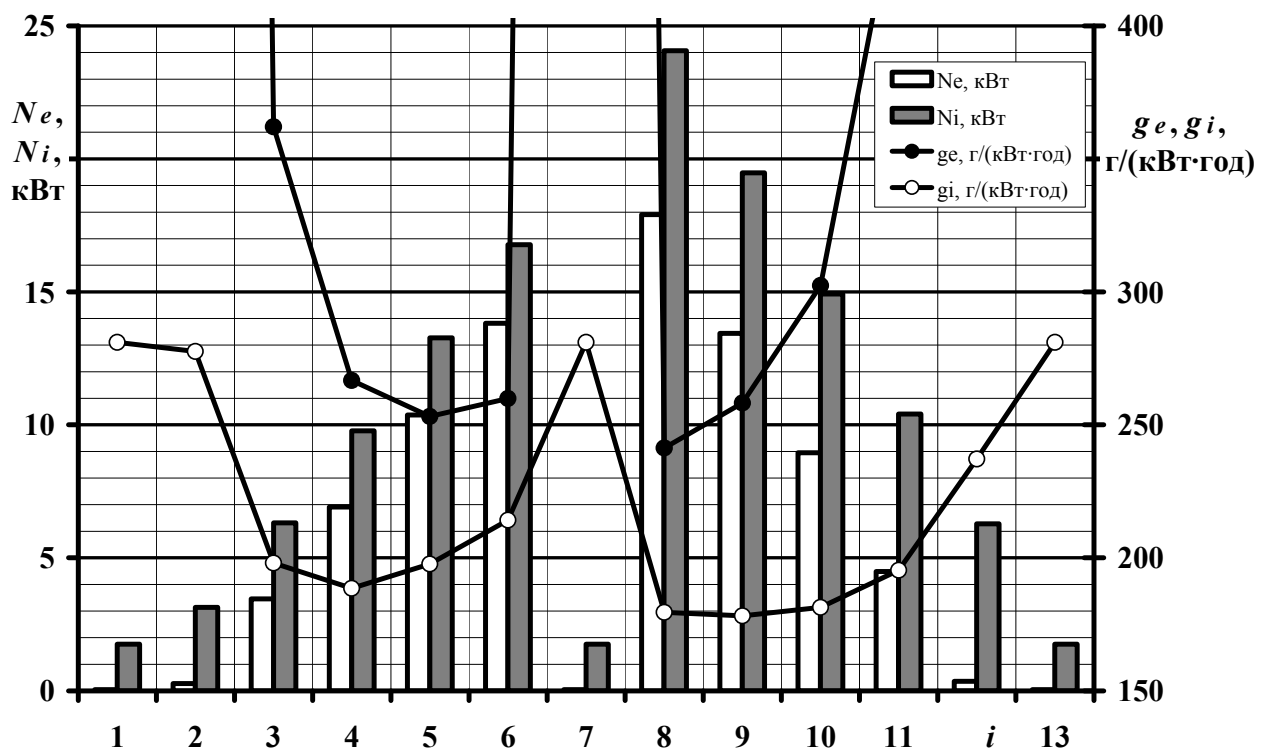


Рис. 4.1.4 – Порежимні значення індикаторних показників роботи дизеля 2Ч10,5/12 для 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу [9, 23]

Ці величини в даному дослідженні є еталонними, з якими будуть порівнюватися результати застосування всіх трьох способів переходу від середньоексплуатаційних до порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових, їх значення зведені в табл. 4.1.1.

4.1.5. Результати розрахункового порівняльного дослідження способів отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових

Результати розрахункового порівняльного дослідження для всіх трьох способів переходу від середньоексплуатаційних до порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових представлені на рис. 4.1.5 – 4.1.10.

На рис. 14.1.5 – 4.1.8 видно, що для режимів мінімального холостого ходу (№№ 1, 7 і 13), а також малої ефективної потужності (№№ 2 і 12) різниця значень величин витрат Z_f , Z_e і Z_{fe} для способу № 1 досягає 100 ... 300 разів зі значеннями для способів №№ 2 і 3. Значення величин U_e і коефіцієнта β інваріантні щодо способу отримання порежимних значень.

Без урахування значень для режимів №№ 1, 2, 7, 12 і 13 за способом № 1 порежимні значення витрат на паливо Z_f знаходяться в межах 0,16 ... 0,28 \$/(кВт·год) (для способу № 3 однакові для всіх режимів), витрат на компенсацію екологічної шкоди Z_e – 0,27 ... 1,19 \$/(кВт·год), сумарних паливно-екологічних витрат Z_f знаходяться в межах 0,48 ... 1,47 \$/(кВт·год) (див. рис. 4.1.8).

Характер розподілу по режимам обраної моделі експлуатації ПДВЗ порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ для способу № 1 їх отримання, як можна бачити на рис. 4.1.9, принципово відрізняється від характеру для способів № 2 і 3.

Так, для способу № 1 характерні низькі, але все ж відмінні від нуля, значення критерію $K_{ПЕ}$ для режимів мінімального холостого ходу №№ 1, 7 і 13 (2,5 % від максимального значення 77 ‰) і малої ефективної потужності №№ 2 і 12 (17 і 12 % від максимального значення відповідно), зростання їх зі збільшенням значення крутного моменту $M_{кр}$ по навантажувальним характеристикам (режими №№ 2 – 6 з $n_{кв} = 1200 \text{ хв}^{-1}$ і №№ 12 – 8 з $n_{кв} = 1800 \text{ хв}^{-1}$) на 94 і 95 % відповідно.

При цьому між режимами №№ 3 – 6 ці значення змінюються всього на 14,5 %, а між режимами №№ 11 – 8 на 26,5 %.

На противагу вищеописаному, для способу № 2 характер розподілу значень критерію $K_{ПЕ}$ за режимами моделі експлуатації наступний: для режимів №№ 1, 7 і 13 (мінімального холостого ходу) практично дорівнюють значенням для режиму номінальної потужності (режим № 6 – 79 ‰) і незначно поступаються значенням для режиму номінальної потужності (режим № 8 – 66 ‰).

За режимами навантажувальної характеристики з $n_{кв}$ режиму максимального крутного моменту значення критерію $K_{ПЕ}$ зменшуються в міру збільшення значення крутного моменту $M_{кр}$ на 45 % і досягають мінімуму на режимі зовнішньої швидкісної характеристики.

За режимами навантажувальної характеристики з $n_{кв}$ режиму номінальної потужності значення критерію $K_{ПЕ}$ в функції значень $M_{кр}$ поводяться аналогічно (зменшуються на 37,5 %), але мінімуму сягають не на режимі зовнішньої швидкісної характеристики, а на режимі № 9, тобто мають перегин.

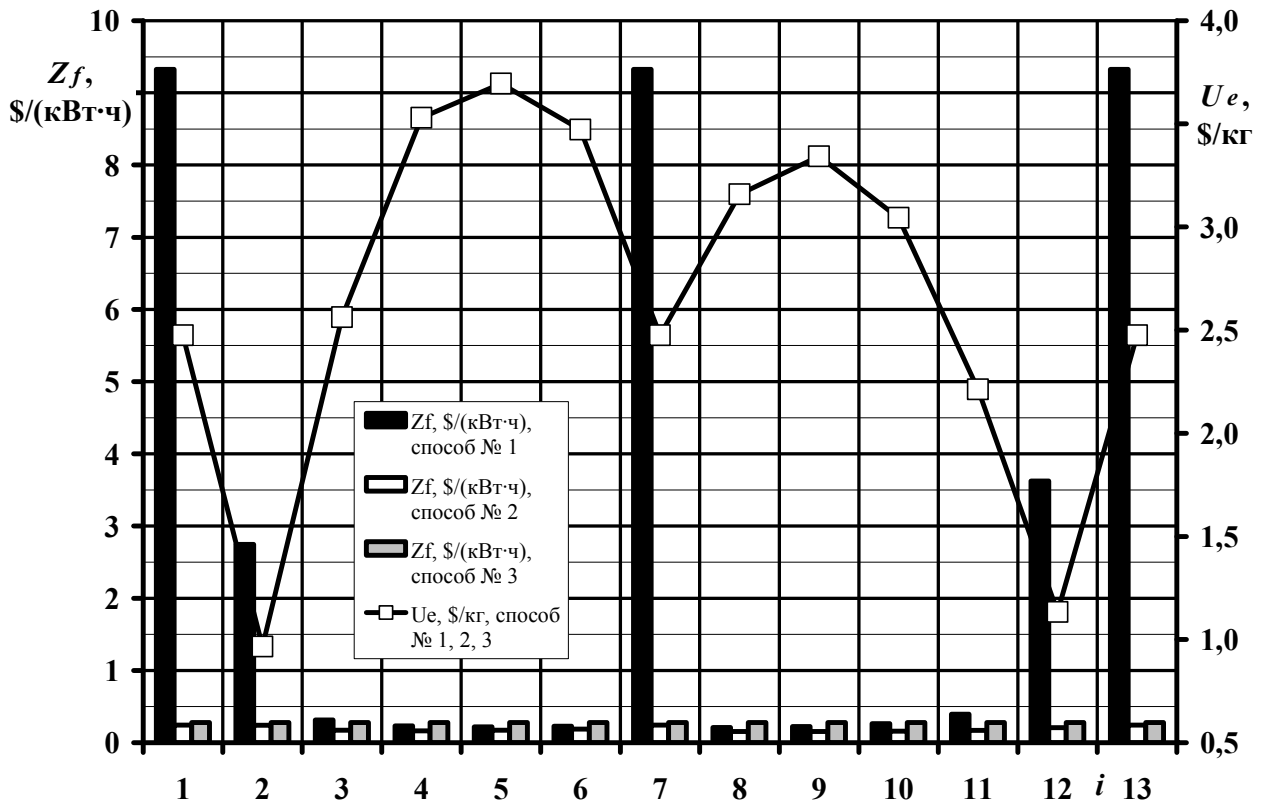


Рис. 4.1.5 – Результати розрахункового порівняльного дослідження порежимних значень витрат на паливо Z_f і екологічного збитку U_e для всіх способів їх отримання (мовою оригіналу)

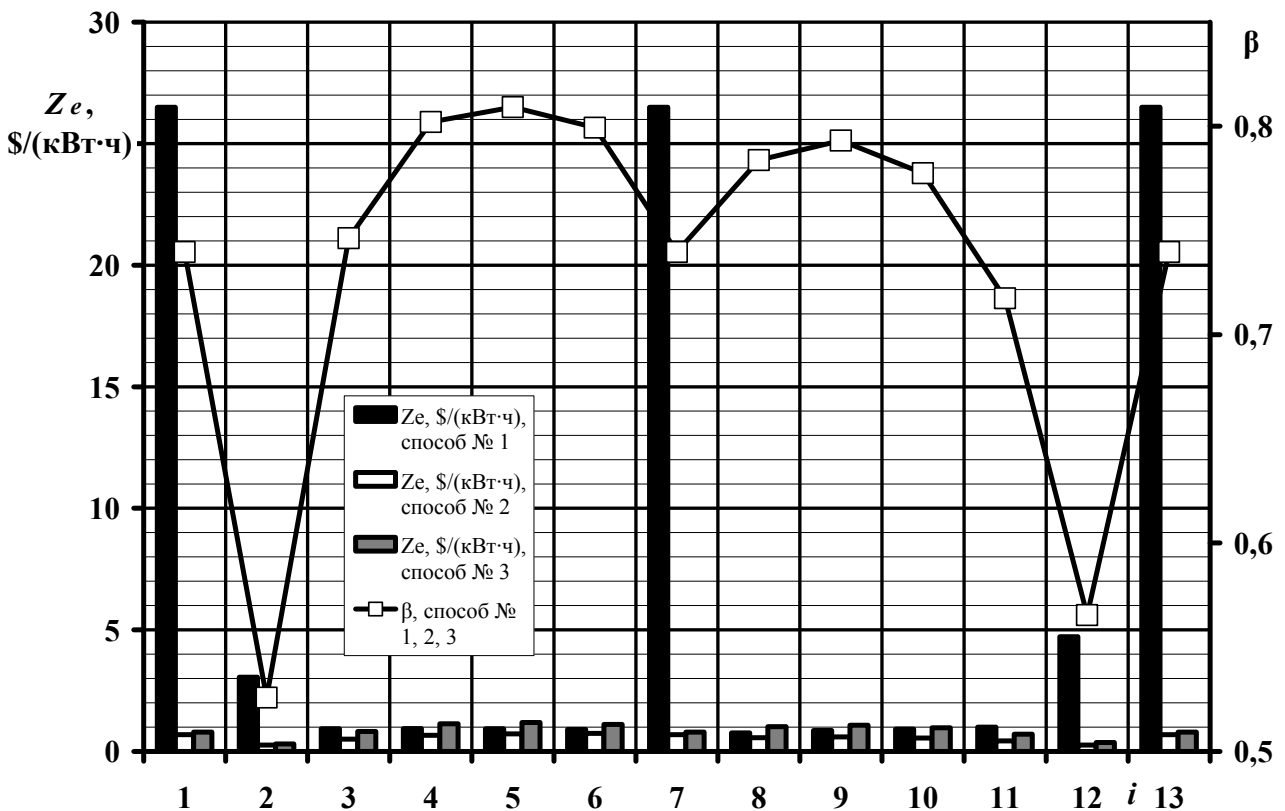


Рис. 4.1.6 – Результати розрахункового порівняльного дослідження порежимних значень витрат на відшкодування екологічного збитку Z_e і коефіцієнта β для всіх способів їх отримання (мовою оригіналу)

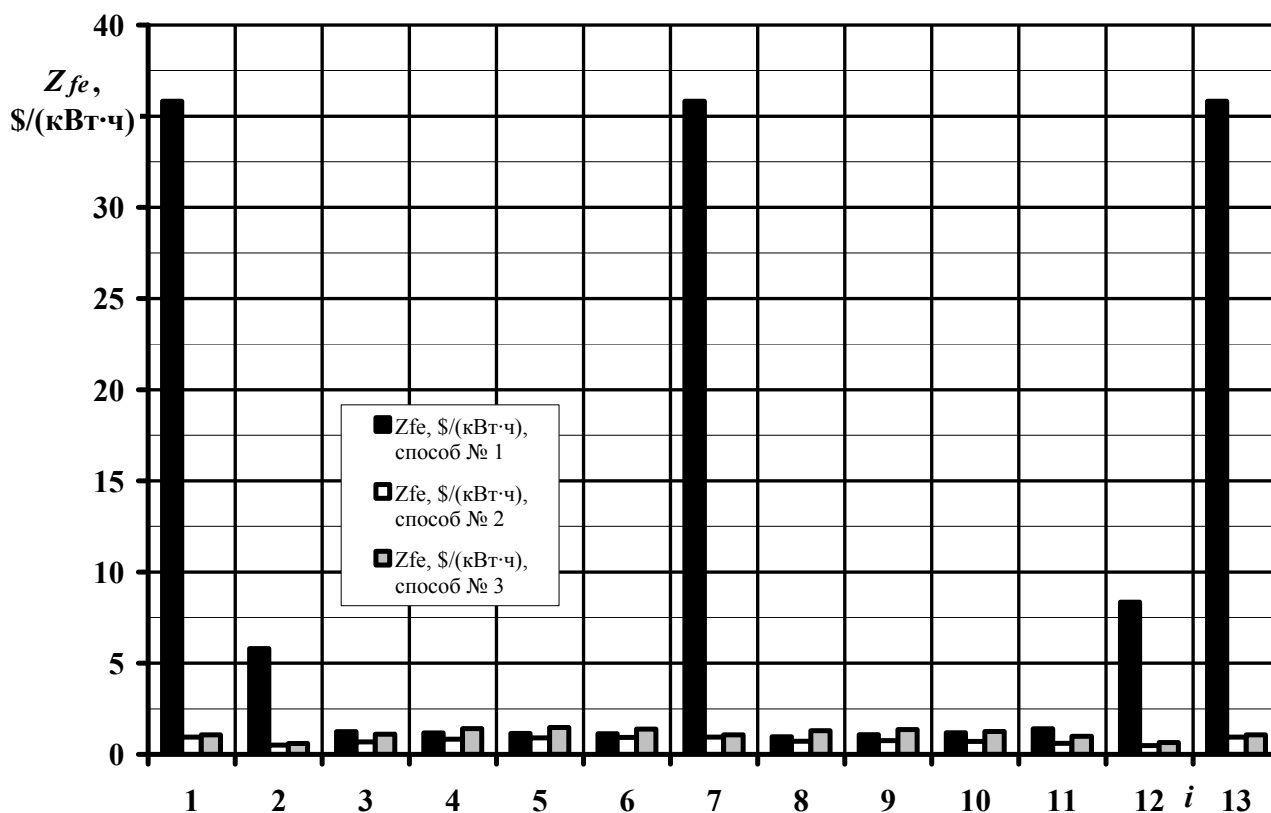


Рис. 4.1.7 – Результати розрахункового порівняльного дослідження порежимних значень сумарних паливно-екологічних витрат Z_{fe} для всіх способів їх отримання (мовою оригіналу)

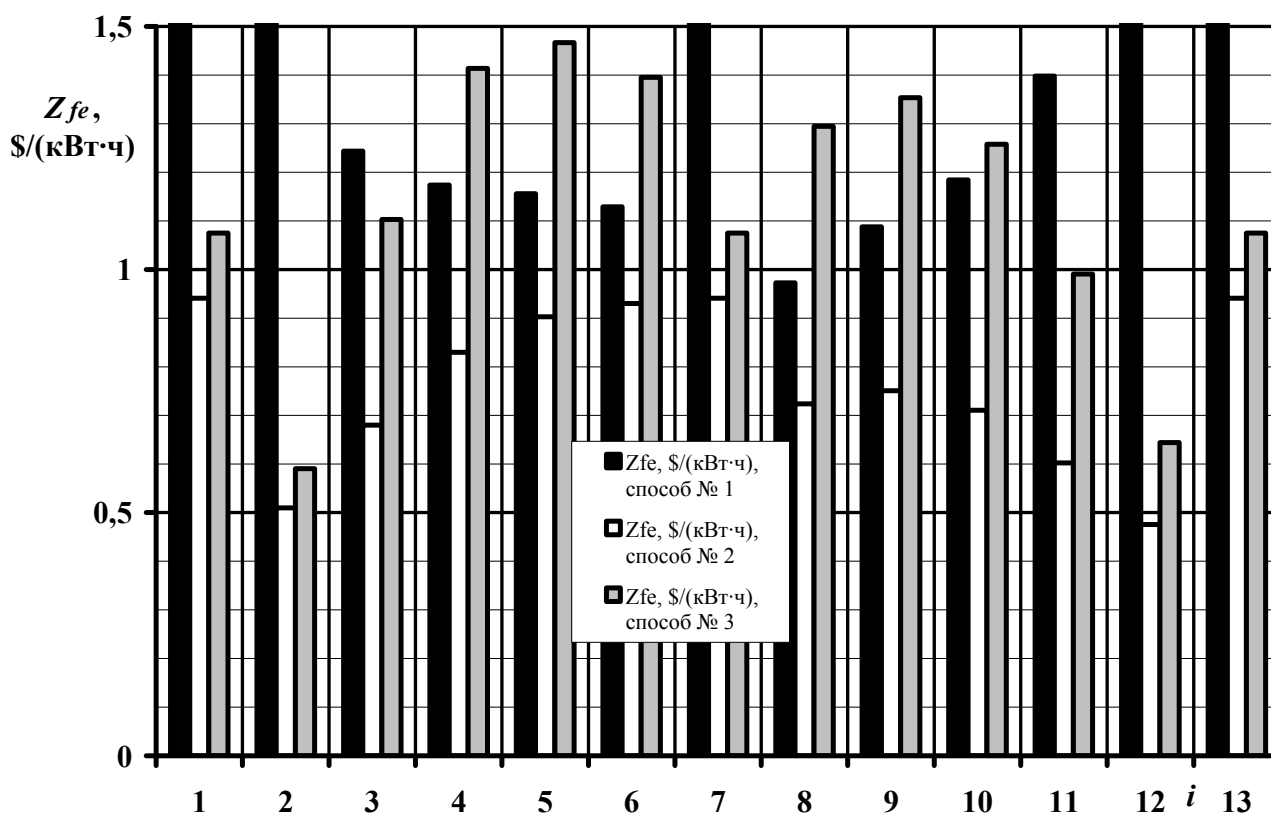


Рис. 4.1.8 – Результати розрахункового порівняльного дослідження порежимних значень сумарних паливно-екологічних витрат Z_{fe} для всіх способів їх отримання (укрупнений фрагмент) (мовою оригіналу)

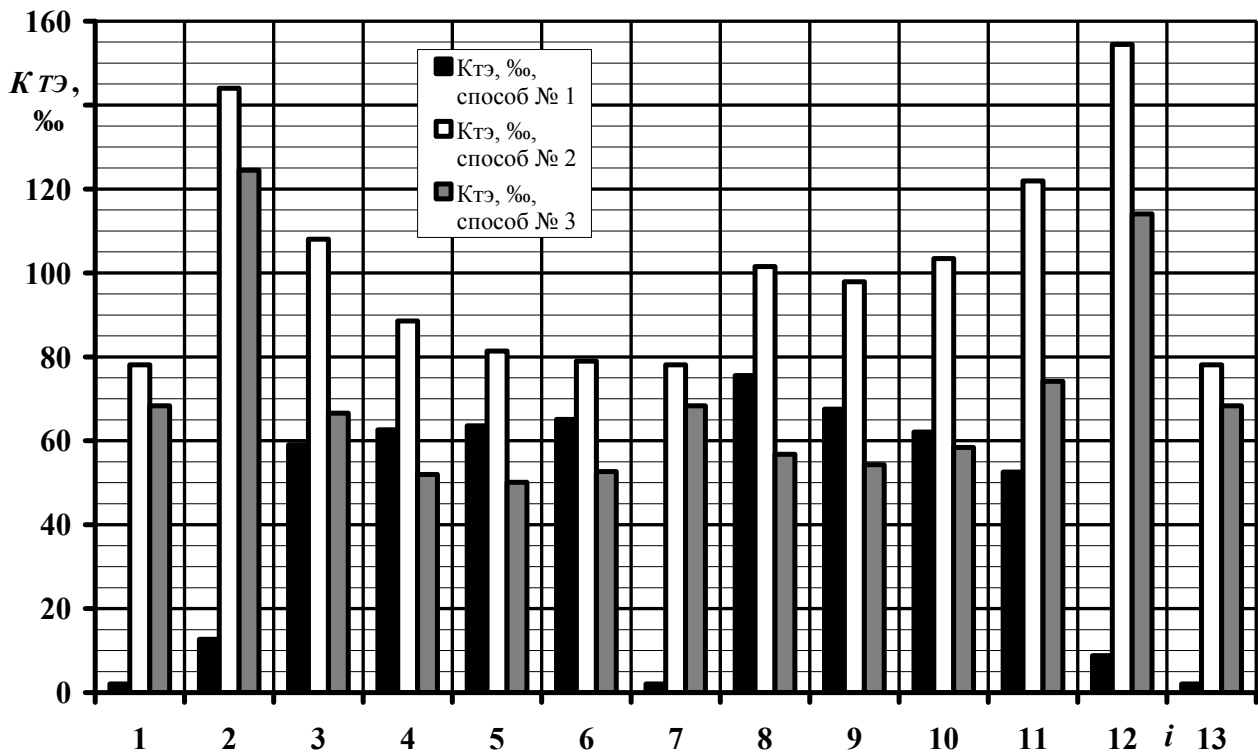


Рис. 4.1.9 – Результати розрахункового порівняльного дослідження порежимних значень критерію K_{PE} для всіх способів їх отримання (мовою оригіналу)

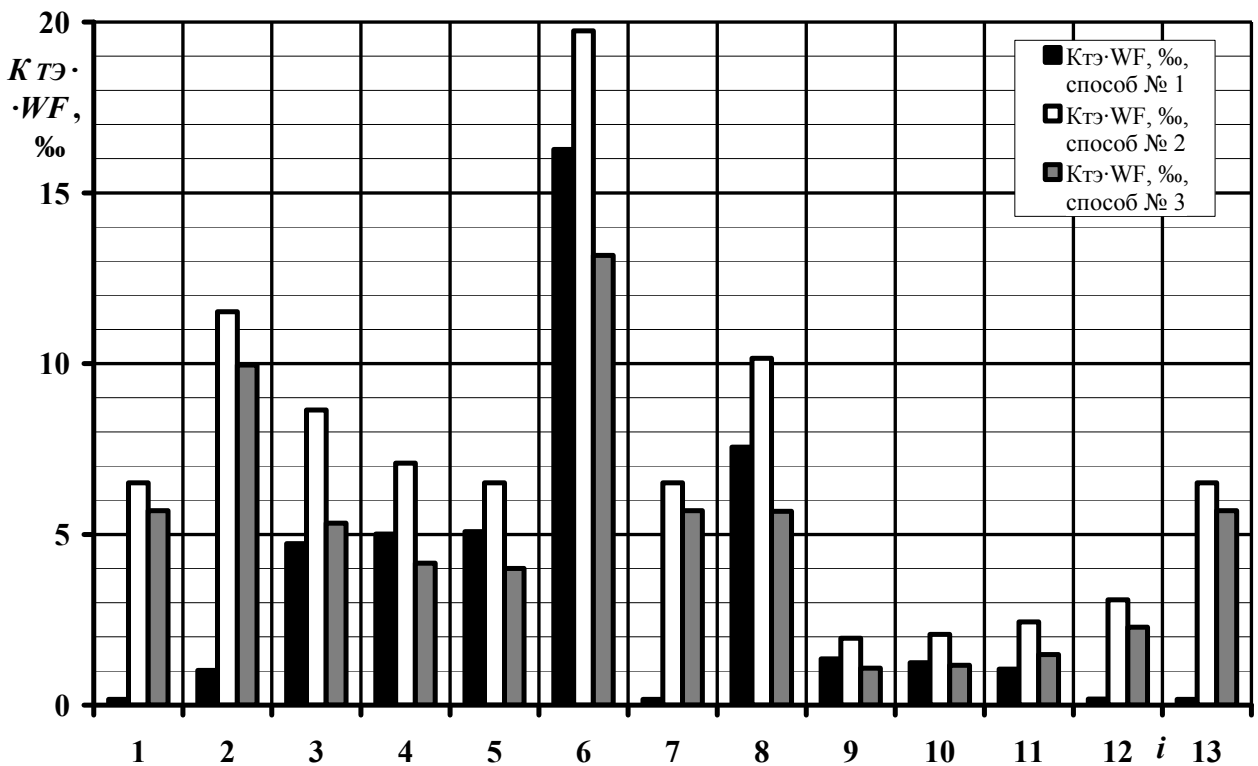


Рис. 4.1.10 – Результати розрахункового порівняльного дослідження порежимних значень критерію K_{PE} з урахуванням вагового фактора окремих представницьких режимів WF моделі експлуатації для всіх способів їх отримання (мовою оригіналу)

Характер розподілу значень критерію $K_{ПЕ}$ за режимами моделі експлуатації для способу № 3 принципово повторює характер для способу № 2, однак перегин функції залежності значень критерію $K_{ПЕ}$ від значень $M_{кр}$ спостерігається на обох навантажувальних характеристиках.

Мінімуми досягаються на режимах № 5 і 9 (50 і 54 ‰ відповідно), при цьому значення критерію $K_{ПЕ}$ зменшуються на 60 і 52 % відповідно, а максимуми досягаються на режимах малої ефективної потужності №№ 2 і 12 (144 і 154 ‰ відповідно).

Розподіл порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ з урахуванням вагового фактора WF режимів моделі експлуатації для різних способів їх отримання представлено на рис. 4.1.10.

Аналогічно розподілу значень критерію $K_{ПЕ}$ без урахування вагового фактора WF , для способу № 1 їх отримання принципово відрізняється від характеру для способів № 2 і 3.

Для способу № 1 характерні низькі, але все ж відмінні від нуля, значення критерію $K_{ПЕ} \cdot WF$ для режимів мінімального холостого ходу №№ 1, 7 і 13 з $n_{ке} = 800 \text{ хв}^{-1}$ (1,5 % від максимального значення 12,6 ‰) і малої ефективної потужності №№ 2 і 12 (8,5 і 2,0 % від максимального значення відповідно), зростання їх зі збільшенням значення крутного моменту $M_{кр}$ по навантажувальним характеристикам (режими №№ 2 – 6 з $n_{ке} = 1200 \text{ хв}^{-1}$ і №№ 12 – 8 з $n_{ке} = 1800 \text{ хв}^{-1}$) на 93,5 і 98,5 % відповідно.

При цьому між режимами №№ 3 – 5 ці значення змінюються всього на 8 %, між режимами №№ 5 і 6 – на 68 %, між режимами №№ 11 – 9 – на 20 %, між режимами №№ 9 і 8 – на 80 %.

Для способу № 2 характер розподілу значень критерію $K_{ПЕ} \cdot WF$ по режимам моделі експлуатації принципово відрізняється від такого характеру для способу № 1 – для режимів №№ 1, 7 і 13 (з $n_{ке} = 800 \text{ хв}^{-1}$) практично дорівнюють значенням для режиму номінальної потужності (режим № 6 – 6,5 ‰) режиму номінальної потужності (режим № 8 – 6,5 ‰).

За режимам навантажувальної характеристики з $n_{ке} = 1200 \text{ хв}^{-1}$ значення критерію $K_{ПЕ} \cdot WF$ змінюються в функції значення $M_{кр}$ маючи перегин, досягають максимуму 19,7 ‰ на режимі № 6, мінімуму 6,5 ‰ на режимі № 5 і значення 11,5 ‰ на режимі № 2.

За режимам навантажувальної характеристики з $n_{ке} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ значення $K_{ПЕ} \cdot WF$ у функції значень $M_{кр}$ поводяться аналогічно, маючи перегин досягаючи максимуму 10,1 ‰ на режимі № 8, мінімуму 1,9 ‰ на режимі № 9 і значення 3,1 ‰ на режимі № 12.

Характер розподілу значень критерію $K_{ПЕ} \cdot WF$ по режимам моделі експлуатації для способу № 3 принципово повторює характер для способу № 2.

Мінімуми досягаються на режимах № 5 і 9 (4,0 і 1,1 ‰ відповідно), максимуми досягаються на режимах зовнішньої швидкісної характеристики №№ 6 і 8 (13,2 і 5,8 ‰ відповідно), а на режимах малої ефективної потужності №№ 2 і 12 його значення рівні 9,9 і 2,3 ‰ відповідно.

Безпосереднє порівняння результатів застосування всіх трьох дос-

ліджуваних способів отримання порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових між собою і, найголовніше, з базовим варіантом, описаним в монографії [5], можливо тільки за середньоексплуатаційними значеннями через те, що базовий варіант не забезпечує можливість отримання порежимних значень.

Розраховані середньоексплуатаційні значення критерію $K_{ПЕ}$ і його складових для базового варіанту розрахунків і всіх трьох способів переходу від середньоексплуатаційних до порежимних їх значень зведені в табл. 4.1.2 і проілюстровані на рис. 4.1.11 і 4.1.12.

У табл. 4.1.2 також наведені дані для дизеля СМД-31, що працює на дизельному паливі, отримані в дослідженні [5], для моделей експлуатації, що характеризуються мінімальними і максимальними значеннями критерію $K_{ПЕ}$ – це 28-режимний (дизель вантажного автомобіля) та 27-режимний (комбайновий дизель) стаціонарні випробувальні цикли відповідно.

Величини витрат для дизеля СМД-31 виражені в $\$/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ станом на вересень 2017 року з урахуванням того, що на момент виходу монографії [5] (2003 рік) офіційний обмінний курс НБУ долара США становив 5,324 UAH/USD, а також індекс CPI в 2003 році становив в середньому 175, а в 2017 р – 235 [24].

4.1.6. Вибір способу отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових

На рис. 4.1.11 і в табл. 4.1.2 видно, що середньоексплуатаційні значення витрат Z_f , Z_e і Z_{fe} , оцінені розрахунково за допомогою базового варіанту математичного апарату критерію $K_{ПЕ}$ для дизеля 2Ч10,5/12 приблизно в два рази перевершують значення цих же величин для дизеля СМД-31 при його роботі по 28-режимному випробувального циклу (що характеризується мінімальним середньоексплуатаційним значенням величини критерію $K_{ПЕ}$ з наведених в монографії [5]) і в чотири рази перевершують значення цих же величин для дизеля СМД-31 при його роботі по 27-режимному випробувального циклу (що характеризується максимальним середньоексплуатаційним значенням величини критерію $K_{ПЕ}$ з наведених в монографії [5]).

Середньоексплуатаційні значення витрат Z_f , Z_e і Z_{fe} , розрахунково оцінені для всіх варіантів отримання їх порежимних значень, відрізняються від відповідних значень, оцінені з застосуванням всіх трьох досліджуваних способів отримання їх порежимних значень складають 935, 73 і 110 % для способів №№ 1 – 3 відповідно від аналогічних значень для базового варіанту.

Значення екологічного збитку U_e (див. рис. 4.1.11 і табл. 4.1.2) залежать тільки від виду моделі експлуатації і не залежать від способу отримання порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових.

Практично таким же є характер поведінки величини коефіцієнта β (див. рис. 4.1.12).

Величини середньоексплуатаційного ефективного ККД η_{eme} для дизеля СМД-31, що працює як по 28, так і по 27-режимному циклу, а також для дизеля Д21А1, оцінені за базовим варіантом методики з монографії [8], один від одного відрізняються вкрай мало, не більше, ніж на 4 % (див. рис. 4.1.11 і табл. 4.1.2).

Відмінності значень η_{eme} для способів отримання їх порежимних значень №№ 1 – 3 від значення для базового варіанту приймають значення –52,6, –30,8 і –18,6 % відповідно, тобто всі три способи дають занижену оцінку величини η_{eme} .

Величина питомої ефективного масового годинної витрати палива g_{eme} для дизеля СМД-31, що працює як по 28, так і по 27-режимному циклу, а також для дизеля Д21А1, оцінені за базовим варіантом методики з монографії [5], один від одного відрізняються вкрай мало, не більше, ніж на 5 % (див. рис. 4.1.11 і табл. 4.1.2).

Відмінності значень g_{eme} для способів отримання їх порежимних значень №№ 1 – 3 від значення для базового варіанту приймають значення 110,2, 43,9 і 22,4 % відповідно, тобто всі три способи дають завищену оцінку величини g_{eme} .

Табл. 4.1.2 – Середньоексплуатаційні значення критерію $K_{ПЕ}$ і його складових для всіх варіантів розрахунку

Параметр	Од. вим.	Дизель СМД-31 [5]		Базовий варіант	Дизель Д21А1		
		min	max		Спосіб		
		28-реж. випр. цикл	27-реж. випр. цикл		1	2	3
Z_{fme}	\$/ (кВт·год)	0,108	0,106	0,253	2,780	0,197	0,280
ΔZ_{fme}	\$/ (кВт·год)	–	–	–	2,527	–0,056	0,027
δZ_{fme}	%	–	–	–	998,814	–22,134	10,672
Z_{eme}	\$/ (кВт·год)	0,409	0,053	0,832	7,543	0,627	0,918
ΔZ_{eme}	\$/ (кВт·год)	–	–	–	6,711	–0,205	0,086
δZ_{eme}	%	–	–	–	806,611	–24,639	10,337
Z_{feme}	\$/ (кВт·год)	0,517	0,159	1,085	10,323	0,825	1,198
ΔZ_{feme}	\$/ (кВт·год)	–	–	–	9,238	–0,260	0,113
δZ_{feme}	%	–	–	–	851,429	–23,963	10,415
U_{eme}	\$/кг	2,074	0,225	2,858	2,858	2,858	2,858
β_{me}	–	0,7910	0,3280	0,7668	0,7307	0,7600	0,7663
$\Delta \beta_{me}$	–	–	–	–	–0,036	–0,007	–0,001
$\delta \beta_{me}$	%	–	–	–	–4,708	–0,887	–0,065
η_{eme}	–	0,357	0,359	0,344	0,163	0,238	0,280
$\Delta \eta_{eme}$	–	–	–	–	–0,181	–0,106	–0,064
$\delta \eta_{eme}$	%	–	–	–	–52,616	–30,814	–18,605
g_{eme}	кг/(кВт·год)	0,236	0,235	0,246	0,517	0,354	0,301
Δg_{eme}	кг/(кВт·год)	–	–	–	0,271	0,108	0,055
δg_{eme}	%	–	–	–	110,163	43,902	22,358
$K_{ПЕme}$	‰	74,5	241,2	85,690	43,989	84,960	65,400
$\Delta K_{ПЕme}$	‰	–	–	–	–41,701	–0,730	–20,290
$\delta K_{ПЕme}$	%	–	–	–	–48,665	–0,852	–23,678

Величина критерію $K_{ПЕ}$ суттєво залежить від виду моделі експлуатації. Так, для дизеля СМД-31, що працює як по 28 (дизель вантажного автомобіля), так і по 27-режимному (комбайновий дизель) циклу (див. рис. 4.1.11 і табл. 4.1.2), відрізняються один від одного в три рази.

Для дизеля Д21А1 величина критерію $K_{ПЕ}$, оцінена за базовим варіантом методики з монографії [5], знаходиться в межах максимального і мінімального значень для дизеля СМД-31 (див. рис. 4.1.11 і табл. 4.1.2).

Відмінності значень критерію $K_{ПЕ}$ для способів отримання їх порежимних значень №№ 1 – 3 від значення для базового варіанту приймають значення $-48,7$, $-0,852$ (з урахуванням середньоексплуатаційного значення механічного ККД дизеля Д21А1) і $-23,678$ % відповідно, тобто всі три способи дають занижену оцінку величини критерію $K_{ПЕ}$.

Таким чином, з аналізу вищенаведених міркувань випливає, що розрахункове оцінювання рівня паливно-екологічної ефективності процесу експлуатації дизеля 2С10,5/12 по 13-режимному стаціонарному стандартизованому випробувальному циклу за базовою методикою, описаною в монографії [5], виконано вірно, на що прямо вказують результати порівняння середньоексплуатаційних значень критерію $K_{ПЕ}$ для досліджуваного дизеля і дизеля СМД-31.

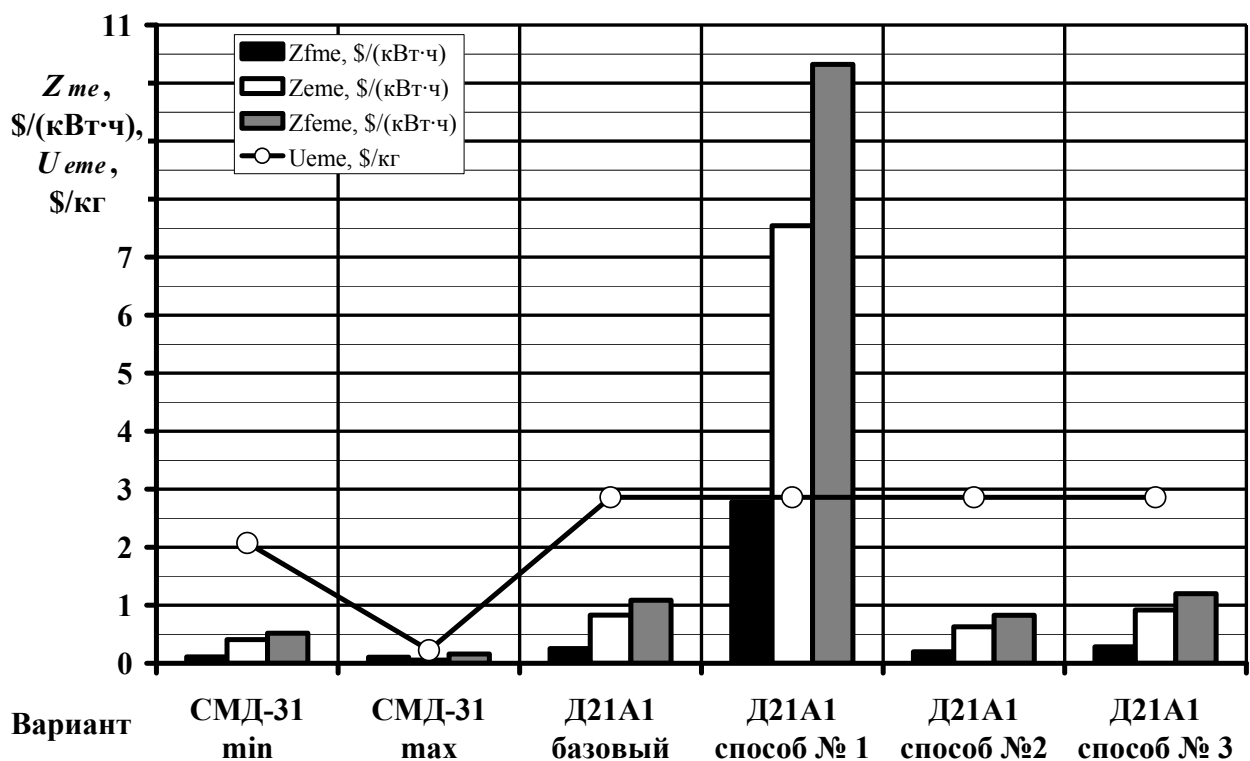


Рис. 4.1.11 – Результати розрахункового порівняльного дослідження середньоексплуатаційних значень витрат на паливо Z_{fme} , на відшкодування екологічного збитку Z_{eme} , сумарних паливно-екологічних витрат Z_{feme} й екологічного збитку U_{eme} для дизеля СМД-31 та дизеля Д21А1 для базового варіанту і всіх способів отримання їх порежимних значень параметрів (мовою оригіналу)

Також стає зрозумілим, що всі три досліджувані способи отримання порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових спотворюють еталонні значення, отримані за базовою методикою. Результати порівняльного розрахункового дослідження такого спотворення представлені на рис. 4.1.13 і 4.1.14, в табл. 4.1.2.

Недоліками способу № 2 є необхідність мати інформацію про значення механічного ККД ПДВЗ на всіх режимах роботи моделі його експлуатації, що не завжди є доступним, а для деяких моделей ПДВЗ є комерційною та/або військовою таємницею.

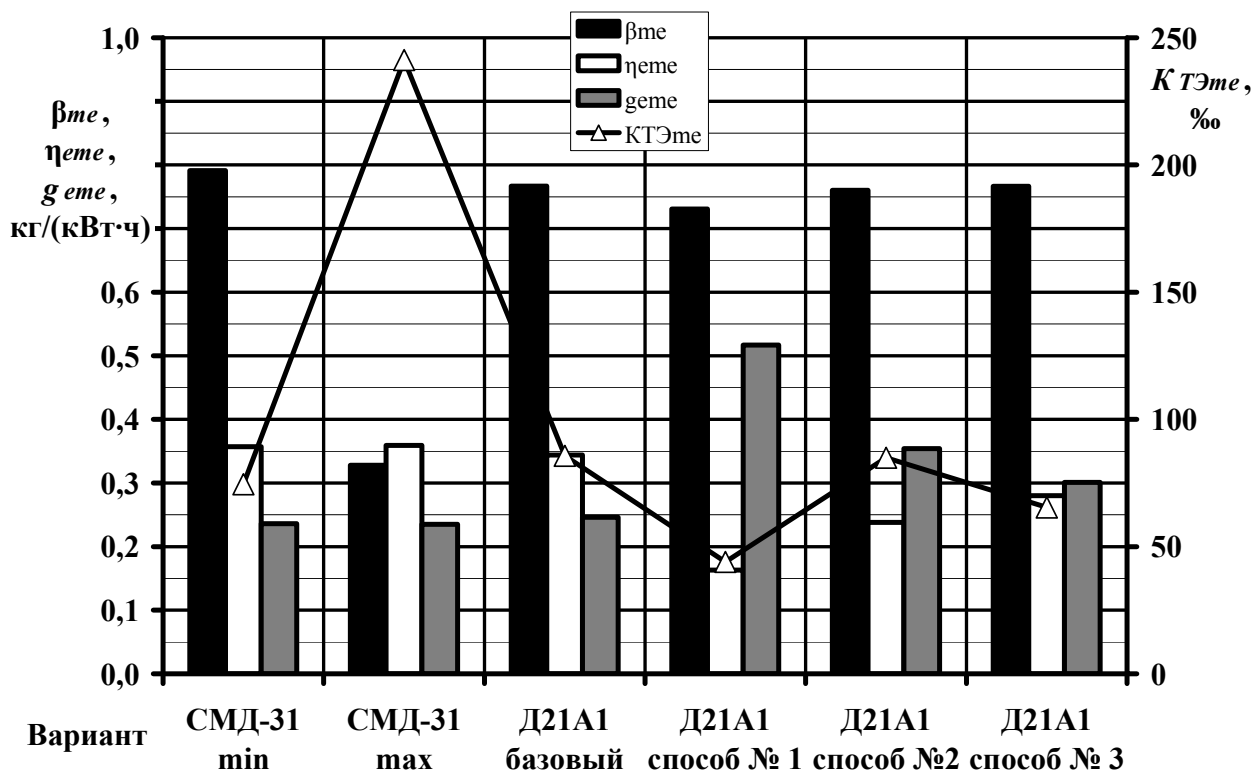


Рис. 4.1.12 – Результати розрахункового порівняльного дослідження середньоексплуатаційних значень критерію $K_{ПЕme}$, коефіцієнта β_{me} , ефективного ККД η_{eme} , питомої ефективного масового годинної витрати палива g_{eme} для дизеля СМД-31 та дизеля Д21А1 для базового варіанту і всіх способів отримання їх порежимних значень (мовою оригіналу)

Отримані на рис. 4.1.13 і 4.1.14 та описані в табл. 4.1.2 дані можна вважати результатами розрахункового оцінюванні методологічної похибки досліджуваних способів в порівнянні з базовим варіантом.

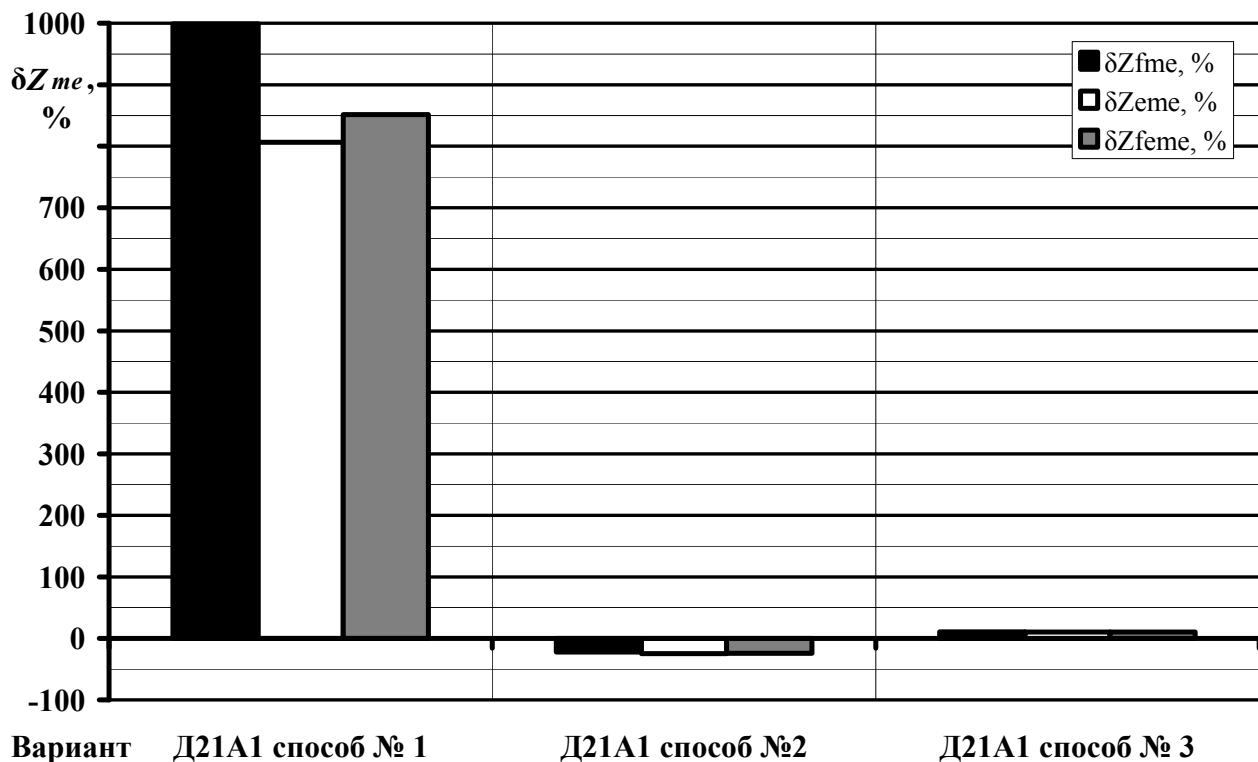


Рис. 4.1.13 – Результати розрахункового порівняльного дослідження середньоексплуатаційних значень відносних відхилень величин витрат на паливо Z_{fme} , на відшкодування екологічного збитку Z_{eme} , сумарних паливно-екологічних витрат Z_{feme} для всіх способів переходу від середньоексплуатаційних до порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових (мовою оригіналу)

Подальші напрями досліджень по темі даної роботи вбачаються наступними.

1. Можна припустити, що значення ефективної потужності, присвоєне режимам холостого ходу, безпосередньо впливає на величину відхилення значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових, визначених за способом № 1, від значень для базового варіанту, тобто його методологічної похибки. А саме, збільшення значення ефективної потужності буде приводити до зменшення відхилень, тобто фактор, що впливає і отриманий ефект в даному випадку знаходяться в зворотній кореляції.

У зв'язку з цим науково-практичний інтерес представляють результати розрахункового визначення величини такої ефективної потужності, яку слід присвоїти режимам холостого ходу, при якій значення відхилень досліджуваних величин для цього способу стануть порівнянними (одного порядку) зі значеннями цих же величин для двох інших способів або гарантовано менше наперед встановленого рівня.

2. Таким, що має не менше науково-практичне значення являє собою питання про інваріантності відхилень значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових, визначених за допомогою одного з трьох досліджуваних спо-

собів, тобто їх методологічні похибки, щодо виду моделі експлуатації ПДВЗ.

Розрахункове дослідження, що дає відповідь на це питання і полягає в повторенні вищенаведених розрахунків для всіх відомих моделей експлуатації ПДВЗ (яких відомо близько 20), може дати один з двох корисних науково-практичних результатів.

У разі підтвердження припущення про наявність такої інваріантності, що краще, може бути отриманий універсальний набір констант, що характеризують критерій $K_{ПЕ}$ і його складові.

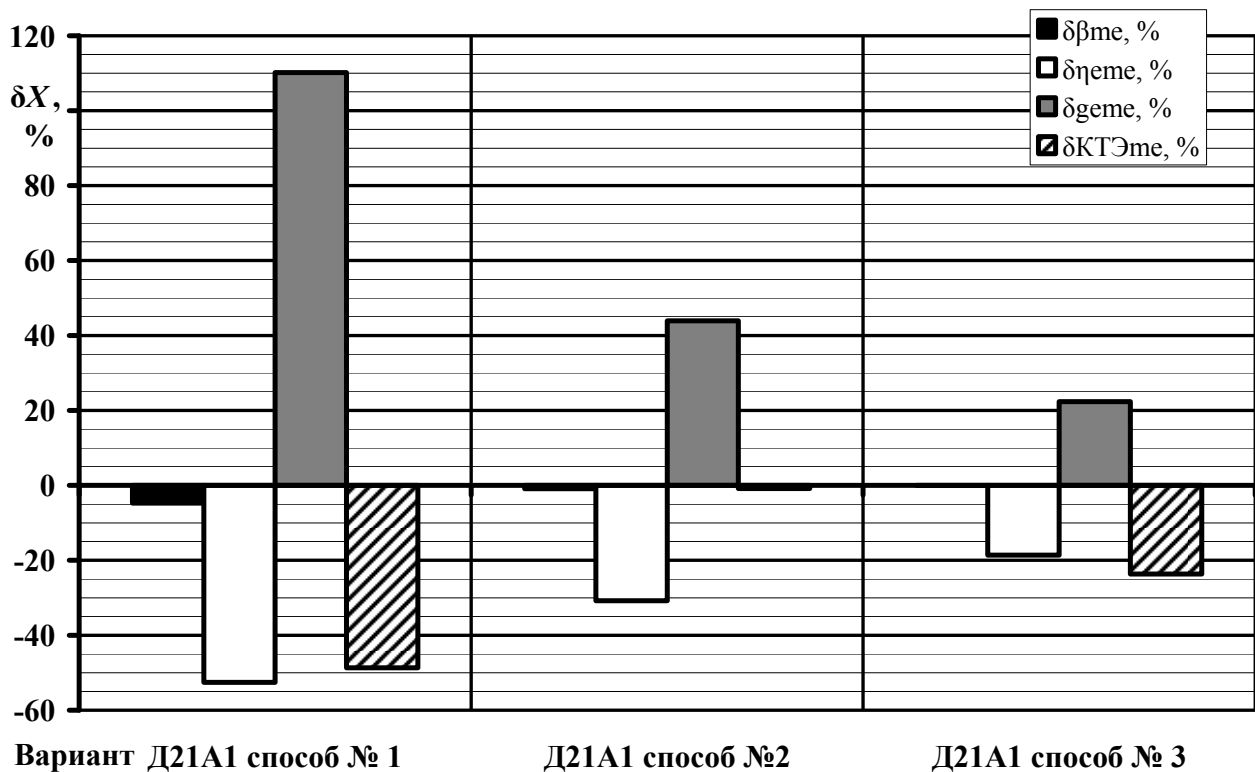


Рис. 4.1.14 – Результати розрахункового порівняльного дослідження середньоексплуатаційних значень критерію $K_{ПЕme}$, коефіцієнта β_{me} , ефективного ККД η_{eme} , питомої ефективного масового годинної витрати палива g_{eme} для всіх способів переходу від середньоексплуатаційних до порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових (мовою оригіналу)

У разі її спростування припущення можуть бути отримані довідкові дані, тобто набір констант для кожної моделі експлуатації ПДВЗ.

За результатами проведеного дослідження слід зробити висновок, що однозначно рекомендувати до застосування будь-якої з досліджуваних способів отримання порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових й одночасно відкинути інші неможливо.

Такий висновок підтверджується вищенаведеними напрямками подальших досліджень.

Кожен із способів має певні переваги і суттєві недоліки.

Однак, можливо ранжувати ці способи по величині методологічної похибки.

Тоді найбільшою пріоритетністю характеризується спосіб № 2 «Індикаторні складових», за ним слідує спосіб № 3 «Виключеного холостого ходу», а найменшою пріоритетністю характеризується спосіб № 1 «Ненульового холостого ходу». При їх використанні слід враховувати величину методологічної похибки, розрахунково отриману в даному дослідженні.

4.1.7. Висновки по розділу

Таким чином, в даному дослідженні виконано аналіз математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію. Виявлено недосліджені аспекти таких апарату і методики. Обґрунтовано актуальність розрахункового дослідження способів переходу від середньоексплуатаційних значень критерію і його складових до порежимних.

Запропоновано чотири способи отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових. Проаналізовано переваги та недоліки таких способів. Виконано попередні розрахунки, необхідні для отримання наборів вихідних даних для реалізації всіх досліджуваних способів.

Виконано розрахункове порівняльне дослідження трьох обраних способів отримання порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію і його складових. Дослідження виконано на прикладі енергетичних установок, оснащених дизельним двигуном 2Ч10,5/12, що працює по 13-режимному стаціонарному стандартизованому випробувальному циклу. Результати розрахункового дослідження представлені в графічному і табличному вигляді, описані вербально їх кількісних і якісних особливостей.

За аналізом результатів розрахункового порівняльного дослідження визначені величини методологічної похибки всіх досліджуваних способів, у функції якої вони ранжовані за пріоритетністю застосування. Встановлено, що найменшою методологічною похибкою відрізняється спосіб із застосуванням питомих індикаторних значень складових критерію, прийнятною похибкою характеризується комбінований спосіб, а спосіб з використанням режимів холостого ходу з ненульовий ефективною потужністю має найбільшу похибку. Визначено напрямки подальших досліджень.

Розділ 4.2. РОЗРАХУНКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОДИНИЦЬ ВАРТІСНИХ ЕКВІВАЛЕНТІВ СКЛАДОВИХ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ

4.2.1. Постановка проблеми

Актуальність дослідження. Процес експлуатації будь-яких одиниць енергетичних установок (ЕУ), що перебувають у комерційному чи особистому користуванні та оснащених поршневіми двигунами внутрішнього згоряння (ПДВЗ), зокрема дизельними, як це показано у статті [24], мають характеризуватися певним рівнем показників екологічної безпеки (ЕБ) [1, 14, 131].

У якості такого показника доцільно використовувати комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова (НТУ «ХПІ») $K_{ПЕ}$, описаний у монографії [5] з урахуванням законодавчо встановлених на території України вимог до екологічних показників ПДВЗ, що міститься у документі [16].

Факторами ЕБ для таких об'єктів є масові годинні викиди законодавчо нормованих поллютантів з потоком відпрацьованих газів (ВГ), які виділяються у значних кількостях під час нормального (безаварійного) процесу експлуатації.

Значення цих критеріїв можуть бути використані для розрахункової оцінки ефективності функціонування системи управління екологічною безпекою (СУЕБ) описаної у монографії [1] відповідно до концепції такого оцінювання, яка була розроблена у дослідженні [14].

Також значення цих критеріїв можуть бути використані для розрахункової оцінки результатів розробки та впровадження заходів щодо підвищення рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ [24].

4.2.2. Аналіз літературних джерел

Вартісні еквіваленти компонентів критерію $K_{ПЕ}$ в монографії [5] виражені в гривнях, що пов'язано з деякими проблемами, описаними у статті [14], де були висунуті певні гіпотези.

У даній роботі ці гіпотези знайдуть своє підтвердження за результатами розрахункового дослідження.

Це буде здійснюватися, на прикладі автотракторного дизельного двигуна 2Ч10,5/12, описання та технічні характеристики якого наведено в джерелі [38].

Вихідні дані для розрахункового оцінювання отримані з аналізу результатів стендових моторних експериментальних досліджень, описаних у роботах [63, 64].

Метою даного дослідження є розрахункове обґрунтування вибору одиниць вартісних еквівалентів для вираження складових комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова.

Об'єктом даного дослідження є математичний апарат і методика застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В.

Парсаданова.

Предметом даного дослідження є одиниці для вираження вартісних еквівалентів складових об'єкту дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні:

1. Аналіз математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова з урахуванням сутності висунутих у дослідженні [14] гіпотез.

2. Модифікація математичного апарату критерію $K_{ПЕ}$ з метою забезпечення можливості оцінювання його значень для окремих репрезентативних режимів роботи ПДВЗ у моделі його експлуатації за методикою, наведеною у роботі [24], на основі набору вихідних даних, отриманих у дослідженнях [63, 64].

3. Розрахункове обґрунтування вибору одиниць для вираження вартісних еквівалентів складових комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова на прикладі автотракторного дизельного двигуна 2Ч10,5/12 та режимів 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу.

4. Аналіз результатів дослідження.

Методами даного дослідження є аналіз спеціалізованої науково-технічної літератури, обробка даних експериментальних стендових моторних випробувань, розрахунок середньоексплуатаційних значень техніко-економічних та екологічних робочих показників дизельного ПДВЗ, математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова, інструментарій для аналізу динаміки обмінних курсів валюти, математичний апарат Індексу споживчих цін CPI .

4.2.3. Отримання вихідних даних

Математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова $K_{ПЕ}$, описаний у монографії [5], було модифіковано у роботі [24] для забезпечення можливості оцінювання його значень для окремого i -го репрезентативних режимів роботи ПДВЗ у моделі його експлуатації.

Особливості моторного випробувального стенду (МВС) та методики експериментальних досліджень на ньому, що використовувались для отримання робочих характеристик дизеля 2Ч10,5/12 та ФТЧ, розробленого та вдосконаленого авторами даного дослідження, наведені у роботах [1, 63, 64].

Робочі характеристики автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 описано у джерелі [38].

Параметри 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу як моделі експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ описано у Правилах ЄЕК ООН № 49 [16].

Законодавчо встановлені на території України вимоги до показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ у історичній перспективі наведено у джерелі [1].

Результати розрахункової оцінки значень критерію $K_{ПЕ}$, які базуються на експериментальних даних, отриманих у статтях [63, 64], для автотракторного дизельного двигуна 2Ч10,5/12, що працює за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу, а також для його окремих режимів як і для циклу в цілому, показані у статті [24].

Вербальне та логічне обґрунтування вибору одиниць вимірювання для складових критерію $K_{ПЕ}$ як найближчого з відомих аналогів критеріями ефективності функціонування СУЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ $\Omega_{СУЕБ}$ – долари США (\$, USD) як вільноконвертованої світової резервної валюти, історія якої повністю охоплює історію існування ПДВЗ – у формі гіпотези, запропоновано і описано у роботі [14], розвинуто у роботі [131].

Таке рішення прийнято на основі наступних міркувань.

По-перше, за визначенням, гроші є товаром максимальної ліквідності та універсальним еквівалентом вартості товарів і послуг [11].

По-друге, наявність успішного досвіду застосування добре відомих підходів до оцінки технічних, економічних та екологічних показників роботи ПДВЗ, розроблених проф. І.В. Парсадановим як частина методології розрахунку паливно-екологічного критерію $K_{ПЕ}$ [5].

По-третє, не всі компоненти грошових витрат дозволяють привести до виду безрозмірної величини β та, крім того, надати їм фізичного сенсу, наприклад середньо експлуатаційного значення питомої ефективної масової годинної витрати палива ПДВЗ, як у випадку критерію $K_{ПЕ}$ [5].

У монографії [5] грошові витрати, що входили до складу критерію $K_{ПЕ}$, виражені в українських гривнях (₴, UAH).

Однак в цьому випадку існує проблема оцінки ефективності заходів, спрямованих на забезпечення певного рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, які перебувають в експлуатації протягом тривалого часу.

Отже, для випадку підвищення рівня ЕБ процесу експлуатації дизельного двигуна 2Ч10,5/12 шляхом оснащення його випускної системи фільтром твердих частинок (ФТЧ), розробленим у відділі поршневих енергоустановок Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України за участю співробітників кафедри прикладної механіки факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України [1, 5, 14, 22, 63, 64, 131], прямого порівняння значень критерію $K_{ПЕ}$ та його складових для базового (дизельний двигун без ФТЧ) та модернізованого (дизельний двигун з ФТЧ) варіантів виконати в гривні складно.

Це пов'язано з наступними обставинами.

По-перше, даний конкретний екземпляр дизеля 2Ч10,5/12 (Д21А1), який використовувався як генератор аерозолу твердих частинок (ТЧ) у потоці ВГ в цих дослідженнях, виготовлений в середині 80-х років ХХ століття, сучасна його модифікація виробництва Володимирського тракторного заводу (Російська Федерація) має значні конструктивні відмінності (наприклад, електронна система управління процесом паливоподачі).

У цьому випадку, точно оцінити загальне напрацювання та залишковий моторесурс двигуна, передісторію та особливості його експлуатації, заходів з технічного обслуговування та ремонту, а також, відповідно, його поточний технічний стан та співвіднести його з будь-яким вартісним показником надзвичайно складно, а то й просто не є можливим.

По-друге, на момент виготовлення цього двигуна такої грошової одиниці, як гривня, не існувало, а одиниця, в якій для виражались його вартісні параметри – Рубль СРСР (SUR), в даний час не існує; грошова одиниця, в якій її вартість оцінювалася в той час, коли моторний стенд був оснащений цим дизелем – Українським купоном-карбованцем (UAK) – теж більше не існує; а поточна модифікація цього дизеля оцінюється в російських рублях (₽, RUB), а на одночасно з періодом існування UAK існував неденомінований російський рубль (RUR).

По-третє, в силу певних об'єктивних економіко-політичних причин обмінний курс гривні до основних вільноконвертованих (так званих твердих) світових резервних валют дуже нестійкий.

Так під час введення в обіг гривні (1996 р.) її офіційний обмінний курс до долара США становив менше 2 ₴/\$, на початку розробки концепції ФТЧ (2008 р.) – близько 5 ₴/\$, на момент отримання експериментальних даних у дослідженні [5] (2013 р.) – близько 8 ₴/\$, на момент створення математичних моделей, описаних у роботах [8 – 10] (2014 р.) – близько 12 ₴/\$, на момент здійснення даного дослідження (жовтень 2016 р.) – близько 26,5 ₴/\$, наразі (лютий 2018 р.) – близько 28,5 ₴/\$.

Неможливо спрогнозувати поведінку цього макроекономічного показника з прийнятною точністю, щонайменше на період у шість місяців вперед, не кажучи вже про більш тривалий термін.

Підтверджує вищесказане історія зміни офіційного середньомісячного курсу гривні до долара США Національного банку України у період з 1998 по 2016 рік, показаний на рис. 4.2.1.

Те саме стосується історії зміни офіційних середньомісячних курсів гривні до євро (€, EUR) та до російського рубля в той же період, представлених на рис. 4.2.2 і 4.2.3 [25, 132].

Найбільш яскраво вищенаведені міркування продемонструє приклад історій зміни офіційного середньомісячного обмінного курсу гривні до долара, до євро та до російського рубля Національного банку України за період з 1998 до 2016 рр., показані на рис. 4.2.4 [25, 132].

Вищенаведене також підтверджується історіями зміни офіційних середньорічних обмінних курсів: рубля СРСР до долара США Державного банку СРСР у період з 1924 до 1992 рр. [25, 132] (див. рис. 4.2.5); українського купоно-карбованця до долара США Національного банку України у період з 1992 до 1995 рр. [25, 132] (див. рис. 4.2.6); неденомінованого російського рубля до долара США Центрального банку Російської Федерації у період з 1991 до 1997 рр. [25, 132] (див. рис. 4.2.7); деномінованого російського рубля до долара США Центрального банку Російської Федерації у період з 1998 до 2017 рр. [25, 132] (див. рис. 4.2.8).

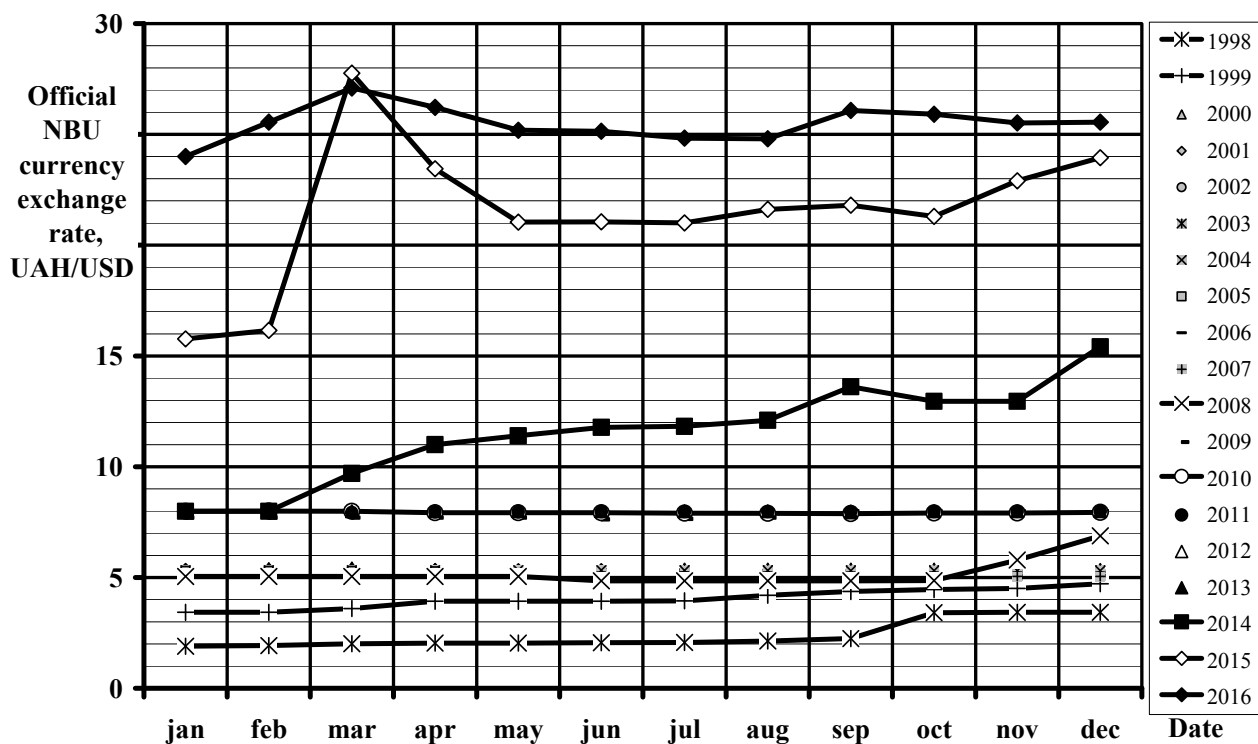


Рис. 4.2.1 – Офіційний середньомісячний обмінний курс гривні до долара США Національного банку України у період з 1998 до 2016 рр. [25, 132] (мовою оригіналу)

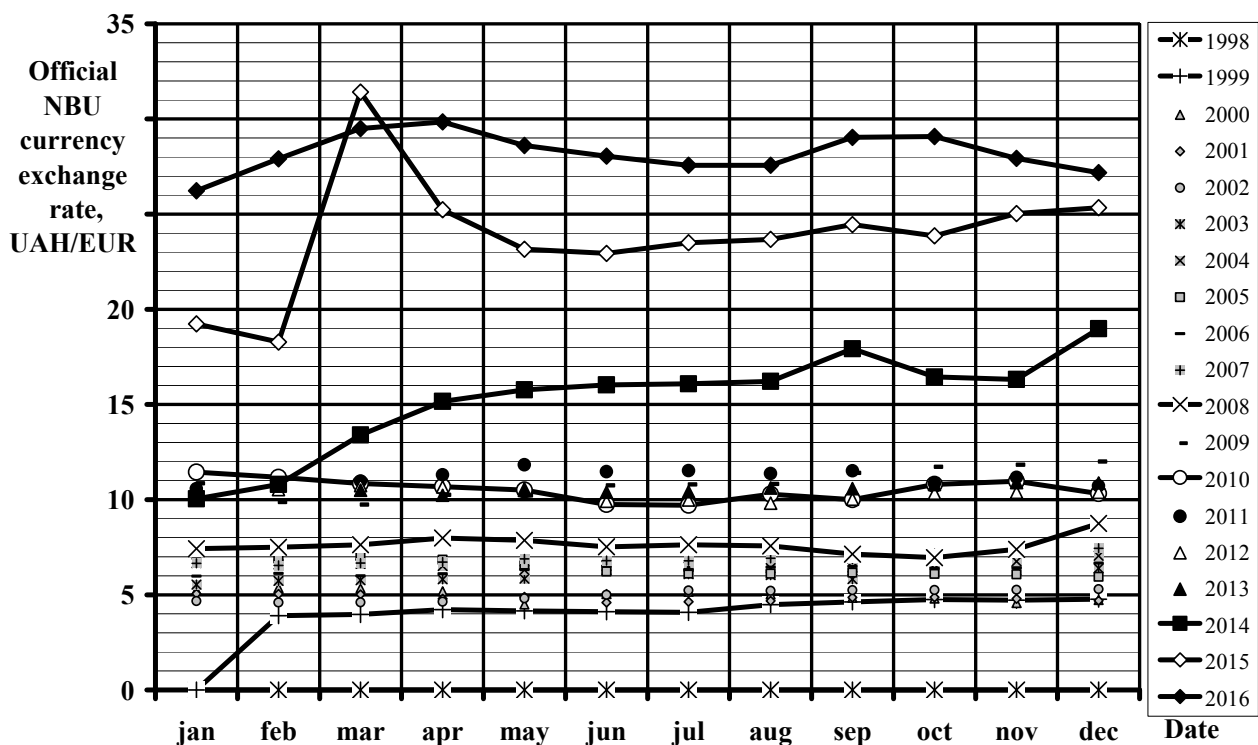


Рис. 4.2.2 – Офіційний середньомісячний обмінний курс гривні до євро Національного банку України у період з 1998 до 2016 рр. [25, 132] (мовою оригіналу)

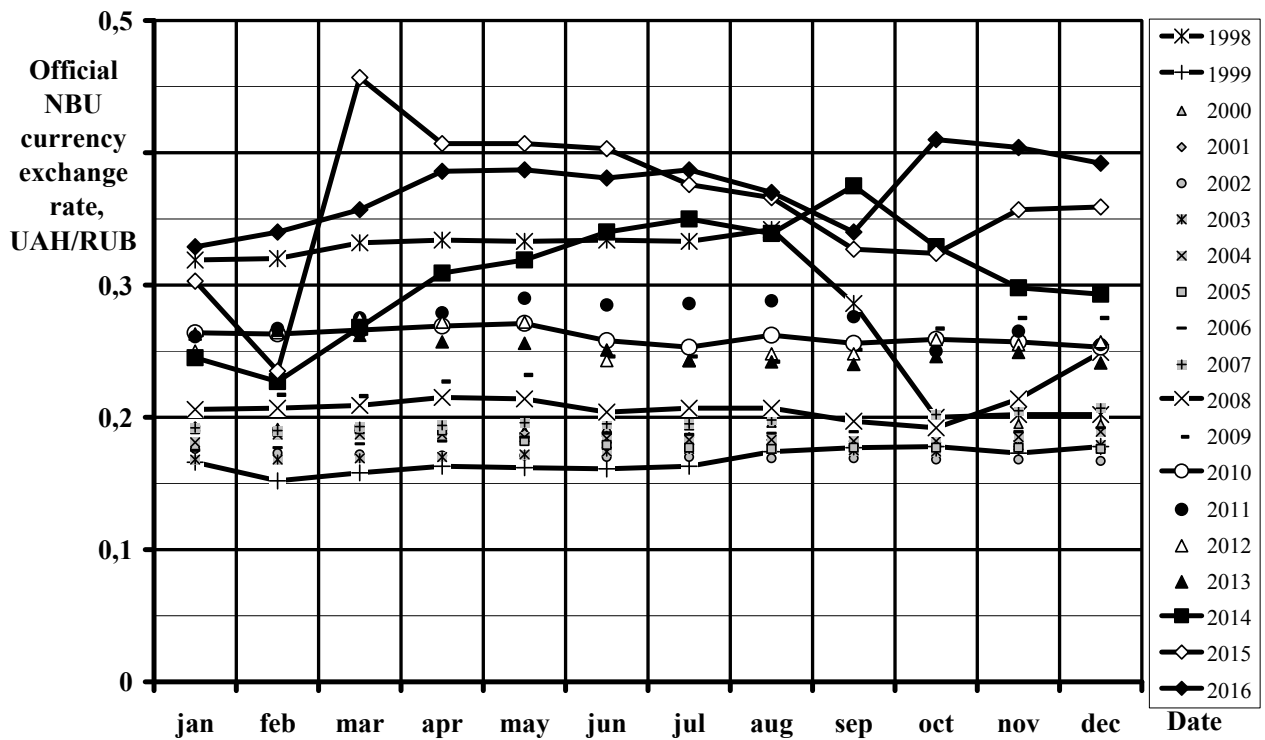


Рис. 4.2.3 – Офіційний середньомісячний обмінний курс гривні до російського рубля Національного банку України у період з 1998 до 2016 рр. [25, 132] (мовою оригіналу)

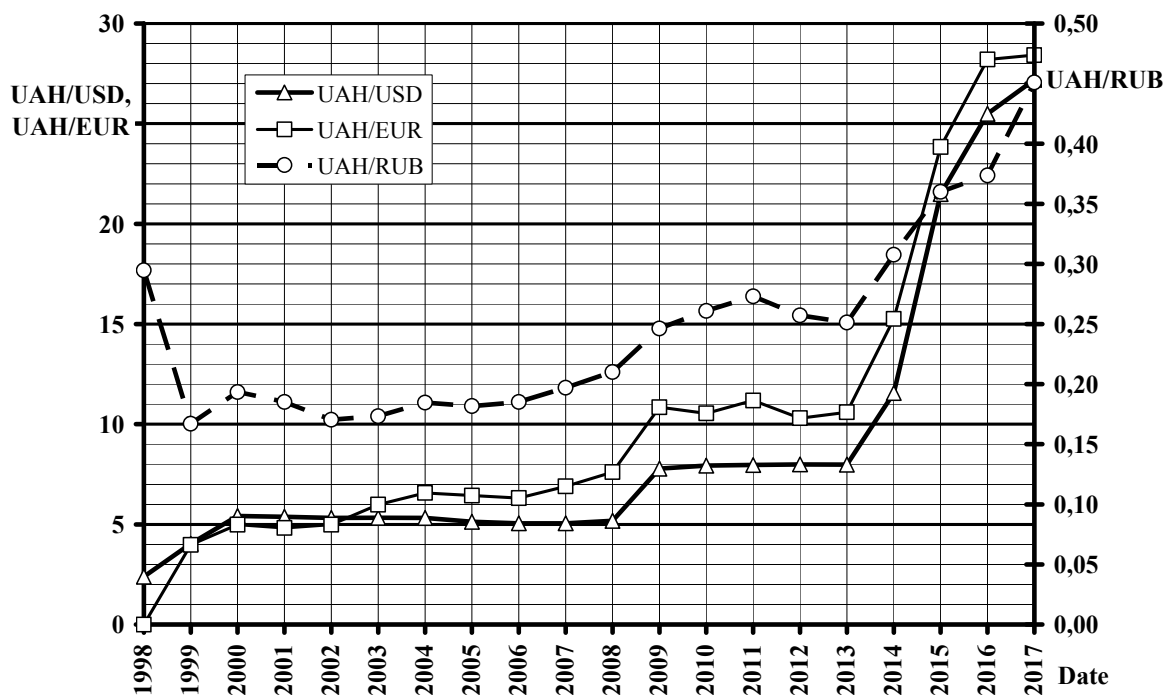


Рис. 4.2.4 – Офіційний середньорічний обмінний курс гривні до долара США, до євро та до російського рубля Національного банку України у період з 1998 до 2016 рр. [25, 132] (мовою оригіналу)

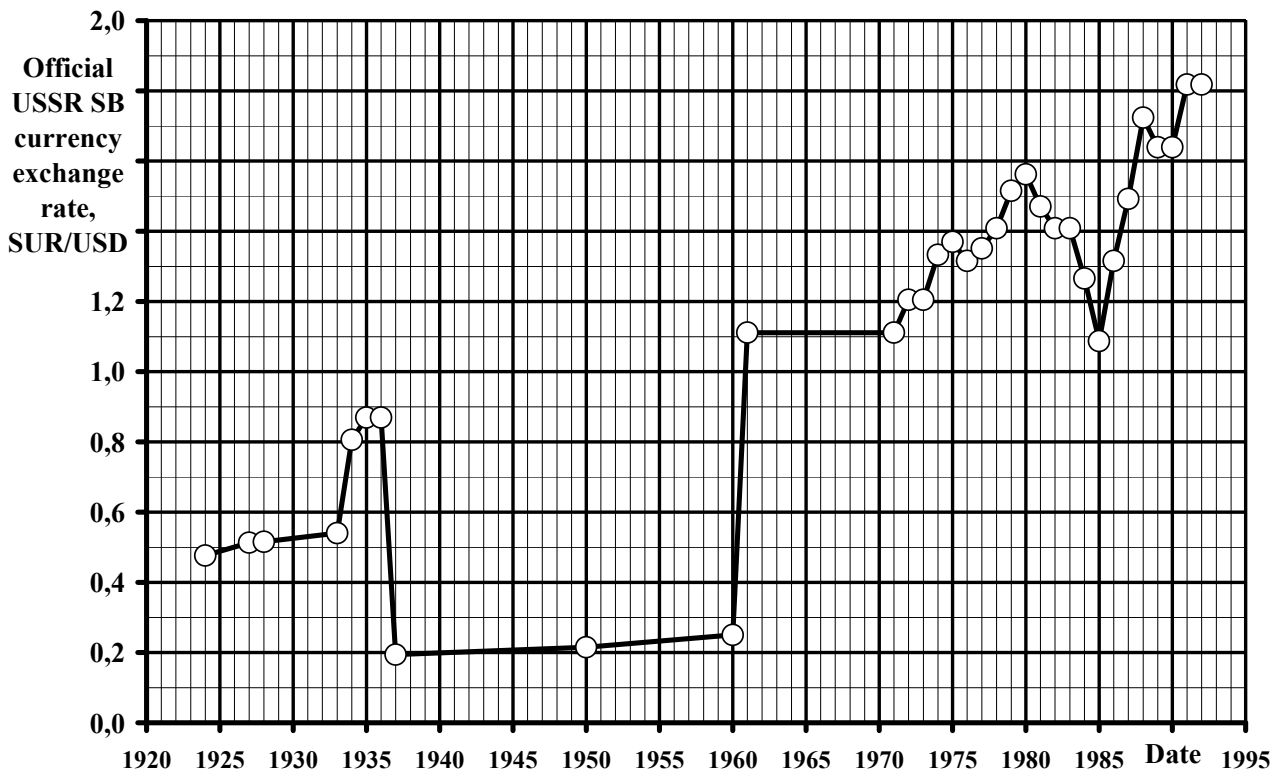


Рис. 4.2.5 – Офіційний середньорічний обмінний курс рубля СРСР до долара США Державного банку СРСР у період з 1924 до 1992 рр. [25, 132] (мовою оригіналу)

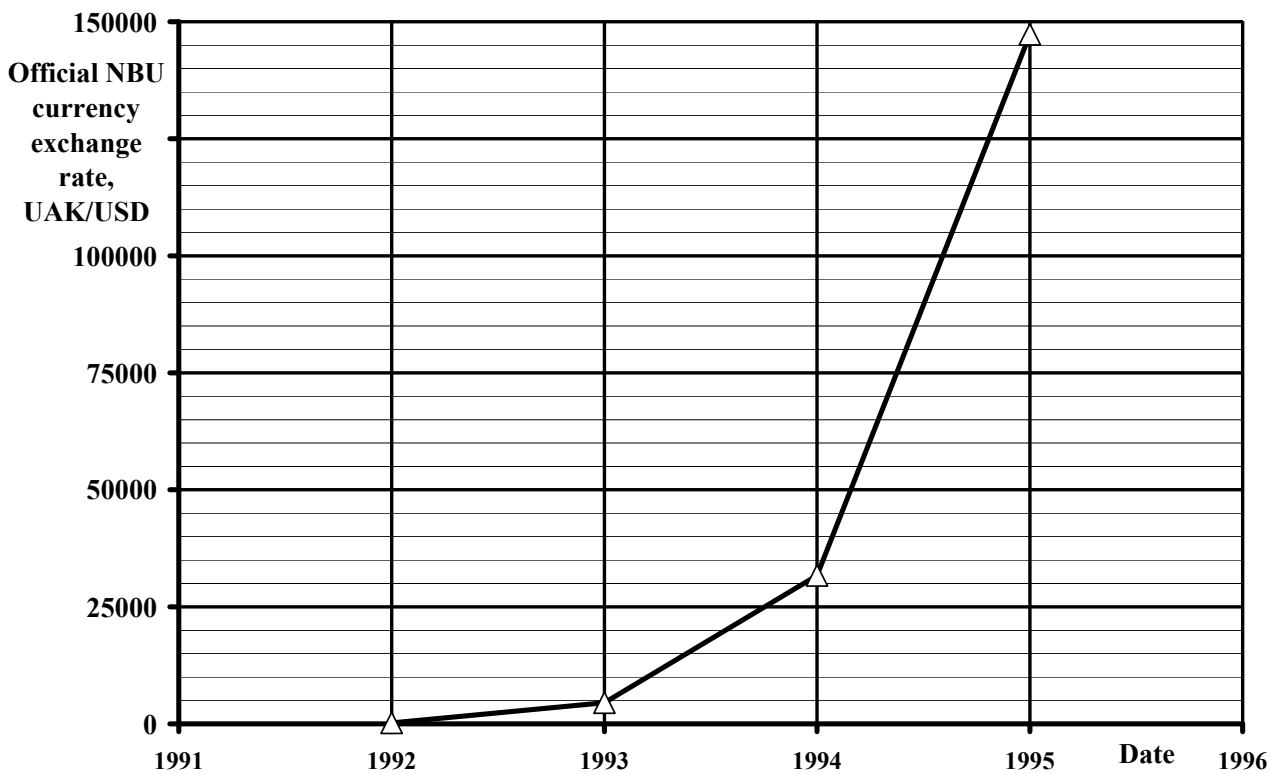


Рис. 4.2.6 – Офіційний середньорічний обмінний курс українського купоно-карбованця до долара США Національного банку України у період з 1992 до 1995 рр. [25, 132] (мовою оригіналу)

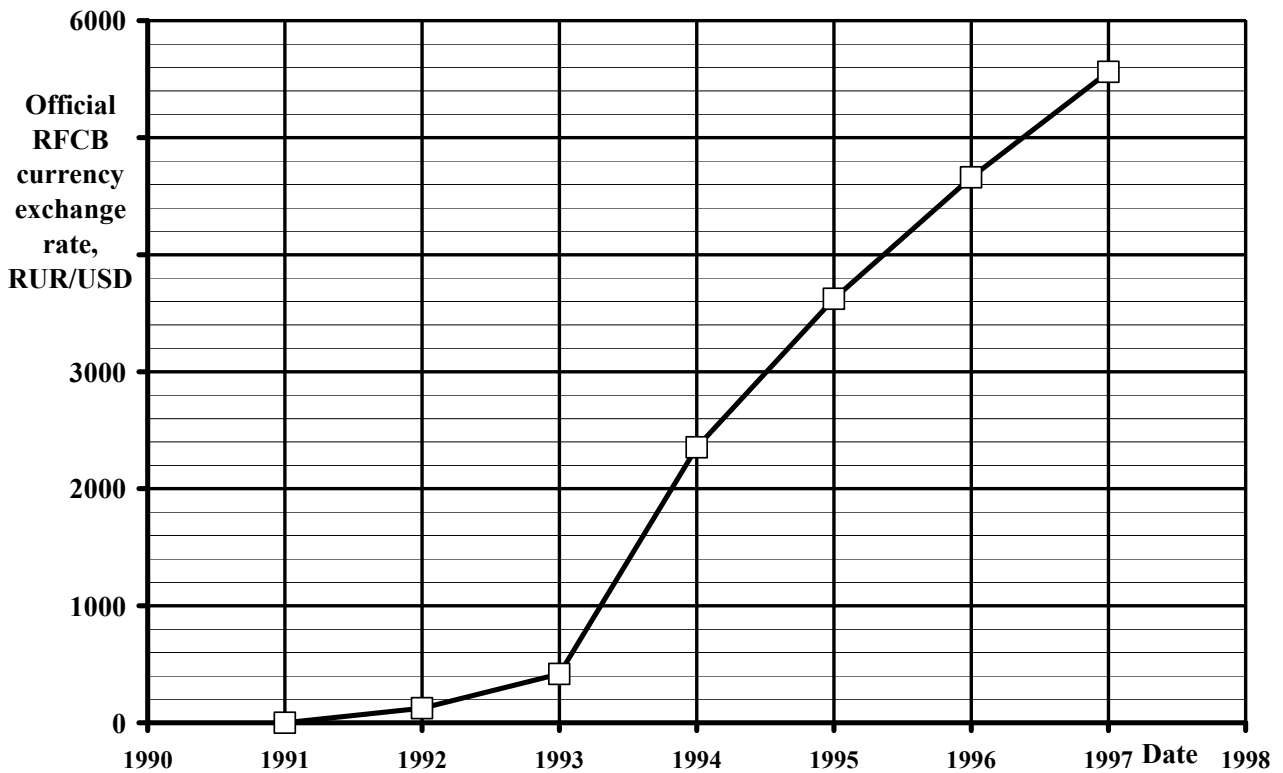


Рис. 4.2.7 – Офіційний середньорічний обмінний курс неденомінованого російського рубля до долара США Центрального банку Російської Федерації у період з 1991 до 1997 рр. [25, 132] (мовою оригіналу)

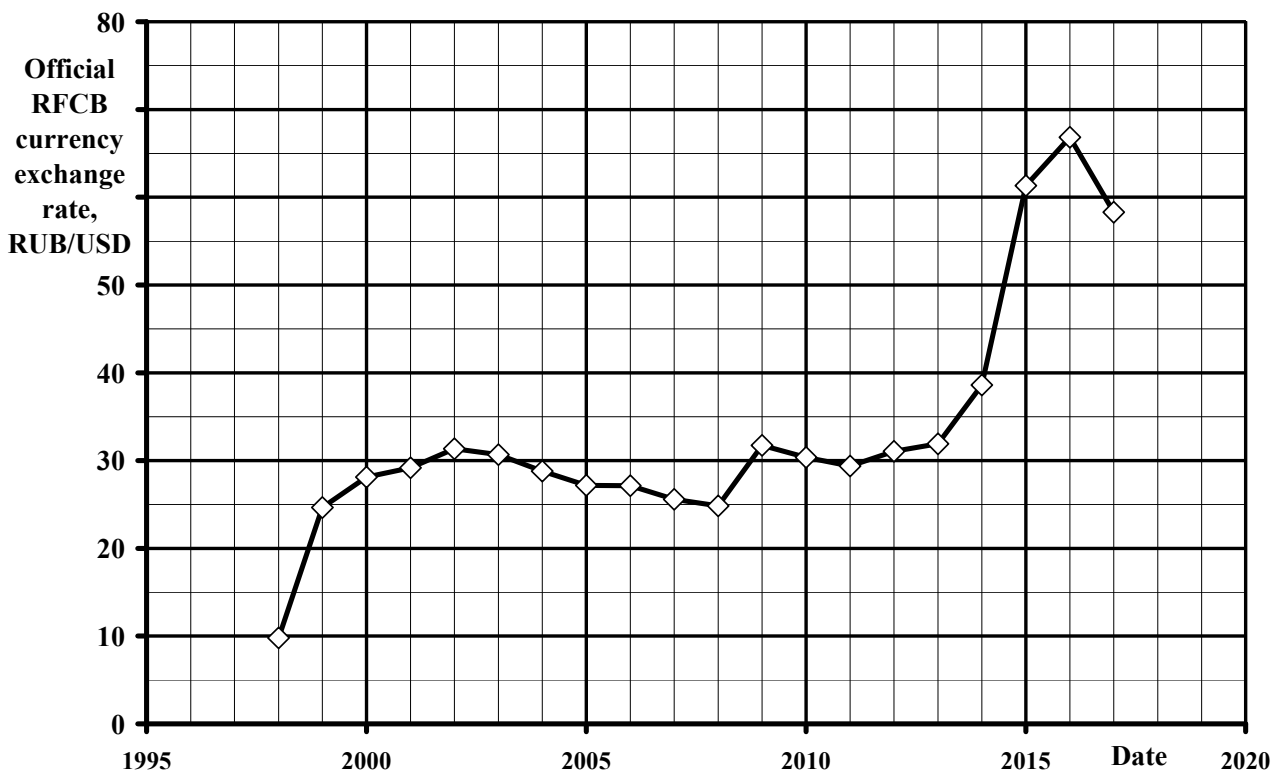


Рис. 4.2.8 – Офіційний середньорічний обмінний курс деномінованого російського рубля до долара США Центрального банку Російської Федерації у період з 1998 до 2017 рр. [25, 132] (мовою оригіналу)

У зв'язку з викладеними вище міркуванням раціонально виражати значення грошових витрат Z_e , Z_f та Z_{fe} у формулах (4.2.1) – (4.2.3), які формують значення критерію $K_{ПЕ}$, в одиницях одної з широковикористовуваних в Україні вільноконвертованих світових резервних валют – Євро або Долар США.

Однак, при цьому лише долара США має історію, яка повністю охоплює історію існування ПДВЗ як таких – від народження ідеї (1807 р. двигун де Ріваса, 1860 р. двигун Ленуара, 1863 р. двотактний двигун Отто, 1876 р. чотиритактний двигун Отто, 1880 р. двигун Костовича, 1897 р. двигун Дизеля) і до наших днів [25].

Євро як валюта була введена в безготівкові операції тільки в 1999 р., а в готівковий товарообіг – у 2001 р.

У 1785 р. долар США було схвалено як національну валюту США, в 1794 р. долар США почали карбувати в США.

Наразі приймають до оплати будь-які випущені банкноти та монети починаючи з 1861 року, але з 1971 року відмінено забезпечення долара США за рахунок золотого запасу США.

У цьому випадку слід враховувати, що купівельна спроможність долара США протягом усього свого існування з моменту створення першого ПДВЗ і до нашого часу не була постійною через прояв явища інфляції, який можна враховувати, застосовуючи Індекс споживчих цін CPI [11, 134], який описується наступною формулою.

$$CPI = \frac{\sum(Q_i^t \cdot P_i^t)}{\sum(Q_i^0 \cdot P_i^0)} \cdot 100\%; \quad (4.2.1)$$

де індексом i позначено види продукції; індексом 0 позначено значення для базового періоду (для долара США це 1982 – 1984 рр.); індексом t позначено поточний рік; Q – сумарна кількість випущеної продукції; P – ціна виробленої продукції.

Тоді величини Z_e , Z_f та Z_{fe} з врахуванням явища інфляції – неінфльовані грошові витрати z_e , z_f та z_{fe} – можна описати формулою (4.2.2).

$$z_j = \frac{Z_j(t) \cdot CPI_{\$}(t)}{100}, \quad (4.2.2)$$

де індексом j позначено види грошових витрат ($j = e, f$ чи fe); t – поточна дата; Z_j – грошові витрати як частина критерію $K_{ПЕ}$, \$.

Середньорічні значення індексу CPI для України, згідно до інформації з джерела [133], показані на рис. 4.2.9.

Середньорічні значення індексу CPI для США, згідно до інформації з джерела [134], показані на рис. 4.2.10.

4.2.4. Результати розрахункового дослідження

У даному дослідженні проведені розрахункове оцінювання значень компонентів критерію $K_{ПЕ}$ для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 для 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу.

Розрахунково досліджувались наступні варіанти вираження одиниць вартості одиниці ваги дизельного палива P_f :

- 1,81 €/кг (значення на момент публікації монографії [5] – 2003 р.);
- 0,34 \$/кг (значення на момент публікації монографії [5] – 2003 р.);
- 23,53 €/Кг (поточне значення);
- 0,871 \$/кг (поточне значення).

Результати такого розрахункового оцінювання значень критерію $K_{ПЕ}$ та його складових для вищевказаних варіантів значення величини P_f наведено на рис. 4.2.11 – 4.2.13.

Співвідношення між значеннями грошових витрат Z_e , Z_f та Z_{fe} у формулах (4.2.1) – (4.2.3) для сучасного значення величини P_f (0,871 \$/кг) ілюструє рис. 4.2.14.

Співвідношення між значеннями критерію $K_{ПЕ}$ та $K_{ПЕ} \cdot WF$ для сучасного значення величини P_f (0,871 \$/кг) ілюструє рис. 4.2.15.

З рис. 4.2.5 випливає, що різниця у значеннях вартісних еквівалентів цих величин, виражена у одиницях обраної вище валюти (долар США та гривня), може досягати одного порядку для поточного значення їх співвідношення та близьке до двох порядків замовлень у порівнянні їх значень за 2003 та 2016 рр.

Це пов'язано з нестабільністю обмінного курсу цих валют одне відносно іншого, викликаной зовнішніми й внутрішніми економічними та політичними факторами, а також глобальним явищем інфляції, і не може бути неврахованим.

Крім того, на рис. 4.2.11 – 4.2.13 показано, що кореляція між значеннями величин Z_f , Z_e , Z_{fe} не є постійною для різних режимів випробувального циклу.

Як видно на рис. 4.2.9 та 4.2.10, долар США як світова резервна валюта через прояви феномену інфляції не може бути абсолютним грошовим еквівалентом компонентів критерію $K_{ПЕ}$. Тому у подальших дослідженнях необхідно звернути увагу на зміну вартості банківського золота та нафти.

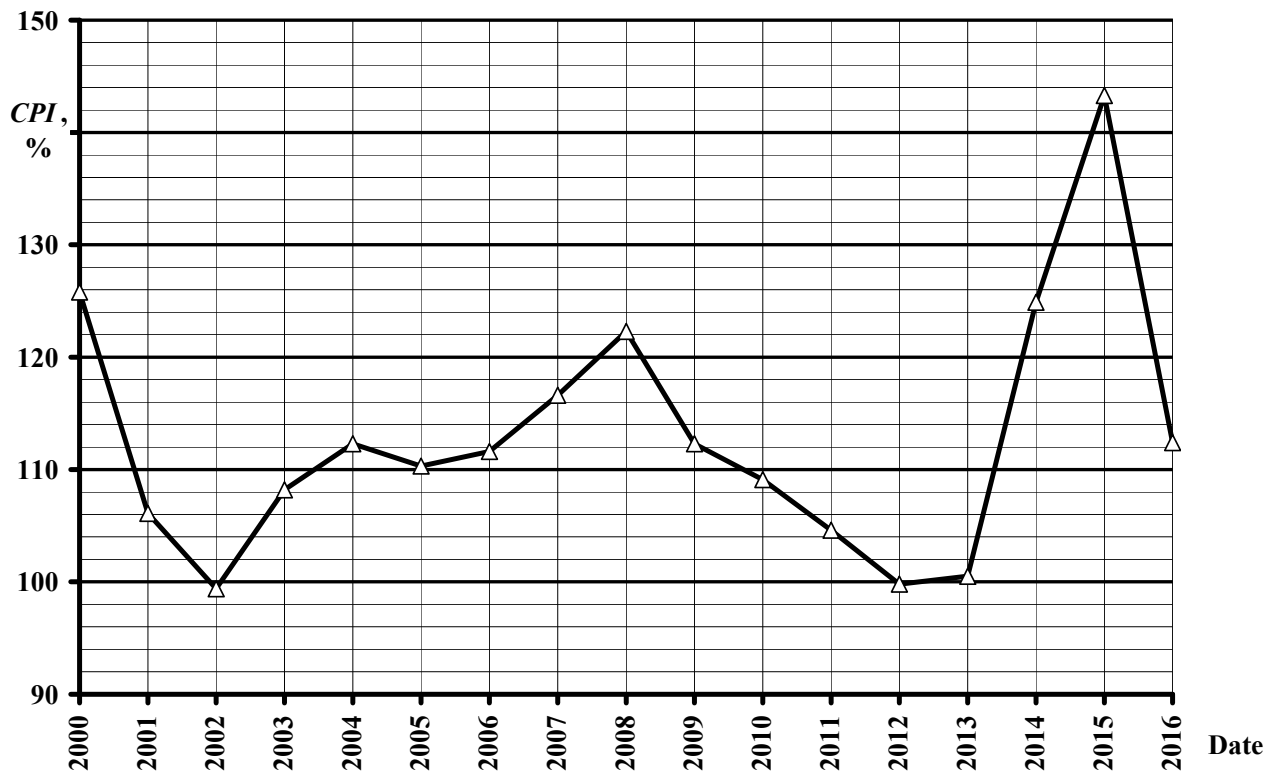


Рис. 4.2.9 – Середньорічні значення індекса *CPI* в Україні у період з 2000 до 2016 рр. [25, 133] (мовою оригіналу)

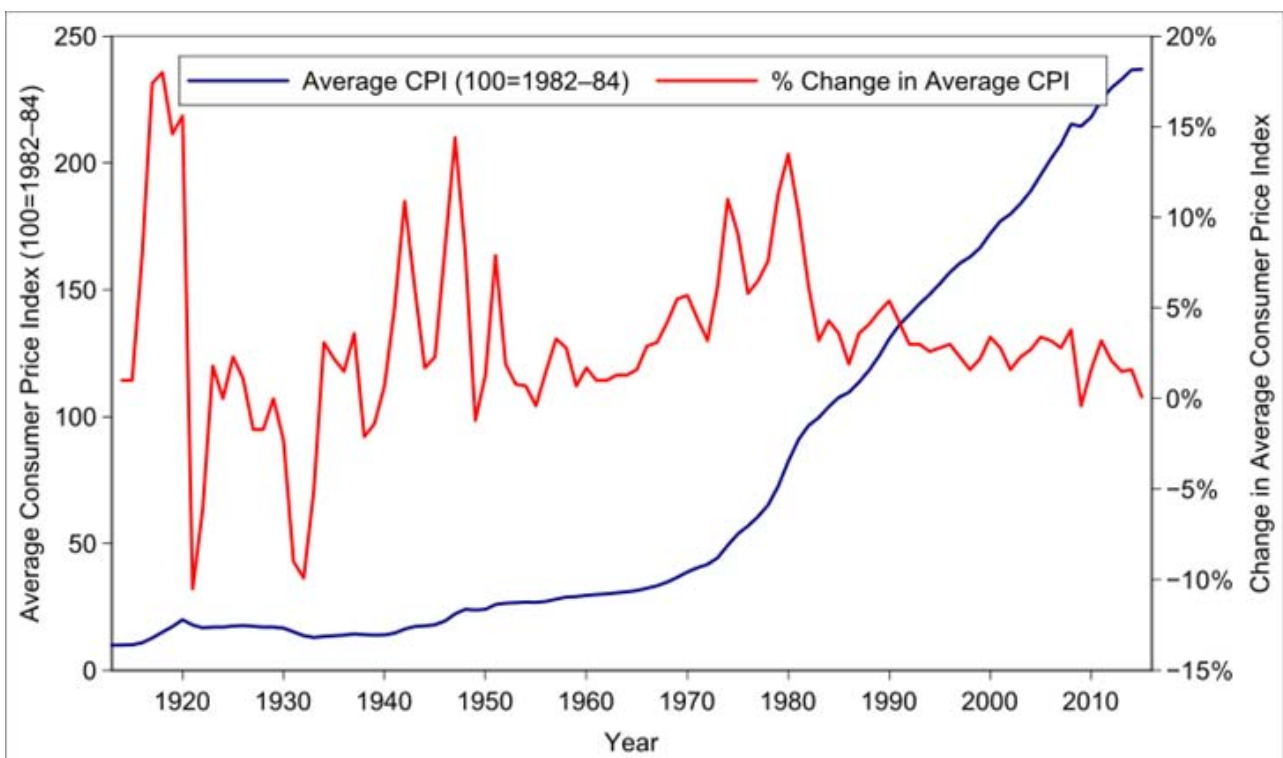


Рис. 4.2.10 – Середньорічні значення індекса *CPI* в США у період з 1913 до 2015 рр. [25, 134] (мовою оригіналу)

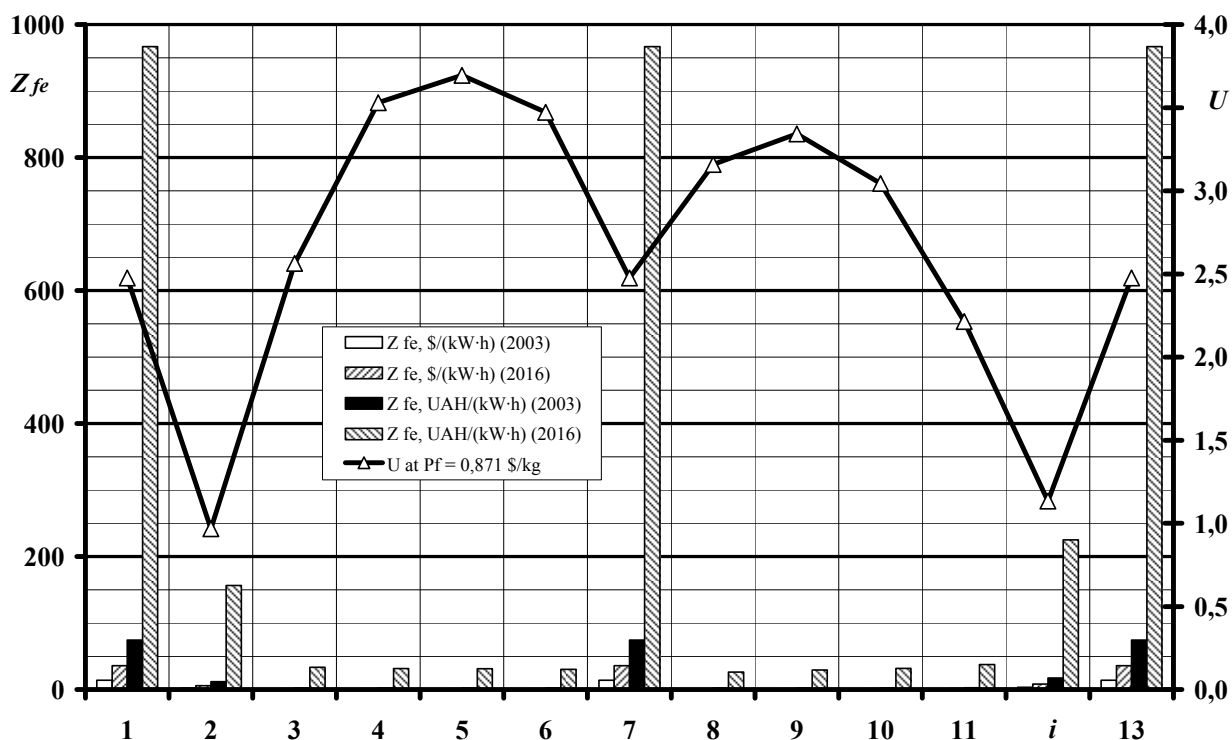


Рис. 4.2.11 – Розподіл значень сумарних грошових витрат на спожите паливо і компенсацію екологічної шкоди Z_{fe} та грошової оцінки компенсації екологічної шкоди U як компонентів критерію $K_{ПЕ}$ по режимах 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та різних значень ціни одиниці ваги моторного палива P_f (мовою оригіналу)

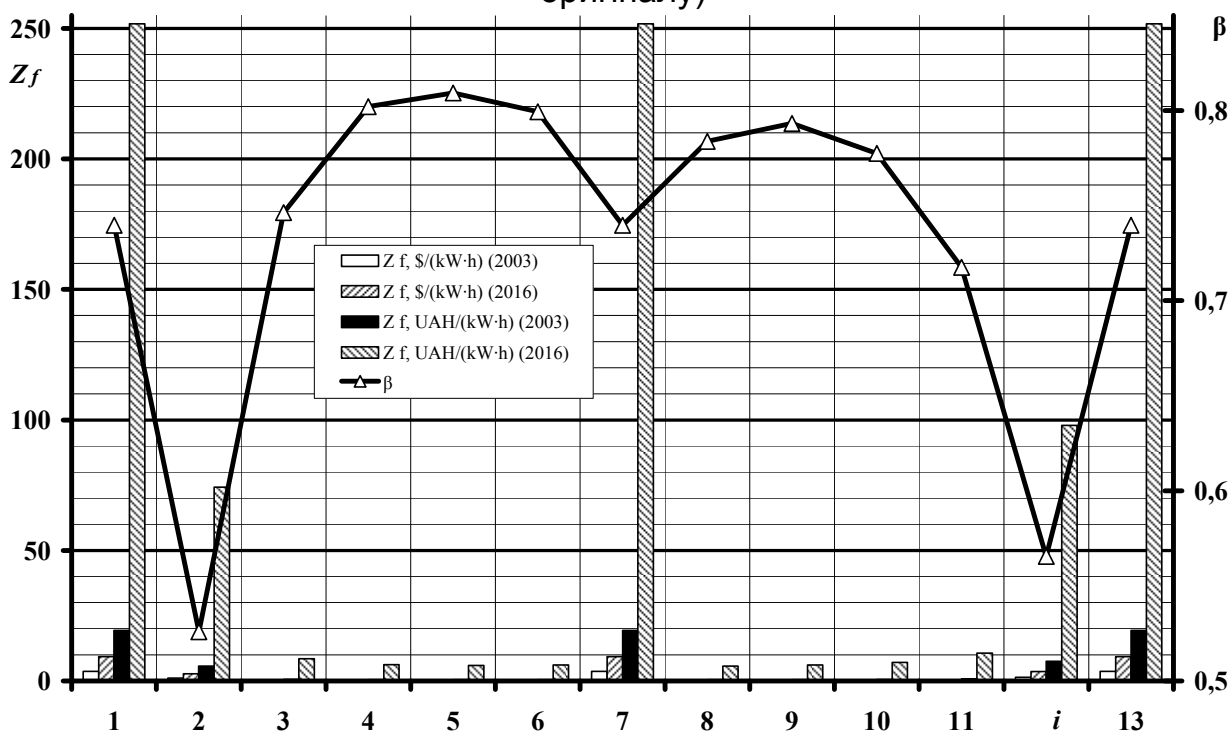


Рис. 4.2.12 – Розподіл значень грошових витрат на спожите паливо Z_f та коефіцієнта відносних експлуатаційних екологічних грошових витрат β як компонентів критерію $K_{ПЕ}$ по режимах 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та різних значень ціни одиниці ваги моторного палива P_f (мовою оригіналу)

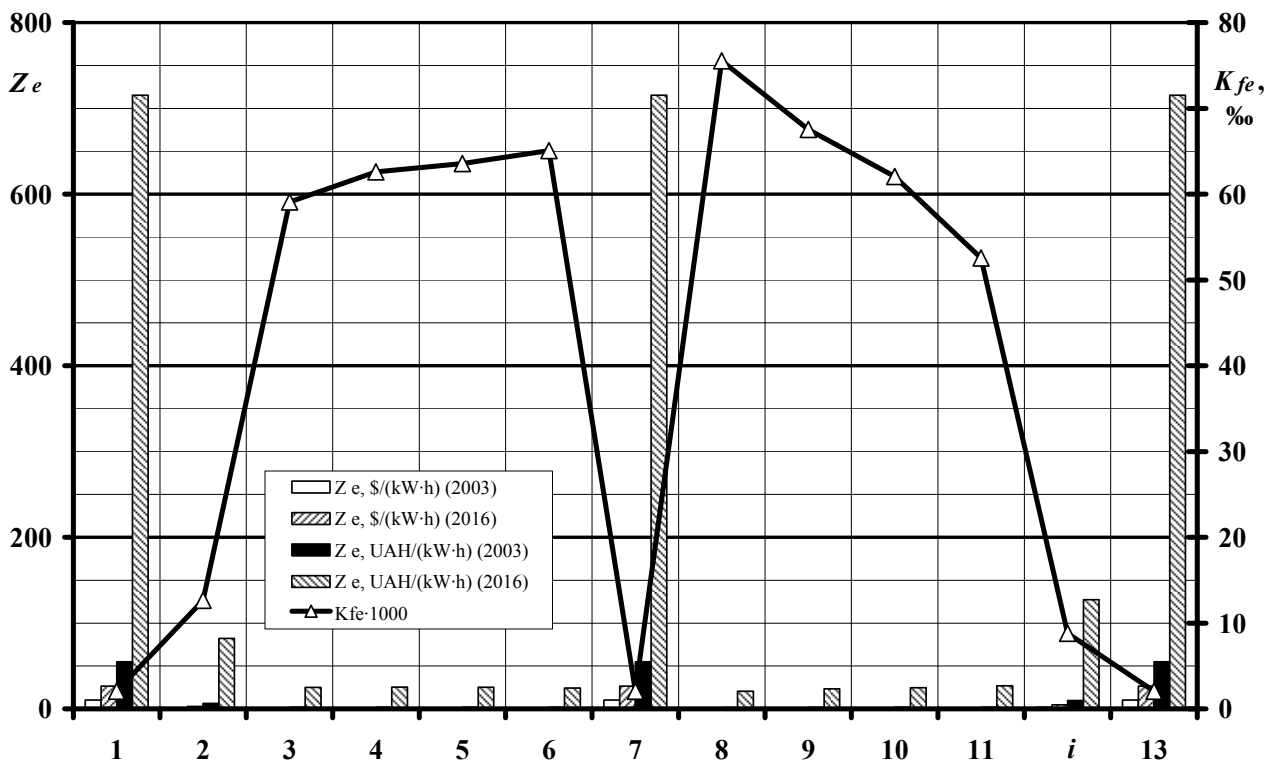


Рис. 4.2.13 – Розподіл значень грошових витрат на компенсацію екологічної шкоди Z_e та критерію K_{FE} по режимах 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та різних значень ціни одиниці ваги моторного палива P_f (мовою оригіналу)

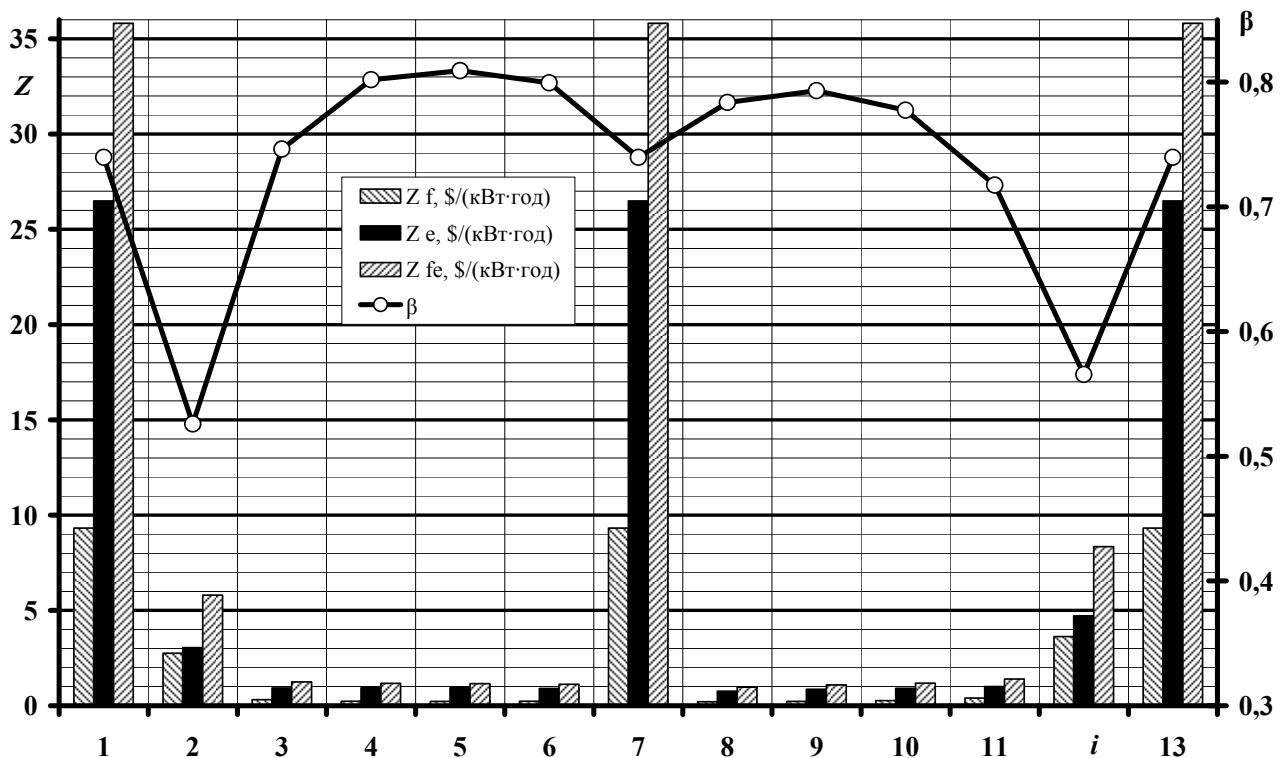


Рис. 4.2.14 – Співвідношення між значеннями грошових витрат Z_e , Z_f та Z_{fe} для сучасного значення величини P_f (0,871 $\$/\text{кг}$) (мовою оригіналу)

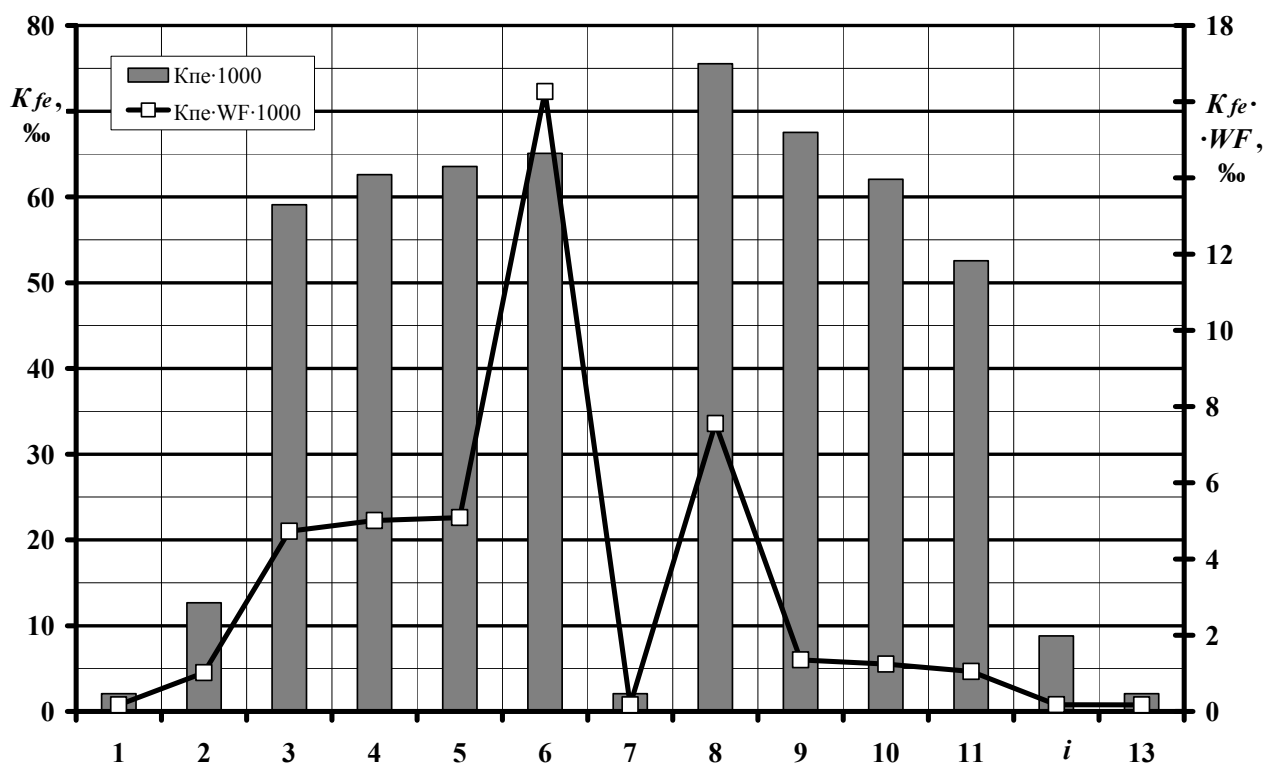


Рис. 4.2.15 – Співвідношення між значеннями критерію K_{PE} та $K_{PE} \cdot WF$ для сучасного значення величини P_f (0,871 \$/кг) (мовою оригіналу)

4.2.5. Висновки по розділу

Таким чином, в даному дослідженні вперше проведено розрахункове обґрунтування вибору одиниць вартісних еквівалентів компонентів комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова, в чому і полягає наукова новизна результатів дослідження.

Дослідження показало, що різниця у значеннях вартісних еквівалентів цих величин – значень грошових витрат на спожите паливо Z_f , грошових витрат на компенсацію екологічної шкоди Z_e та сумарних грошових витрат на спожите паливо і компенсацію екологічної шкоди Z_{fe} – виражених в обраних одиницях валюти – доларах США та гривнях, може досягати одного порядку для поточного значення вартості одиниці ваги моторного палива та близько двох порядків при порівнянні їх значень за 2003 та 2016 рр., через різні економічні та політичні чинники.

Однак дослідження також показує, що долар США як світова резервна валюта через прояв явища інфляції не може бути абсолютним грошовим еквівалентом компонентів комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова.

Було запропоновано використовувати математичний апарат індексу споживчих цін для врахування прояву явища інфляції.

З модифікованим математичним апаратом досліджуваного критерію можна проводити оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації одиниць енергетичних установок з поршнеvim ДВЗ різних років випуску, в чому і полягає практична цінність результатів дослідження.

Розділ 4.3. РОЗРАХУНКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ НАБОРУ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ

4.3.1. Постановка проблеми

Процес безаварійної експлуатації є основним етапом життєвого циклу (ЖЦ) енергетичних установок (ЕУ) з поршневим двигуном внутрішнього згоряння (ПДВЗ) [1]. Числові значення показників рівня його екологічної безпеки (ЕБ) за діючими нормативними вимогами [16] є набором різнотипних даних, що отримують експериментальним чи розрахунковим шляхом [22].

З іншого боку, існує декілька підходів до комплексного критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ [14]. Існуючі та застосовувані математичні апарати таких критеріїв проаналізовано у роботі [135].

З таких критеріїв найбільш придатним до використання для оцінювання досліджуваного процесу слід визнати комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова (НТУ «ХПІ») K_{PE} , описаний у монографії [5].

Він знайшов широкого застосування для оцінювання ефективності розробки і впровадження заходів щодо модернізації конструкції та поліпшення принципів роботи ПДВЗ [136 – 140].

Двома головними перевагами математичного апарату такого критерію є врахування значень повного набору законодавчо встановлених показників токсичності відпрацьованих газів (ВГ) ПДВЗ – питомі масові годинні викиди з потоком ВГ незгорілих вуглеводнів моторного палива і мастила C_nH_m g_{CnHm} , оксидів азоту NO_x g_{NOx} , монооксиду вуглецю CO g_{CO} та твердих частинок (ТЧ) g_{PM} у г/(кВт·год), а також врахування значень питомих ефективних масових годинних витрат палива ПДВЗ g_e у г/(кВт·год).

4.3.2. Аналіз літературних джерел

Проте, у деяких дослідженнях, наприклад у [137], висловлюються припущення про те, що при використанні математичного апарату паливно-екологічного критерію можливим є використання неповного набору вихідних даних.

Обґрунтуванням застосування такого припущення, по-перше, виступав порівняльний характер досліджень – однаково неповний набір вихідних даних для комплексного критеріального розрахункового дослідження використовувався як для модернізованого оцінюваного об'єкту, так і для базового (не модернізованого).

По-друге, в деяких з таких досліджень використовувались засоби виміральної техніки, зокрема багатокомпонентні газоаналізатори, що технічно неспроможні здійснювати вимірювання повного набору вихідних даних для оцінювання, зокрема величини g_{CnHm} .

При цьому розрахункового обґрунтування придатності для викорис-

тання вказаного припущення у цих роботах не наводилось.

Тому, здійснення порівняльного розрахункового оцінювання значень комплексного паливно-екологічного критерію з усіма можливими і не позбавленими фізичного сенсу варіантами складу набору вихідних даних з метою підтвердження чи не підтвердження обґрунтованості застосування означеного припущення, а також визначення значень методичної похибки такого застосування, є актуальним науково-технічним завданням.

Це буде здійснюватися, на прикладі автотракторного дизельного двигуна 2Ч10,5/12, описання та технічні характеристики якого наведено в джерелі [38].

Вихідні дані для розрахункового оцінювання отримані з аналізу результатів стендових моторних експериментальних досліджень, описаних у роботах [63, 64].

Метою даного дослідження є розрахункове обґрунтування вибору складу набору вихідних даних комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова.

Об'єктом даного дослідження є математичний апарат і методика застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова.

Предметом даного дослідження є склад набору вихідних даних об'єкту дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні:

1. Аналіз математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова з урахуванням сутності висунутого у дослідженні [137] припущення.

2. Отримання повного набору вихідних даних для отримання значень комплексного паливно-екологічного критерію для окремих репрезентативних режимів роботи ПДВЗ у моделі його експлуатації за методикою, наведеною у роботі [24], на основі набору вихідних даних, отриманих у дослідженнях [63, 64].

3. Визначення варіантів складу набору вихідних даних для комплексного критеріального оцінювання, що мають фізичний сенс, з числа можливих.

4. Розрахункове порівняльне дослідження різниці між значеннями комплексного паливно-екологічного критерію для усіх варіантів набору вихідних даних на прикладі автотракторного дизельного двигуна 2Ч10,5/12 та режимів 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу.

4. Аналіз результатів дослідження.

Методами даного дослідження є аналіз спеціалізованої науково-технічної літератури, обробка даних експериментальних стендових моторних випробувань, розрахунок середньоексплуатаційних значень техніко-економічних та екологічних робочих показників дизельного ПДВЗ, модифікований математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова.

4.3.3. Отримання вихідних даних

Математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова $K_{ПЕ}$, описаний у монографії [5], було модифіковано у роботі [24] для забезпечення можливості оцінювання його значень для окремого i -го репрезентативних режимів роботи ПДВЗ у моделі його експлуатації (див. розділ 4.1 монографії).

Особливості моторного випробувального стенду (МВС) та методики експериментальних досліджень на ньому, що використовувались для отримання робочих характеристик дизеля 2Ч10,5/12 та ФТЧ, розробленого та вдосконаленого авторами даного дослідження, наведені у роботах [63, 64, 24] (див. розділ 1.3 і 1.4 монографії).

Робочі характеристики автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 описано у джерелі [38] (див. розділ 1.3 монографії).

Параметри 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу як моделі експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ описано у Правилах ЄЕК ООН № 49 [16] (див. розділ 1.4).

Законодавчо встановлені на території України вимоги до показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ у історичній перспективі наведено у джерелі [1] (див. розділ 1.4 монографії).

Результати розрахункової оцінки значень критерію $K_{ПЕ}$, які базуються на експериментальних даних, отриманих у статтях [63, 64], для автотракторного дизельного двигуна 2Ч10,5/12, що працює за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу, а також для його окремих режимів як і для циклу в цілому, показані у статті [24] (див. розділ 4.4 монографії).

4.3.4. Результати розрахункового дослідження

У даному дослідженні проведені розрахункові оцінювання значень критерію $K_{ПЕ}$ для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 для 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу.

Математичний апарат критерію $K_{ПЕ}$ враховує п'ять факторів ЕБ – чотири показника токсичності ВГ g_{CnHm} , g_{NOx} , g_{CO} , g_{PM} та один показник паливної економічності ПДВЗ g_e , який чинить суттєвий вплив на усі показники ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, як показано у роботі [141] (див. розділ 1.2 монографії).

Фізичний зміст критерію $K_{ПЕ}$ – середньоексплуатаційне значення ефективного ККД ПДВЗ η_{eme} з урахуванням екологічної шкоди, що спричиняє ЕУ з ПДВЗ при роботі [5].

З цього випливає, що для ПДВЗ з ідеальними показниками екологічності, тобто нульовими значеннями годинних масових викидів законодавчо нормованих поллютантів з потоком ВГ G_{CnHm} , G_{NOx} , G_{CO} , G_{PM} у кг/год значення критерію $K_{ПЕ}$ сягають теоретичного максимуму, рівного значенню η_{eme} .

При ненульових значеннях величин G_{CnHm} , G_{NOx} , G_{CO} , G_{PM} значення критерію $K_{ПЕ}$ завжди менші, ніж значення η_{eme} і тим менші, чим більши-

ми є значення викидів, тобто більшою має бути грошова компенсація на відшкодування екологічної шкоди і менш досконалим з екологічної точки зору є робочий процес ПДВЗ.

При цьому слід відмітити, що при досягненні нульового значення величини масової годинної витрати палива дизелем $G_{пал}$ у кг/год позбавляють сенсу власне процедуру розрахункового комплексного критеріального оцінювання.

Це зумовлено, по-перше, тим, що за нульового значення витрати палива ПДВЗ, вочевидь, не здійснює робочий процес, тобто не спалює паливо, а значить не виділяє потоку ВГ з полютантами у них. Хоча, при холодній прокрутці викидаються у НПС вуглеводні моторної оливи, що змащує циліндро-поршневу групу. При холодному пуску ПДВЗ деякий час паливо у камеру згоряння подається, але умов для його займання ще не створено, і воно викидається у ПНС у вигляді дисперсної фази аерозолу ВГ, що не містить продуктів згоряння.

По-друге, це зумовлено особливостями математичного апарату критерію $K_{ГЕ}$ (див. розділ 1.2 монографії), де у формулах для визначення значень приведенного питомого ефективного масового годинного викиду полютанту з потоком ВГ ПДВЗ g_{prk} у кг/(кВт·год) та середньоексплуатаційного ефективного ККД ПДВЗ η_{eme} значення величини $G_{пал}$ знаходяться у знаменнику.

З теорії комбінаторного аналізу відомо, що при наявності у вибірці вихідних даних п'яти різнорідних незалежних одне від одного об'єктів існує 32 варіанта їх комбінацій за умови, що варіювання здійснюється шляхом виключення одного чи кількох об'єктів з вибірки.

Оскільки один з п'яти згаданих факторів ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, що їх враховує математичний апарат критерію $K_{ГЕ}$, а саме величина g_e , не може приймати нульові значення, тобто не може бути вилученим з вибірки (набору вихідних даних), тоді для розрахункового порівняльного дослідження залишаються доступними 16 варіантів комбінації решти чотирьох факторів ЕБ – величин $g_{СnHm}$, g_{NOx} , g_{CO} , g_{PM} .

Перелік, склад і позначення варіантів для розрахункового порівняльного дослідження зведено до табл. 4.3.1.

Результати розрахункового порівняльного дослідження проілюстровано на рис. 4.3.1 – 4.3.6.

На рис. 4.3.1 – 4.3.3 містяться гістограми розподілів значень критерію $K_{ГЕ}$ у ‰ за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для усіх варіантів комбінації враховуваних факторів ЕБ – відповідно за всіма режимами (рис. 4.3.1), за особливими режимами (рис. 4.3.2): максимального крутного моменту (режим № 6), мінімального холостого ходу (режим № 7) та номінальної потужності (режим № 8); а також за режимами навантажувальної характеристики з частотою обертання колінчастого валу режиму номінальної потужності (режими № 8 – 12) (рис. 4.3.3).

Таблиця 4.3.1 – Варіанти для розрахункового порівняльного дослідження

Варіант		Прим.	g_e	g_{PM}	g_{NOx}	g_{SO_2}	g_{CO}
№	позн.	од. вим.	кг/(кВт·год)				
1	A	Повний набір факторів (базовий варіант)	+	+	+	+	+
2	B	Виключено один фактор	+	+	+	+	-
3	C		+	+	+	-	+
4	D		+	+	-	+	+
5	E		+	-	+	+	+
6	F	Виключено два фактори	+	+	+	-	-
7	G		+	+	-	-	+
8	H		+	+	-	+	-
9	I		+	-	+	+	-
10	J		+	-	+	-	+
11	K	+	-	-	+	+	
12	L	Виключено три фактори	+	+	-	-	-
13	M		+	-	+	-	-
14	N		+	-	-	+	-
15	O		+	-	-	-	+
16	P	Виключено чотири фактори (ідеальний варіант)	+	-	-	-	-

На рис. 4.3.4 – 4.3.6 містяться гістограми розподілів значень методичної похибки неповноти складу набору вихідних даних ΔK_{PE} у % у порівнянні з базовим варіантом (з повним набором вихідних даних у пакеті) за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для усіх варіантів комбінації враховуваних факторів ЕБ – відповідно за всіма режимами (рис. 4.3.4), за особливими режимами (рис. 4.3.5): максимального крутного моменту (режим № 6), мінімального холостого ходу (режим № 7) та номінальної потужності (режим № 8); а також за режимами навантажувальної характеристики з частотою обертання колінчастого валу режиму номінальної потужності (режими № 8 – 12) (рис. 4.3.6).

З наведеного на рис. 4.3.1 видно, що значення критерію K_{PE} за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для базового варіанту розрахунку (повного набору факторів ЕБ у пакеті вихідних даних) змінюється у межах 2,1 (режим мінімального холостого ходу) ... 75,5 (режим номінальної потужності) ‰. При цьому значення величини η_{eme} , що являє собою протилежний випадок, коли усі фактори ЕБ окрім витрат палива з розрахунку виключено, змінюється у межах 7,9 ... 349,7 ‰. Для інших варіантів такі дані зведено до табл. 4.3.2.

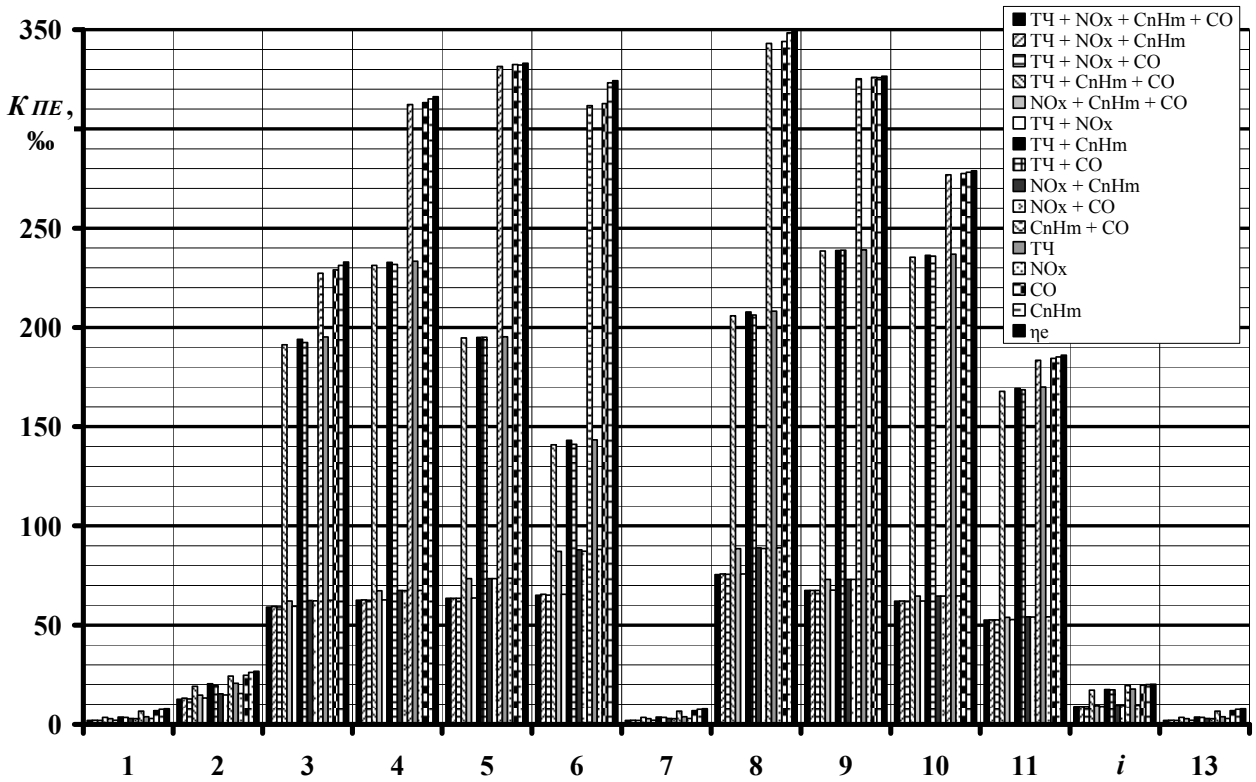


Рис. 4.3.1 – Розподіл значень критерію K_{PE} за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для усіх варіантів комбінації враховуваних факторів ЕБ (мовою оригіналу)

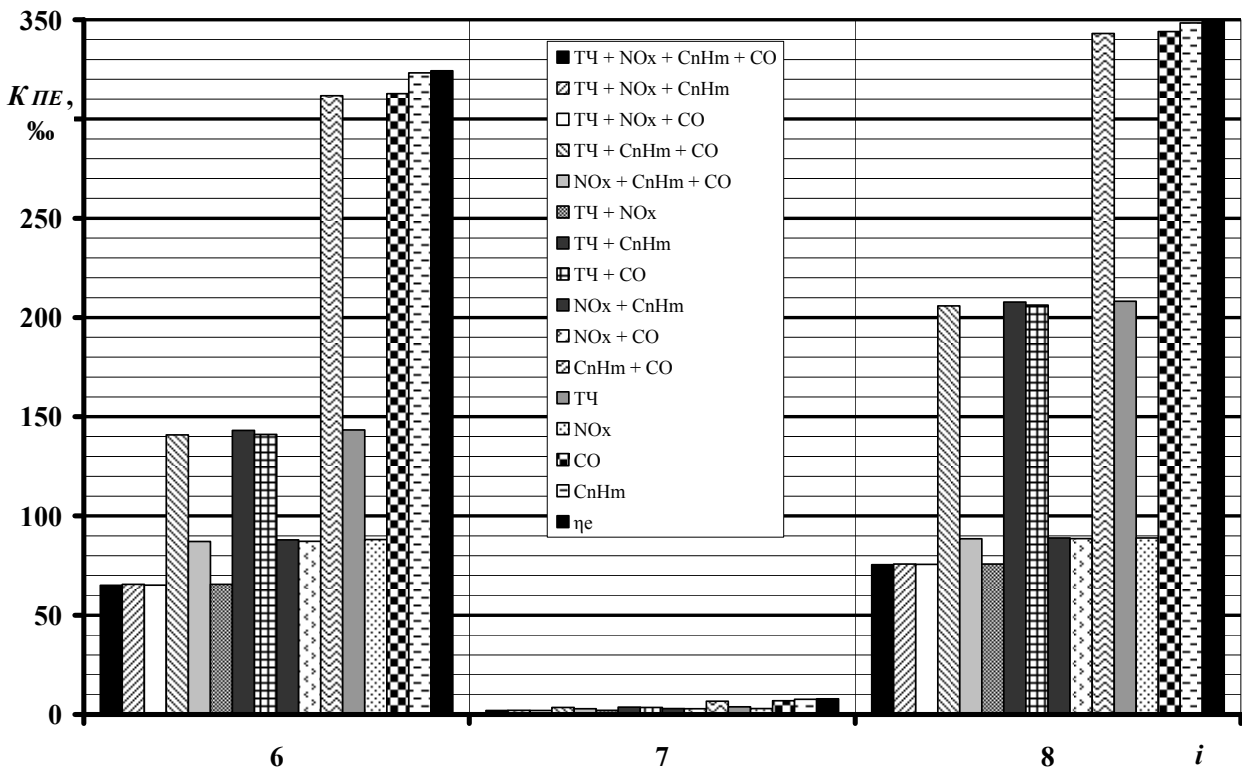


Рис. 4.3.2 – Розподіл значень критерію K_{PE} за особливими режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для усіх варіантів комбінації враховуваних факторів ЕБ (мовою оригіналу)

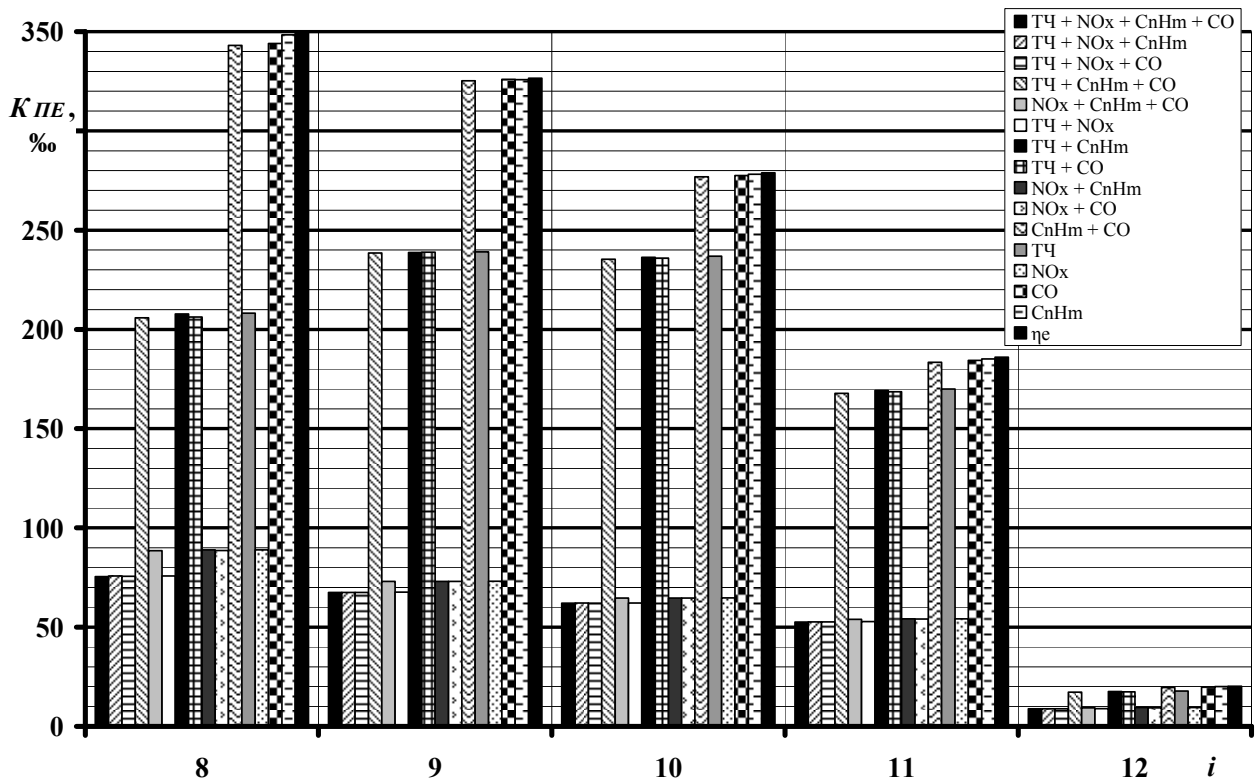


Рис. 4.3.3 – Розподіл значень критерію K_{PE} за режимами навантажувальної характеристики з частотою обертання колінчастого валу режиму номінальної потужності для усіх варіантів комбінації враховуваних факторів ЕБ (мовою оригіналу)

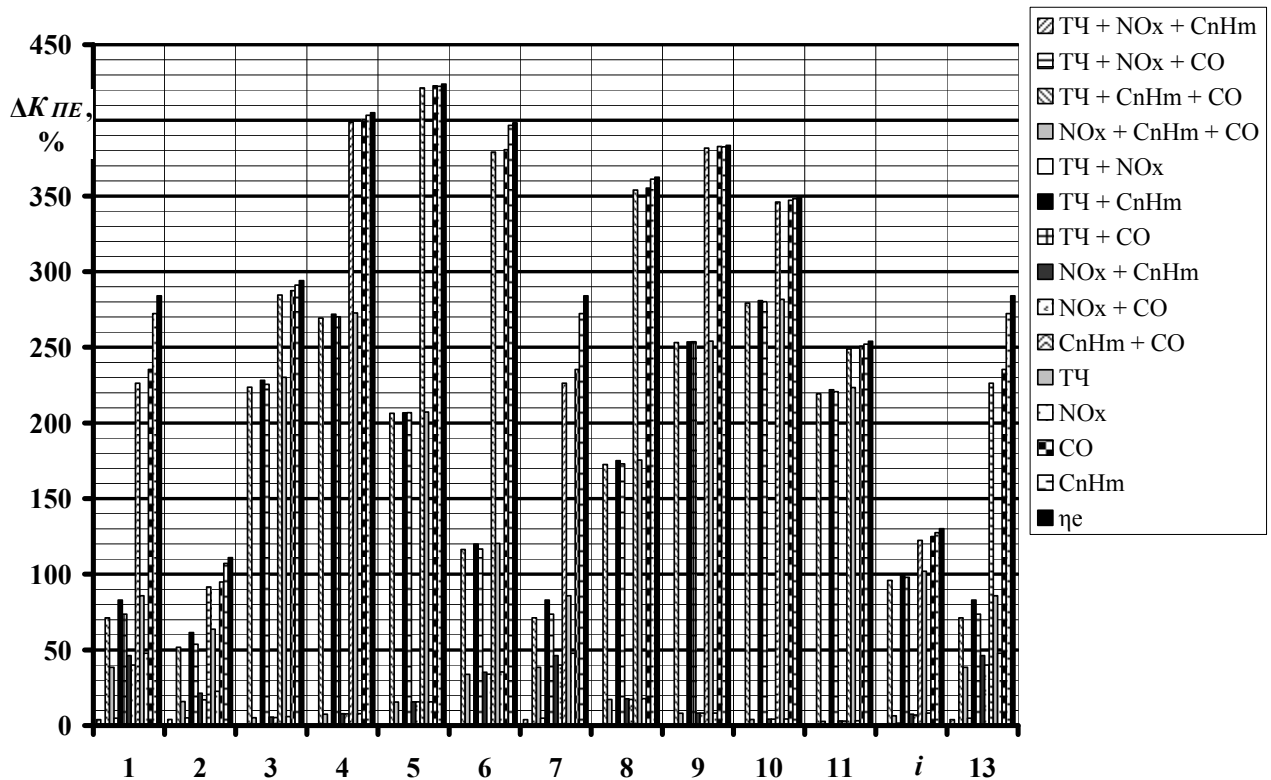


Рис. 4.3.4 – Розподіл значень методичної похибки за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для усіх варіантів комбінації враховуваних факторів ЕБ (мовою оригіналу)

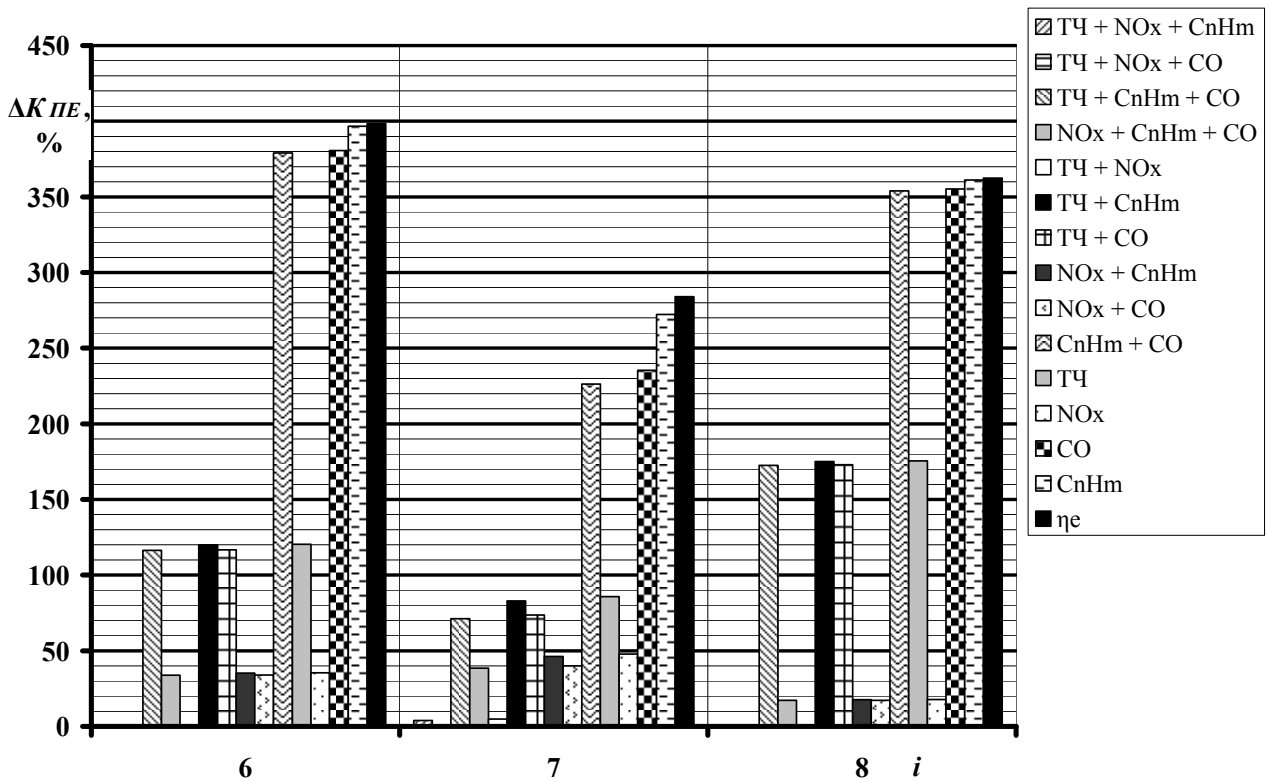


Рис. 4.3.5 – Розподіл значень методичної похибки за особливими режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу для усіх варіантів комбінації враховуваних факторів ЕБ (мовою оригіналу)

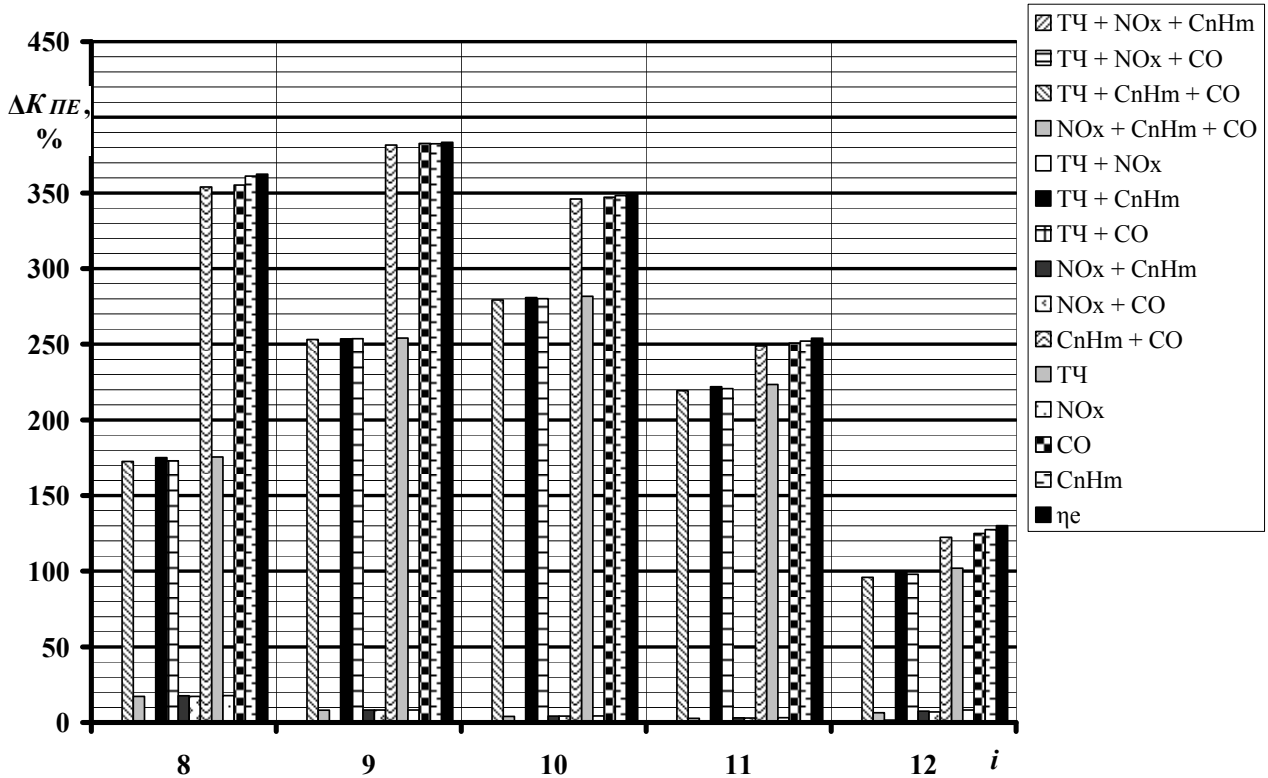


Рис. 4.3.6 – Розподіл значень методичної похибки за режимами навантажувальної характеристики з частотою обертання колінчастого валу режиму номінальної потужності для усіх варіантів комбінації враховуваних факторів ЕБ (мовою оригіналу)

Таблиця 4.3.2 – Результати розрахунку

Варіант	Група	$K_{ПЕ}$, ‰			$\Delta K_{ПЕ}$, %			Виключені фактори кг/(кВт·год)
		6	7	8	6	7	8	
Режим								
A	I	65,1	2,1	75,5	0,0	0,0	0,0	–
B	I	65,6	2,1	75,8	0,75	3,94	0,34	g_{CO}
C	I	65,1	2,1	75,6	0,07	0,83	0,06	g_{CnHm}
D	III	140,8	3,5	205,9	116,43	71,16	172,51	g_{NOx}
E	II	87,1	2,8	88,5	33,92	38,46	17,20	g_{PM}
F	I	65,6	2,2	75,8	0,82	4,84	0,40	g_{CnHm} , g_{CO}
G	III	143,1	3,8	207,8	119,97	83,02	175,05	g_{NOx} , g_{CnHm}
H	III	141,0	3,6	206,2	116,75	73,61	172,97	g_{NOx} , g_{CO}
I	II	88,0	3,0	88,9	35,27	46,12	17,66	g_{PM} , g_{CO}
J	II	87,2	2,9	88,6	34,04	40,07	17,28	g_{PM} , g_{CnHm}
K	IV	311,7	6,7	343,0	379,05	226,29	354,06	g_{PM} , g_{NOx}
L	III	143,4	3,8	208,1	120,30	85,83	175,52	g_{NOx} , g_{CnHm} , g_{CO}
M	II	88,1	3,0	89,0	35,39	47,91	17,75	g_{PM} , g_{CnHm} , g_{CO}
N	IV	312,7	6,9	344,0	380,59	235,33	355,34	g_{PM} , g_{NOx} , g_{CO}
O	IV	323,3	7,6	348,4	396,75	272,28	361,15	g_{PM} , g_{NOx} , g_{CnHm}
P	IV	324,3	7,9	349,4	398,42	284,09	362,47	g_{PM} , g_{NOx} , g_{CnHm} , g_{CO}

На рис. 4.3.2 і з табл. 4.3.2 видно, що максимальна різниця значень критерію $K_{ПЕ}$ за базовим варіантом розрахунку спостерігається між режимами номінальної потужності (режим № 8) та мінімального холостого ходу (режим № 7) і сягає значення 73,4 ‰ або 35 разів.

На режимі номінальної потужності також сягає максимуму різниця значень критерію $K_{ПЕ}$ за базовим (варіант А) та за ідеальним (варіант Р) варіантом розрахунку і складає 274 ‰ або 4,6 разів.

Результати розрахунку за усіма варіантами можливо поділити на чотири групи:

I – одного порядку з базовим варіантом (≈ 75 ‰);

II – близькі до базового варіанту (≈ 90 ‰);

III – проміжні (200 ... 210 ‰);

IV – одного порядку з ідеальним варіантом (340 ... 350 ‰).

Ці групи, вочевидь, формуються за ознакою виключення з набору вихідних даних певних факторів ЕБ: I – g_{CnHm} , g_{CO} чи їх сукупності; II – g_{PM} , III – g_{NOx} ; IV – сукупності g_{PM} і g_{NOx} .

Для режиму максимального крутного моменту (режим № 6) різниця між значеннями для I та II груп більш виражена – 65 та 90 ‰.

На рис. 4.3.3 видно, що за режимами навантажувальної характеристики значення критерію $K_{ПЕ}$ за базовим та ідеальним варіантом зростають зі збільшенням значення крутного моменту, а також для груп варіантів I, II та IV, але для III групи варіантів така залежність має перегин в районі режиму № 9.

З наведеного на рис. 4.3.3 видно, що значення методичної похибки визначення критерію $K_{\text{ПЕ}}$ від неповноти складу набору вихідних даних $\Delta K_{\text{ПЕ}}$ за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу у порівнянні з базовим варіантом розрахунку сягає максимумів для ідеального варіанту розрахунку і змінюється у межах 284 (режим мінімального холостого ходу) ... 398,5 (режим максимального крутного моменту) %. Для інших варіантів такі дані зведено до табл. 4.3.2.

На рис. 4.3.3 і з табл. 4.3.2 видно, що максимальна різниця значень похибки $\Delta K_{\text{ПЕ}}$ за ідеальним варіантом розрахунку спостерігається між режимами максимального крутного моменту (режим № 6) та мінімального холостого ходу (режим № 7) і сягає значення 114,5 % або 1,4 рази.

Поділ варіантів розрахунку на групи зберігається, для них характерні такі діапазони значень похибки $\Delta K_{\text{ПЕ}}$:

I – незначні (менше 1,0 %) – варіанти А, В, С, F;

II – суттєві (до 40 %) – варіанти Е, I, J, M;

III – значні (від 70 до 170 %) – варіанти D, G, H, L;

IV – максимальні (від 250 до 350 %) – варіанти K, N, O, P.

На рис. 15.6 видно, що за режимами навантажувальної характеристики значення похибки $\Delta K_{\text{ПЕ}}$ за ідеальним варіантом зростають зі збільшенням значення крутного моменту для усіх груп варіантів розрахунків з перегином в районі режимів № 9 і 10, сягаючи на них максимумів.

Слід зауважити, що усі варіанти розрахунку, що відрізняються від базового, для усіх режимів обраної моделі експлуатації дають завищені у порівнянні з ним значення критерію $K_{\text{ПЕ}}$, тобто більш оптимістичний прогноз рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Такий ефект є негативним, оскільки виробник ЕУ з ПДВЗ застосувавши отримані результати критеріального оцінювання у якості аргументу в конкурентній боротьбі в офіційно об'явлених тендерах, ризикує ввести в оману кінцевого споживача та піддатися у зв'язку з цим накладанню штрафних санкцій.

Не менш важливим є також той факт, що групи варіантів розрахунку можливо розділити на типи:

Тип 1 – зі зневажливо малим значенням методичної похибки $\Delta K_{\text{ПЕ}}$ – це група I, тобто варіанти А, В, С, F, а отже з виключенням з набору вихідних даних $g_{\text{СнНм}}$, $g_{\text{СО}}$ чи їх сукупності;

Тип 2 – з недопустимо великим значенням методичної похибки $\Delta K_{\text{ПЕ}}$ – це групи II, III та IV, тобто варіанти D, E, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, а отже з виключенням з набору вихідних даних g_{PM} , g_{NOx} чи, тим більше, їх сукупності.

Недопустимість використання варіантів розрахунку Типу 2 є очевидною. Це зумовлено тим, що за приведеною токсичність саме g_{PM} та g_{NOx} посідають перші місця.

Питання щодо допустимості використання варіантів розрахунку Типу 1 носить дискусійний характер термінологічної невизначеності.

4.3.5. Висновки по розділу

У дослідженні представлено результати розрахункового обґрунтування складу набору вихідних даних для розрахункового оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ за допомогою комплексного паливно-екологічного критерію.

Показано, що при такому оцінюванні слід використовувати виключно повний набір вихідних даних щодо значень фізичних величин, що їх містить у своїй структурі математичний апарат цього критерію.

Встановлено, що неповнота набору вихідних даних зумовлює методичну похибку від декількох сотих відсотка до 425 % і нерівномірно розподіляється по режимах 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу як моделі експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ, що також зумовлює невизначеність термінологічного характеру.

Визначено значення відповідної методичної похибки, які слід враховувати при використанні у стендових моторних дослідженнях комплексу засобів виміральної техніки, що не можуть надати повного набору вихідних даних

Напрямок вдосконалення математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію, зазначеним у пункті «Виділення невирішеної проблеми» цієї статті, буде присвячено окремі дослідження, що і визначає перспективи розвитку напрямку.

Розділ 4.4. КОМПЛЕКСНЕ КРИТЕРІАЛЬНЕ ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА 2Ч10,5/12 ДЛЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ЗА СТАНДАРТИЗОВАНОЮ МОДЕЛЛЮ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

4.4.1. Постановка проблеми

Актуальність дослідження. Процес експлуатації енергетичних установок (ЕУ) з поршнеvim двигуном внутрішнього згорання (ПДВЗ), зокрема дизельним, у тому числі й одиниці пожежної та аварійно-рятувальної техніки й інші автотранспортні засоби (АТЗ), що перебувають на бойовому чергуванні підрозділів ДСНС України, вочевидь, мають характеризуватися певним рівнем екологічної безпеки (ЕБ) [1, 14, 131].

Головними факторами ЕБ для таких об'єктів є масові годинні викиди з потоком відпрацьованих газів (ВГ) законодавчо нормованих поллютантів, максимально допустимий рівень яких встановлено на території України вимогами відповідних нормативно-правових актів, таких як [16].

Для забезпечення необхідного рівня ЕБ цього процесу було розроблено відповідну систему управління екологічної безпеки (СУЕБ), яку описано у роботі [1].

У дослідженні [14] розроблено загальну концепцію оцінювання ефективності функціонування такої СУЕБ, яка передбачає розрахункове критеріальне оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, а також сформульовано головні вимоги до такого критеріального математичного апарату.

4.4.2. Аналіз літературних джерел

Однак, у спеціалізованій науково-технічній літературі єдиного підходу до комплексної оцінки рівня ЕБ процесу експлуатації таких об'єктів авторами не знайдено, що ставить актуальне завдання розробки методологічної основи та математичного апарату для такого оцінювання [14, 131].

Найбільш близько відповідає вимогам до такого критерію з поміж числа відомих комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова (НТУ «ХПІ») $K_{ПЕ}$, розроблений для оцінювання поточного рівня конкурентоспроможності дизельних ПДВЗ та заходів для її підвищення, його описано у монографії [5].

Розрахункове оцінювання паливно-екологічної ефективності процесу експлуатації ЕУ, результати якого представлені у цьому дослідженні, виконано на прикладі автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, описання та технічні характеристики якого наведено у джерелі [38]. Вихідні дані для розрахункового оцінювання отримані в дослідженнях [63, 64].

Метою даного дослідження є розрахункове оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ із застосуванням комплексного паливно-екологічного критерію на прикладі автотракторного дизельного двигуна 2Ч10,5/12.

Об'єктом даного дослідження є рівень ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Предметом даного дослідження є значення комплексного паливно-екологічного критерію, що описує об'єкт дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні:

1. Аналіз методики та математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова.

2. Модифікація математичного апарату критерію $K_{ПЕ}$ з метою забезпечення можливості оцінювання його значень для окремих репрезентативних режимів роботи дизельного двигуна у його моделі експлуатації.

3. Отримання вихідних даних для розрахункового оцінювання значень критерію $K_{ПЕ}$.

4. Розрахункове оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ на прикладі автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 для режимів 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу.

5. Аналіз результатів дослідження.

Методами даного дослідження є аналіз спеціалізованої науково-технічної літератури, обробка даних експериментальних стендових моторних випробувань, розрахунок середньоексплуатаційних значень техніко-економічних та екологічних робочих показників дизельного ПДВЗ, математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова.

4.4.3. Модифікований математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію

Математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова $K_{ПЕ}$, описаний у монографії [5], передбачає розрахунок середньоексплуатаційного значення, тобто єдиного значення для окремо взятої моделі експлуатації. Для окремо взятого індивідуального представницького i -го режиму моделі експлуатації його математичний апарат може бути модифіковано і описано наступними формулами (тут і далі використано англійські позначення фізичних величин).

$$K_{FEi} = \eta_{ei} \cdot (1 - \beta_i) = \frac{3600}{H_u \cdot g_{ei}} \cdot \left(1 - \frac{Z_{ei}}{Z_{fei}}\right) =$$

$$= \frac{3600}{H_u \cdot G_{fi}} \cdot \left(1 - \frac{Z_{ei}}{Z_{fi} + Z_{ei}}\right) = \frac{3600}{M_{kpi} \cdot n_{kei}} \cdot \left(1 - \frac{Z_{ei}}{g_{ei} \cdot P_f + Z_{ei}}\right); \quad (4.4.1)$$

$$Z_{fi} = g_{ei} \cdot P_f; \quad (4.4.2)$$

$$Z_{ei} = \frac{G_{fi} \cdot \delta \cdot \sigma \cdot f}{N_{ei}} \cdot \sum_{m=1}^h \left(A_k \cdot \frac{G_{mki}}{G_{fi}} \right); \quad (4.4.3)$$

де індексом i позначено i -й режим роботи моделі експлуатації; H_u – нижча теплота згоряння моторного палива ($H_u = 42,7$ МДж/кг [5]); N_{ei} – ефективна потужність ПДВЗ, кВт; G_{fi} – масова годинна витрата палива ПДВЗ, кг/год; G_{mki} – масовий годинний викид m -го політанта з потоком ВГ ПДВЗ кг/год; A_m – безрозмірний показник відносної агресивності m -го політанта як компоненту ВГ ПДВЗ ($A_{NO_x} = 41,1$; $A_{PM} = 200$; $A_{CnHm} = 3,16$; $A_{CO} = 1,0$ [5]); h – кількість законодавчо нормованих політантів у ВГ ПДВЗ; ($h = 4$ [1, 16, 5]); δ – безрозмірний показник відносної небезпеки забруднення для різних територій (для дизельного ПДВЗ АТЗ $\delta = 1,0$, для тракторного дизеля $\delta = 0,25$ [5]); f – безрозмірний коефіцієнт, що враховує характер розсіювання ВГ у атмосфері (для території України $f = 1,0$ [5]); σ – розмірний коефіцієнт для перетворення бальної оцінки шкоди в грошову ($\sigma = P_f$ [5]); WF_i – ваговий фактор робочого режиму у моделі експлуатації (відносне напрацювання ПДВЗ на i -му полігоні (режимі) моделі експлуатації); η_e – ефективний ККД дизельного ПДВЗ; β – коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних грошових витрат; Z_e , Z_f та Z_{fe} – грошові витрати на компенсацію екологічної шкоди, на спожите моторне паливо та сумарні паливно-екологічні відповідно, $\$/(\text{кВт}\cdot\text{год})$; g_e – питома ефективна масова годинна витрата палива дизельним ПДВЗ, $\text{кг}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$; P_f – ціна на одиниці маси моторного палива (результати вибору одиниць вартісних еквівалентів складових критерію $K_{ПЕ}$ наведено у дослідженні [2], $P_f = 0,871$ $\$/\text{кг}$ при $P_f = 20,0$ грн/л, $\rho_f = 0,85$ $\text{кг}/\text{м}^3$ та обмінному курсі станом на грудень 2016 р. 27,0 грн/); M_{kpi} – крутний момент ПДВЗ, Н·м; n_{kvi} – частота обертання колінчастого валу ПДВЗ, хв^{-1} .

Формули (4.4.1) – (4.4.3) для всієї моделі експлуатації дизельного ПДВЗ перетворено до виду формул (1.2.1) – (1.2.9) і відповідають наведеним у монографії [5].

Особливості моторного випробувального стенду та методики експериментальних досліджень на ньому, за допомогою яких отримано робочі характеристики автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та ФТЧ, розробленого і вдосконаленого авторами даного дослідження, наведені у роботах [1, 63, 64], передбачають виконання наступних заходів.

По-перше, значення величини G_{PMi} у кг/год для i -го режиму роботи ПДВЗ отримуються із застосуванням відомої формули перерахунку (1.4.5), описаної та обґрунтованої у монографії [5], у залежності від значень коефіцієнту послаблення світлового потоку у пробі ВГ N_D (показник димності ВГ) у %, та об'ємної концентрації незгорілих вуглеводнів моторного палива і мастила C_nH_m у пробі ВГ C_{CH} у млн^{-1} чи ppm, а також масових годинних витрат палива та повітря ПДВЗ G_{air} і G_f у кг/год.

По-друге, значення масових годинних викидів оксидів азоту NO_x , монооксиду вуглецю CO та незгорілих вуглеводнів моторного палива і оливи C_nH_m – G_{mNO_x} , G_{mCH} та G_{mCO} у кг/год перетворюються з експериментально отриманих значень об'ємних концентрацій цих речовин у пробі ВГ C_{VNO_x} , C_{VCO} та C_{VCnHmi} у млн^{-1} чи ppm з використанням методики з монографії [5] за наступними формулами з поправочними коефіцієнтами, що

враховують на вологість повітря у лабораторії F_{NOxi} та F_{COi} .

$$G_{NOxi} = 1,587 \cdot 10^{-3} \cdot C_{VNOxi} \cdot F_{NOxi} \cdot (G_{пали} + G_{пові}), \quad (4.4.4)$$

$$G_{COi} = 9,66 \cdot 10^{-4} \cdot C_{VCC,i} \cdot F_{COi} \cdot (G_{пали} + G_{пові}), \quad (4.4.5)$$

$$G_{CnHmi} = 4,78 \cdot 10^{-4} \cdot C_{VCnHmi} \cdot (G_{пали} + G_{пові}), \quad (4.4.6)$$

$$F_{NOxi} = \left(1 + \left(0,044 \cdot \frac{G_{пали}}{G_{пові}} - 0,0038 \right) \cdot (7 \cdot d - 75) + \right. \\ \left. + \left(0,0053 - 0,116 \cdot \frac{G_{пали}}{G_{пові}} \right) \cdot 1,8 \cdot (T_0 - 302) \right)^{-1}, \quad (4.4.7)$$

$$d = \frac{6,21 \cdot \varphi_0 \cdot P_s}{B_0 - 0,01 \cdot \varphi_0 \cdot P_s}, \quad (4.4.8)$$

$$F_{COi} = 1 - 1,85 \cdot \frac{G_{пали}}{G_{пові}}, \quad (4.4.9)$$

$$P_s = 6,1121 \cdot \exp \left(\left(18,678 - \frac{t_0}{234,5} \right) \cdot \frac{t_0}{257,14 + t_0} \right), \quad (4.4.10)$$

де $d = 5,367$ г/кг – масова концентрація водяної пари у повітрі; $\varphi_0 = 50$ % – відносна вологість повітря; $B_0 = 995$ hPa – барометричний тиск; $P_s = 17,052$ hPa – тиск насиченої водяної пари; $t_0 = 15$ °C – температура навколишнього повітря.

Параметри 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу як моделі експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ описано у Правилах ЄЕК ООН № 49 [16] і зведено у табл. 4.4.1.

Законодавчо встановлені на території України вимоги до показників рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ у історичній перспективі наведено у табл. 4.4.2 [1].

У монографії [5] значення критерію $K_{ПЕ}$ та його складових β , Z_e , Z_f і Z_{fe} було оцінено для різних моделей експлуатації ПДВЗ в цілому, а не для їх окремих режимів.

Це зумовлене тим, що у цих моделях експлуатації присутні режими з нульовою (холостий хід) та малою ефективною потужністю.

Для режимів холостого ходу $N_{ei} \rightarrow 0$ кВт і тому $g_e \rightarrow \infty$ кг/(кВт·год), $\eta_e \rightarrow 0$, а також Z_e , Z_f , $Z_{fe} \rightarrow \infty$ \$/(кВт·год), $\beta \rightarrow 1,0$ та $K_{FE} \rightarrow 0$ (див. формули (4.4.1) – (4.4.3)). Для режимів малої ефективною потужності значення критерію $K_{ПЕ}$ є неінформативними.

Для отримання можливості оцінювання значень критерію $K_{ПЕ}$ для окремих режимів моделей експлуатації в даній роботі пропонується наступний спосіб.

Необхідно перейти від інтерпретації терміну «холостий хід» у межах понятійного апарату, що приймається в науковій дисципліні «Теорія ДВЗ», до термінології практики експлуатації ПДВЗ як частини ЕУ.

У цьому випадку ПДВЗ на холостому ході виробляє не нульову ефективну потужність, яка витрачається на потреби вторинних споживачів енергії ЕУ та на забезпечення комфортних умов роботи оператора ЕУ.

Перший з вказаних випадків включає в себе зарядку електричної батареї, живлення електронних систем управління, живлення гідравлічних та пневматичних сервосистем тощо.

Другий з вказаних випадків включає в себе освітлення робочого місця та пасажирського салону, живлення світлових індикаторів та панелі керування, живлення системи кондиціонування, мультимедійної та навігаційної систем тощо.

Далі ми приймаємо таке припущення: ефективна потужність N_{ei} на режимах холостого ходу моделей експлуатації ПДВЗ, описана формулою (1.2.6), в якій для режиму мінімального холостого ходу крутний момент M_{kpi} дорівнює 0,5 % від значення максимального крутного моменту ПДВЗ (для дизеля 2Ч10,5/12 – 110 Н·м), що при значенні частоти обертання колінчастого валу n_{kvi} (для дизеля 2Ч10,5/12 – 800 хв⁻¹), дає значення N_{ei} 46,1 Вт.

4.4.4. Результати розрахункового дослідження

Результати розрахункового оцінювання, яке базується на експериментальних даних, отриманих у [63, 64] (представлених на рис. 4.4.1 – 4.4.3), для автотракторного дизеля 2Ч10.5/12, що працює за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу, показано на рис. 4.4.3 і 4.4.5.

На рис. 4.4.2 і 4.4.3 видно, що це співвідношення між вартісними еквівалентами грошових витрат на компенсацію екологічної шкоди Z_e , на вартість спожитого моторного палива Z_f і сумарних паливно-екологічних витрат Z_{fe} варіюються від режиму до режиму циклу випробувань і досягають максимуму в режимах мінімального холостого ходу (режими № 1, 7, 13).

Значення критерію $K_{ПЕ}$ без врахування значення вагового коефіцієнта WF режиму досягають максимуму на режимі номінальної потужності (режим № 8), а з урахуванням значення WF – на режимі максимальної крутного моменту (режим № 6).

Експлуатація дизельного двигуна 2Ч10,5/12 на навантажувальній характеристиці з частотою обертання колінчастого валу режиму максимального крутного моменту (режими № 2 – 6) за значенням критерію $K_{ПЕ}$ менш бажана, ніж його експлуатація на навантажувальній характеристиці з частотою обертання колінчастого валу режиму номінальної потужності (режими № 8 – 12).

Експлуатація цього дизельного двигуна на режимах з нульовою ефективною потужністю (режими № 1, 7, 13), а також на режимах з низькою ефективною потужністю (режими № 2, 12) характеризується надзвичайно низьким рівнем паливно-екологічної ефективності.

Середньоексплуатаційні значення критерію $K_{ПЕ}$ (тобто з урахуван-

ням розподілу значення WF по режимам випробувального циклу) становить $43,989 \cdot 10^{-3}$, а середнє значення (тобто при однаковому усередненому значенні WF для всіх режимів моделі експлуатації дизельного ПДВЗ) становить $41,204 \cdot 10^{-3}$.

Отримані в цьому дослідженні середньоексплуатаційні значення критерію K_{PE} для дизельного двигуна 2Ч10,5/12 можна порівняти з середньоексплуатаційними значеннями цього критерію для автотракторного дизеля 6ЧН12/14 (СМД-31), оцінені в монографії [5] для на 18-режимного випробувального циклу, який дорівнює $106,0 \cdot 10^{-3}$.

У цьому випадку паливно-екологічну ефективність процесу експлуатації оцінюваного дизеля можна охарактеризувати як відносно низьку.

Цей висновок пояснюється високими значеннями масових годинних викидів законодавчо нормованих поллютантів з потоком його ВГ на фоні прийнятної паливної економічності.

Такі результати спричинені значними відмінностями в технічному рівні порівняних дизельних двигунів, а саме – наявності системи рідинного охолодження, турбонаддуву, індивідуальних секцій паливного насосу високого тиску, значно більшої номінальної потужності та частоті обертання колінчастого валу у дизеля СМД-31, а також значної різниці в даті впровадження у серійне виробництво порівнюваних двигунів.

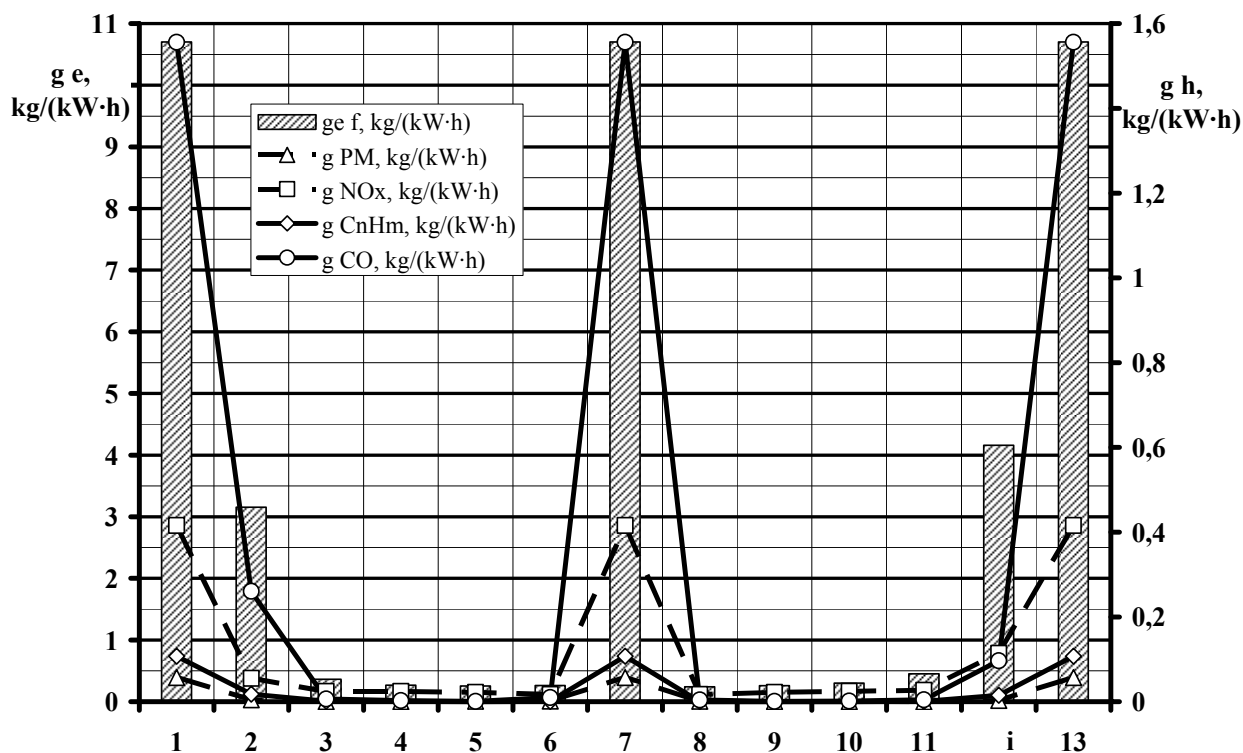


Рис. 4.4.1 – Вихідні дані для розрахункового оцінювання значень комплексного паливно-екологічного критерію K_{FE} для дизельного двигуна 2Ч10,5/12 та 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу, експериментально отримані у [63, 64] [A.25] (мовою оригіналу)

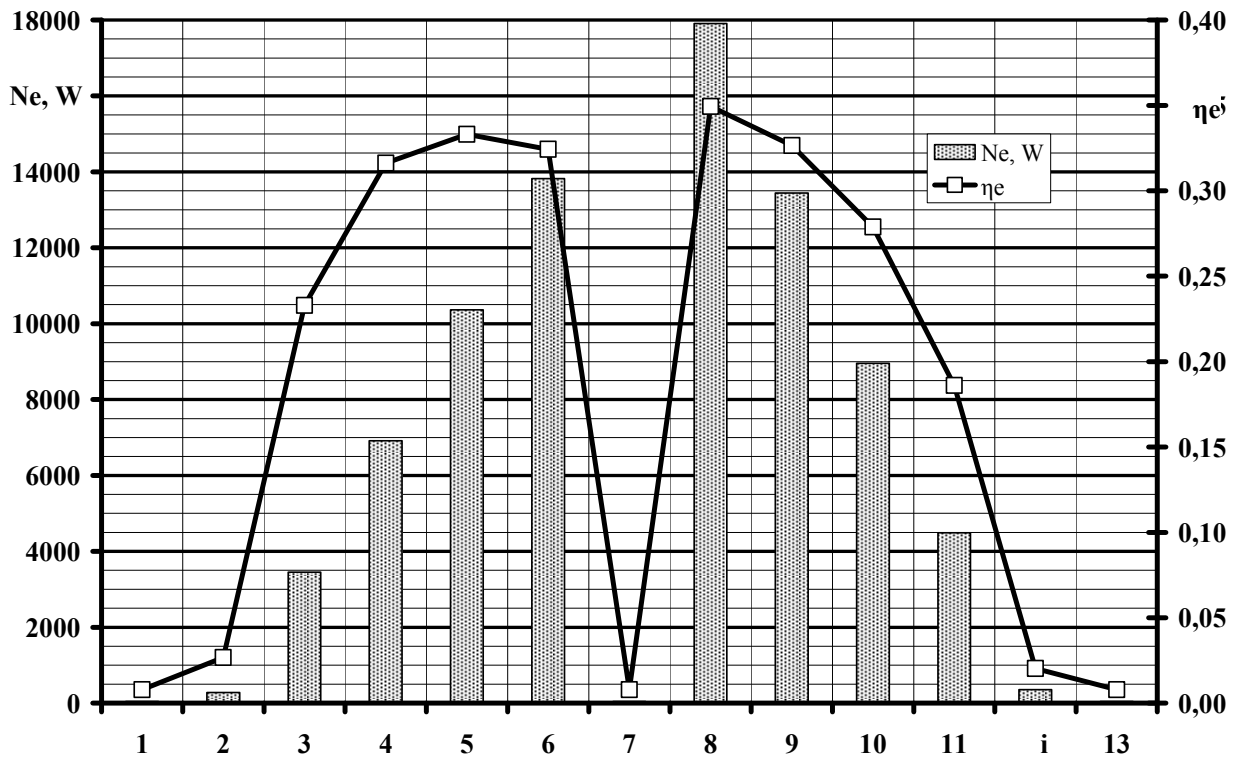


Рис. 4.4.2 – Вихідні дані для розрахункового оцінювання значень комплексного паливно-екологічного критерію K_{FE} для дизельного двигуна 2Ч10,5/12 та 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу, експериментально отримані у [63, 64] [A.25] (мовою оригіналу)

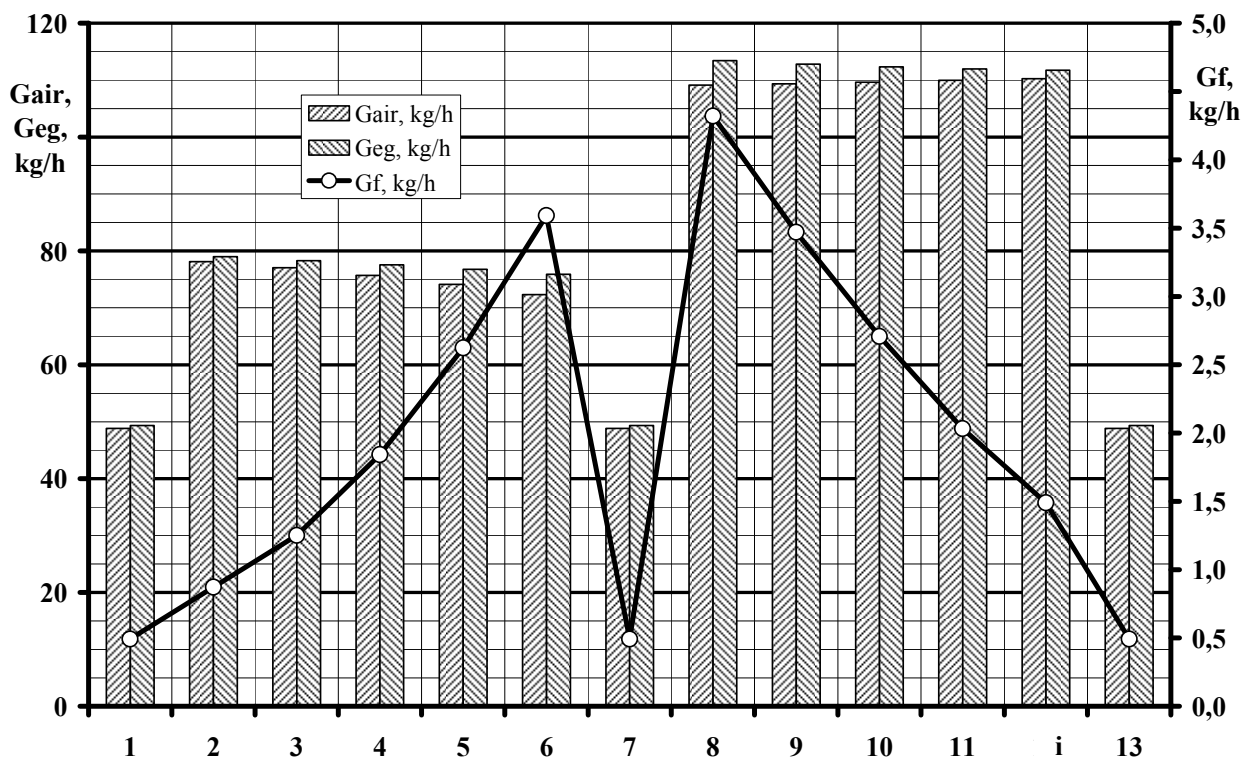


Рис. 4.4.3 – Вихідні дані для розрахункового оцінювання значень комплексного паливно-екологічного критерію K_{FE} для дизельного двигуна 2Ч10,5/12 та 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу, експериментально отримані у [63, 64] [A.25] (мовою оригіналу)

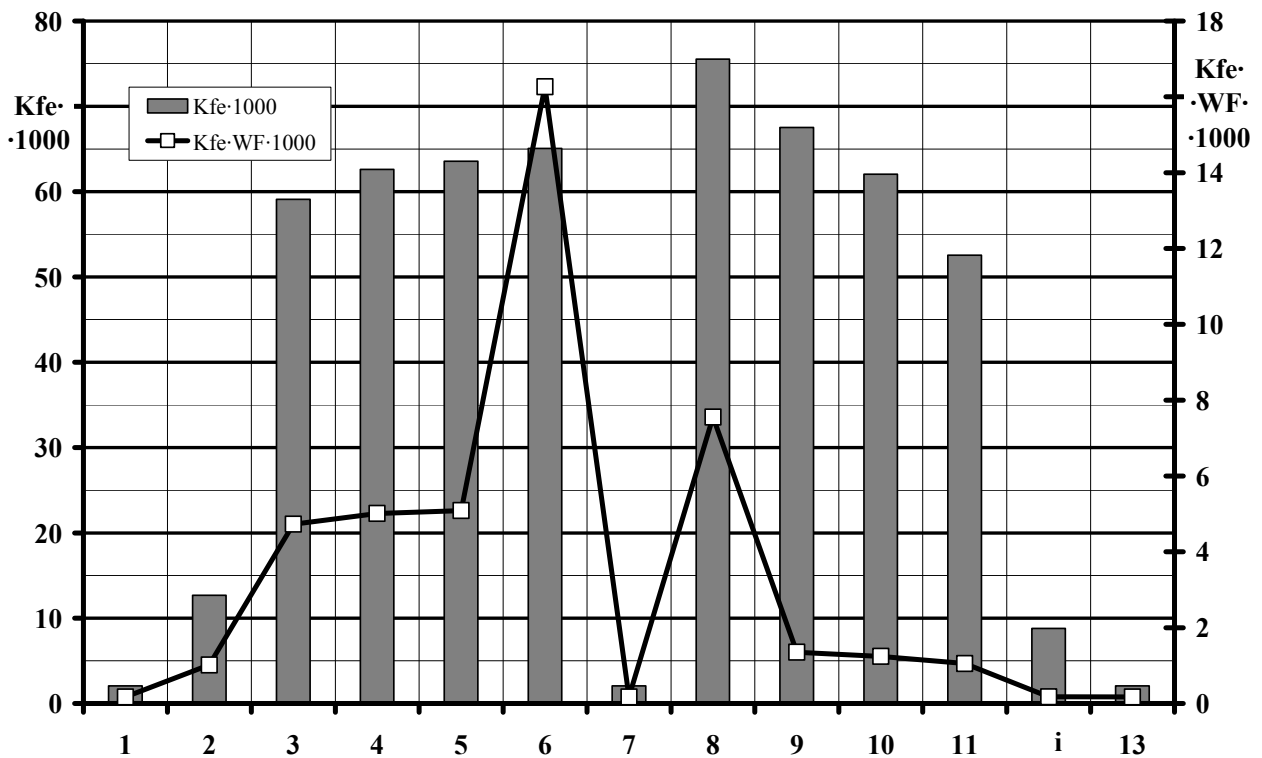


Рис. 4.4.4 – Результати розрахункового кількісного оцінювання значень комплексного паливно-екологічного критерію K_{FE} для дизельного двигуна 2Ч10,5/12 та 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу [А.25] (мовою оригіналу)

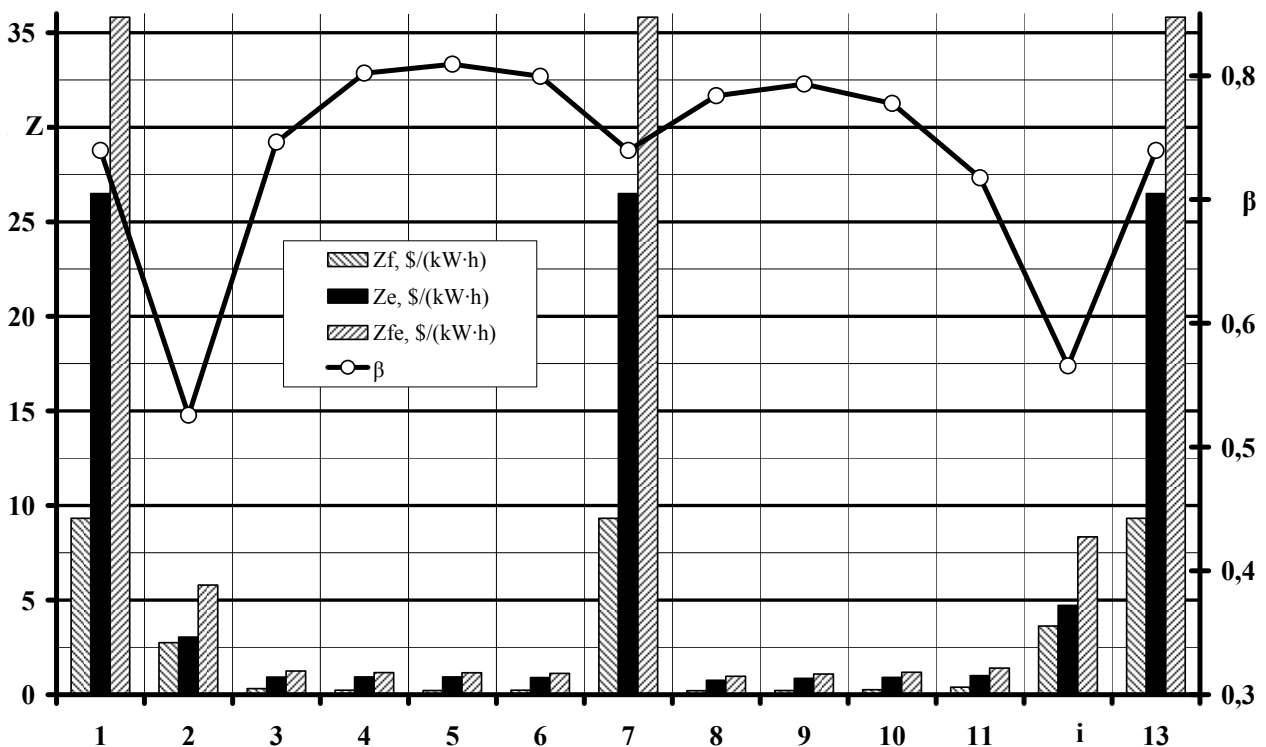


Рис. 4.4.5 – Результати розрахункового кількісного оцінювання значень складових комплексного паливно-екологічного критерію K_{FE} для дизельного двигуна 2Ч10,5/12 та 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу [А.25] (мовою оригіналу)

4.4.5. Висновки по розділу

Отже, в даному дослідженні описуються методологія, модифікований математичний апарат та результати застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданов та його компонентів.

Дослідження показало, що співвідношення вартісних еквівалентів компонентів критерію змінюється від режиму до режиму випробувального циклу і досягають максимуму на режимах мінімального холостого ходу. Значення критерію досягають максимуму на режимі номінальної потужності.

Експлуатація дизельного двигуна за навантажувальними характеристиками з частотою обертання колінчастого валу режиму максимального крутного моменту менш бажана, ніж його експлуатація на навантажувальній характеристиці з частотою обертання колінчастого валу режиму номінальної потужності.

Експлуатація оцінюваного дизельного двигуна на режимах з нульовою та малою ефективною потужністю характеризується надзвичайно низьким рівнем паливно-екологічної ефективності.

З модифікованим математичним апаратом критерію можна провести оцінку рівня екологічної безпеки процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ будь-якого типу, що являє собою *практичну цінність результатів дослідження*. Дослідження проводилося з використанням експериментальних даних випробувань на моторному випробувальному стенді на прикладі автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, що працює за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу, як для циклу в цілому, так і для його окремих режимів, у чому і полягає *наукова новизна результатів дослідження*.

Отримане середньоексплуатаційне значення критерію $K_{ПЕ}$ для дизельного двигуна 2Ч10,5/12 та порівняно з величиною для автотракторного дизеля 6ЧН12/14.

Розділ 4.5. КОМПЛЕКСНЕ ПОРІВНЯЛЬНЕ КРИТЕРІАЛЬНЕ ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА 2Ч10,5/12 ЗА РІЗНИМИ МОДЕЛЯМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

4.5.1. Постановка проблеми

Процес безаварійної експлуатації енергетичних установок (ЕУ) з поршневим двигуном внутрішнього згоряння (ПДВЗ), зокрема дизельним, вочевидь, має характеризуватися певним рівнем екологічної безпеки (ЕБ) [1, 22, 24, 25, 131, 135].

Зазвичай цей рівень характеризується набором значень законодавчо нормованих показників токсичності потоку відпрацьованих газів (ВГ) ПДВЗ, вимоги до яких містяться у нормативно-технічній літературі [16].

Відомо декілька підходів до комплексного оцінювання рівня ЕБ а також додатково значенням питомих ефективних масових годинних витрат палива ПДВЗ [135].

Найпридатніший з відомих підходів відображається математичним апаратом комплексного паливно-екологічного критерію $K_{\text{ПЕ}}$ проф. І.В. Парсаданова (НТУ «ХПІ») та методика його застосування, описані у монографії [5].

Критеріальне оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації різнотипних ЕУ з ПДВЗ має виконуватись з урахуванням особливостей роботи таких об'єктів, тобто їх моделей експлуатації, тим більше, якщо їх ПДВЗ є автотракторним, тобто має широкий спектр призначення.

4.5.2. Аналіз літературних джерел

У дослідженнях [131, 25, 24, 135] авторами даної монографії використано цей критеріальний апарат для оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, описаного у джерелі [142]. У тих же дослідженнях цей критеріальний апарат модифіковано.

Основними результатами досліджень [131, 25, 24, 135] стали порежимні й середньоексплуатаційні значення критерію $K_{\text{ПЕ}}$ для 13-режимного стаціонарного стандартизованого випробувального циклу, обраного як модель експлуатації вказаного дизельного ПДВЗ.

Однак, дизель 2Ч10,5/12 за призначенням є автотракторним, тобто має досить широкий спектр можливих типів ЕУ, які ним можуть оснащуватися. При цьому процес безаварійної експлуатації таких ЕУ описується різними моделями, які враховують різну кількість та номенклатуру режимів роботи ПДВЗ, кожен з яких характеризується значеннями координат поля робочих режимів ПДВЗ (частоти обертання колінчастого валу $n_{\text{кв}}$ та крутного моменту $M_{\text{кр}}$) та значеннями вагового фактора WF .

Такі дані про найуживаніші моделі експлуатації ПДВЗ з числа відомих наведено у монографії [5].

Крім того існують й інші моделі експлуатації (наприклад, ПДВЗ тепловозу, судна, літального апарату, танка; стаціонарних чи пересувних

електрогенератора, компресорної чи гідронасосної станції тощо).

А для деяких типів ЕУ модель експлуатації не розроблено, причому це стосується як ЕУ доволі екзотичного призначення (наприклад СПГГ, СПДК, дизель-молота, дизель-трамбовки, масштабної авіамоделі тощо), так ЕУ достатньо розповсюджених – наприклад одиниць пожежних автомобілів та аварійно-рятувальної спеціальної техніки.

Так, концепція моделі експлуатації одиниць пожежних автомобілів наведена у дослідженні [142].

При застосуванні відомих та розробці нових моделей експлуатації ПДВЗ для здійснення розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ потрібні набори вихідних даних щодо значень враховуваних обраним критеріальним математичним апаратом факторів ЕБ.

Такі дані отримують обробкою результатів стендових моторних експериментальних досліджень чи математичним моделюванням для окремих стаціонарних режимів роботи ПДВЗ, тобто такі вихідні дані є дискретними.

При цьому поле робочих режимів ПДВЗ є континуальним і містить усі можливі режими роботи ПДВЗ, що формують будь які з відомих чи новостворених моделей експлуатації

Тому для забезпечення можливості застосування довільної моделі експлуатації необхідним є апроксимувати дискретні дані стендових моторних досліджень на всій області робочих режимів ПДВЗ, наприклад методом найменших квадратів.

Тоді можливим стане отримання апроксимованих на всій області робочих режимів ПДВЗ значень відповідного критерію та його складових, що і складає *актуальність даного дослідження*.

Метою даного дослідження є розрахункове порівняльне оцінювання рівня ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ із застосуванням комплексного паливно-екологічного критерію на прикладі автотракторного дизельного двигуна 2Ч10,5/12, що працює за різними моделями експлуатації.

Об'єктом даного дослідження є рівень ЕБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, що працює за різними моделями експлуатації.

Предметом даного дослідження є вплив особливостей різних моделей експлуатації ПДВЗ на об'єкт дослідження.

Задачами даного дослідження є наступні:

1. Аналіз особливостей відомих моделей експлуатації ПДВЗ.
2. Отримання вихідних даних для розрахункового оцінювання значень критерію $K_{ПЕ}$ апроксимацією даних стендових моторних досліджень.
3. Отримання значень критерію $K_{ПЕ}$ та його складових для всього поля робочих режимів ПДВЗ розрахунком за отриманим набором вихідних даних та апроксимацією методом найменших квадратів.
4. Розрахункове отримання середньоексплуатаційних та порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ для відомих моделей експлуатації.
5. Модифікація математичного апарату критерію $K_{ПЕ}$ з метою забез-

печення можливості оцінювання його середньоексплуатаційних значень для довільної моделі експлуатації з використанням результатів апроксимації значень критерію та його складових на всьому полі робочих режимів ПДВЗ.

6. Аналіз результатів дослідження.

Методами даного дослідження є аналіз спеціалізованої науково-технічної літератури, обробка даних експериментальних стендових моторних випробувань, розрахунок середньоексплуатаційних значень техніко-економічних та екологічних робочих показників дизельного ПДВЗ, математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова, метод найменших квадратів.

4.5.3. Отримання вихідних даних

На рис. 4.5.1 – 4.5.2 наведено сімейство гістограм (а – при постійному значенні величини $n_{кв}$, б – при постійному значенні величини $M_{кр}$) величин, які використані у якості вихідних даних для розрахункового оцінювання порежимних та середньоексплуатаційних значень критерію K_{fe} та його основних складових, що віднесені до техніко-економічних показників роботи дизеля 2Ч10,5/12 для усього поля його робочих режимів (від значення $n_{кв} = 800 \text{ хв}^{-1}$ до $n_{кв} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ з $\Delta n_{кв} = 200 \text{ хв}^{-1}$ та від значення $M_{кр} = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$ до $M_{кр} = 110 \text{ Н}\cdot\text{м}$ з $\Delta M_{кр} = 11 \text{ Н}\cdot\text{м}$).

Це ефективна потужність дизеля N_e у кВт (рис. 4.5.1) та масові годинні витрати палива дизелем G_f у кг/год (рис. 4.5.2).

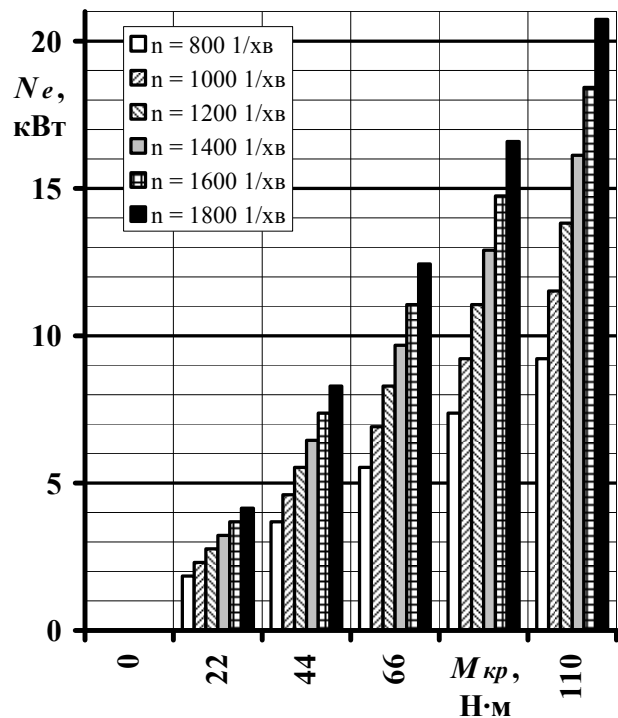
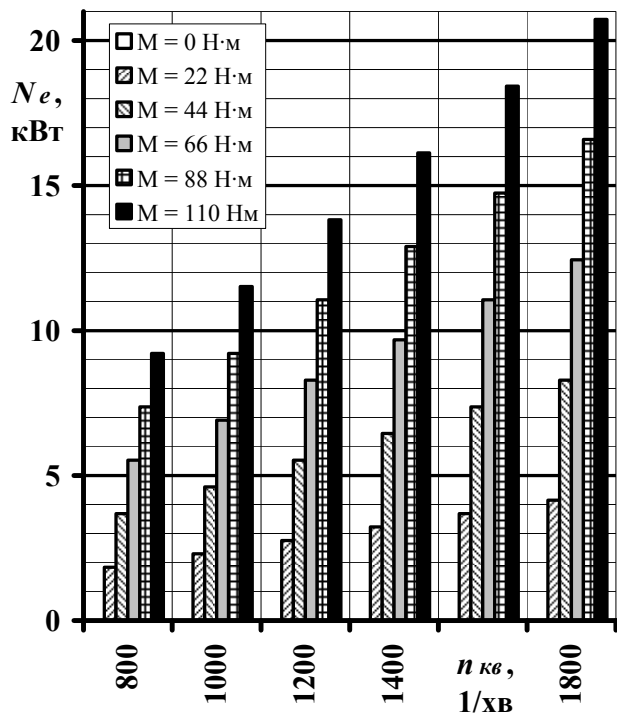
На рис. 4.5.3 – 4.5.6 наведено сімейство гістограм (а і б – аналогічно рис. 4.5.1 – 4.5.2) величин, які використані у якості вихідних даних для розрахункового оцінювання порежимних та середньоексплуатаційних значень критерію K_{fe} та його складових, що віднесені до екологічних показників роботи дизеля 2Ч10,5/12 для усього поля його робочих режимів.

Це масові годинні викиди твердих частинок з потоком ВГ дизеля $G_{ТЧ}$ у г/год (рис. 4.5.3), масові годинні викиди оксидів азоту з потоком ВГ дизеля G_{NOx} у г/год (рис. 4.5.4), масові годинні викиди незгорілих вуглеводнів моторного палива і оливи з потоком ВГ дизеля G_{CnHm} у г/год (рис. 4.5.5) та масові годинні викиди монооксиду вуглецю з потоком ВГ дизеля G_{CO} у г/год (рис. 4.5.6).

Усі дані на рис. 4.5.1 – 4.5.6 отримані апроксимацією методом найменших квадратів даних стендових моторних випробувань цього дизеля, отриманих у дослідженнях [63, 64].

Слід зазначити, що з наведених на рис. 4.5.1 – 4.5.6 графіків лише графіки для величини N_e описуються відомою формулою з теорії ДВЗ. Усі інші графіки носять емпіричний характер, причому не однаковий для ПДВЗ різних типів.

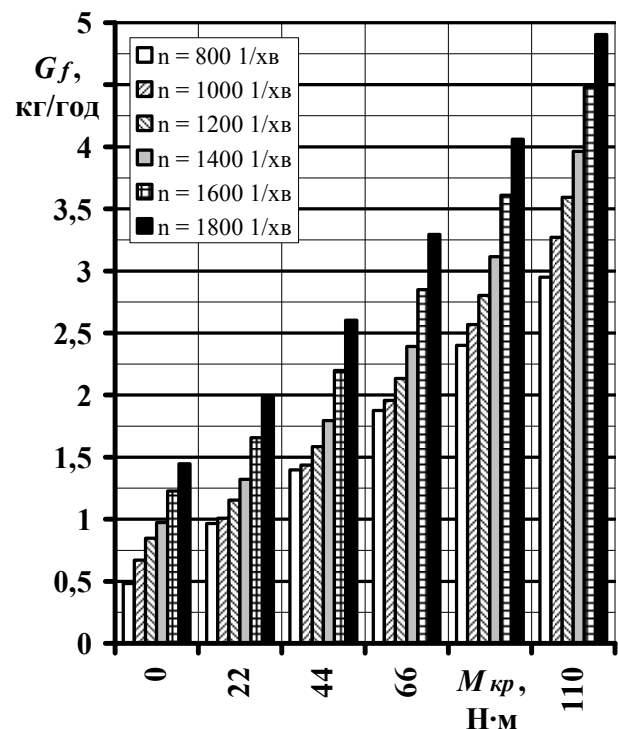
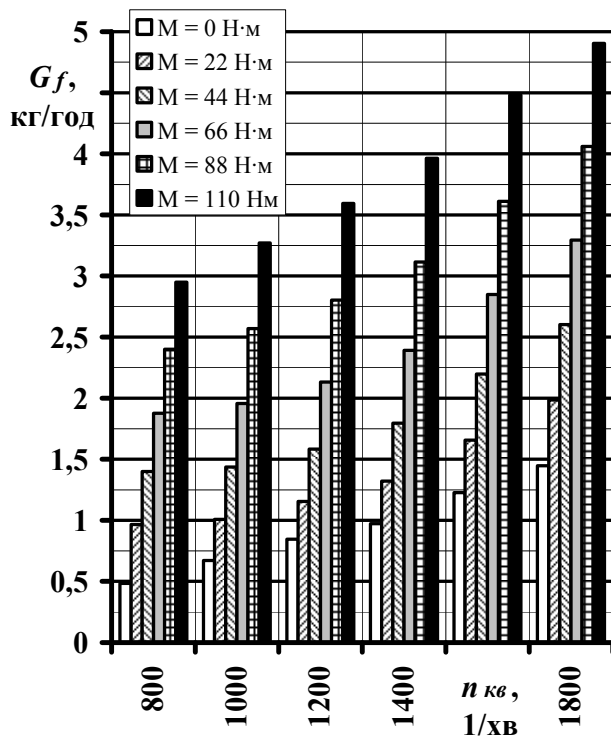
Тому вирішення задач дослідження можливе лише шляхом розрахункового дослідження з використанням вихідних даних, отриманих експериментальним шляхом та апроксимованих для усього поля робочих режимів досліджуваного дизеля.



а

б

Рис. 4.5.1 – Гістограми значень ефективної потужності N_e автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)



а

б

Рис. 4.5.2 – Гістограми значень масових годинних витрат палива G_f автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)

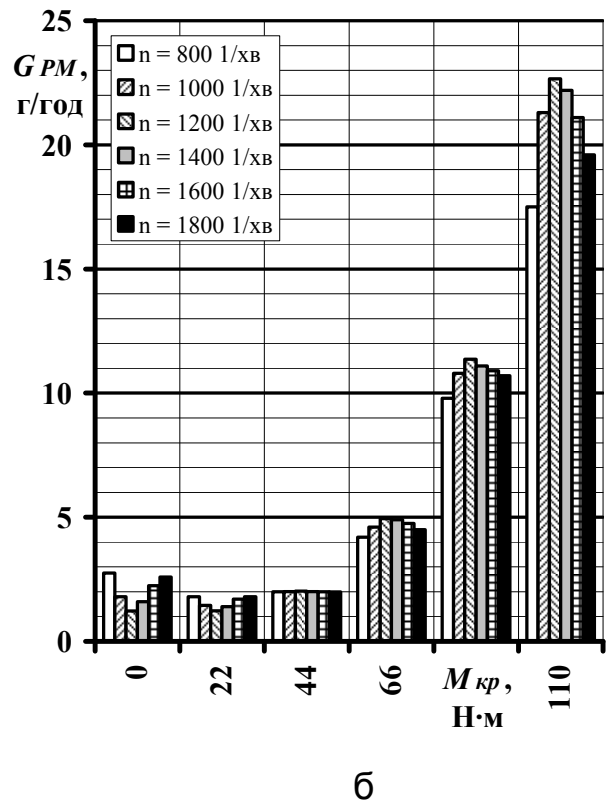
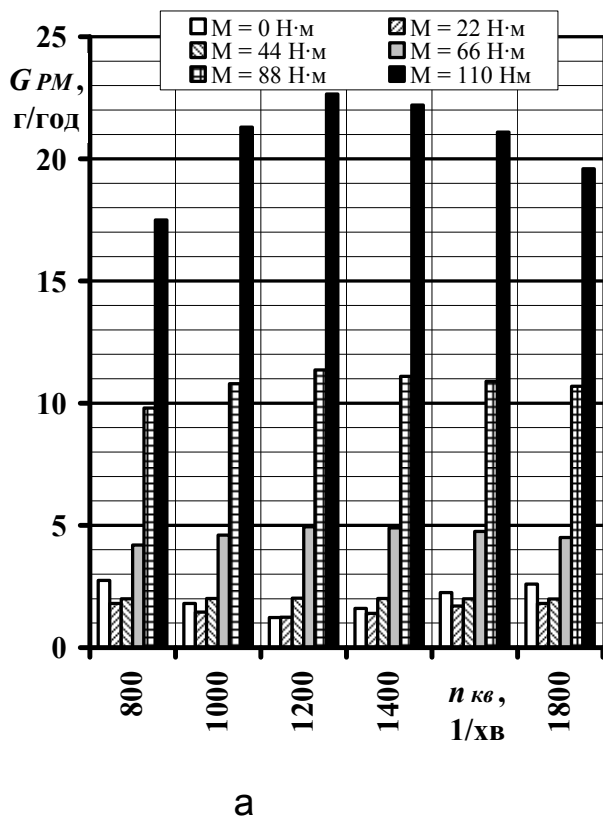


Рис. 4.5.3 – Гістограми значень масових годинних викидів ТЧ $G_{ТЧ}$ автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)

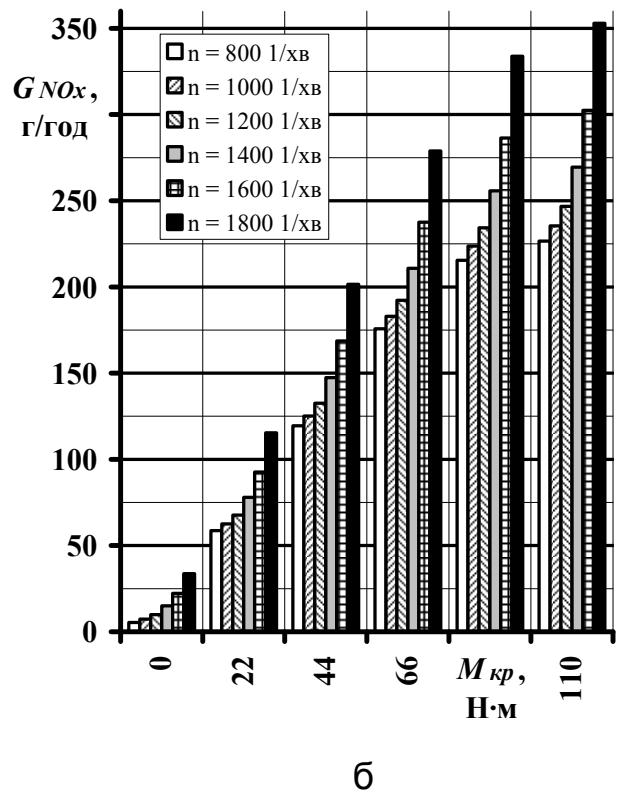
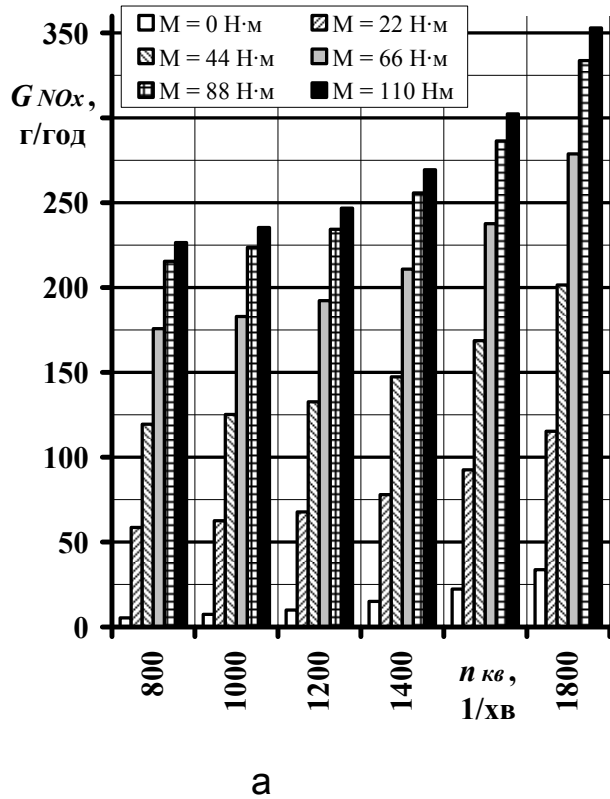
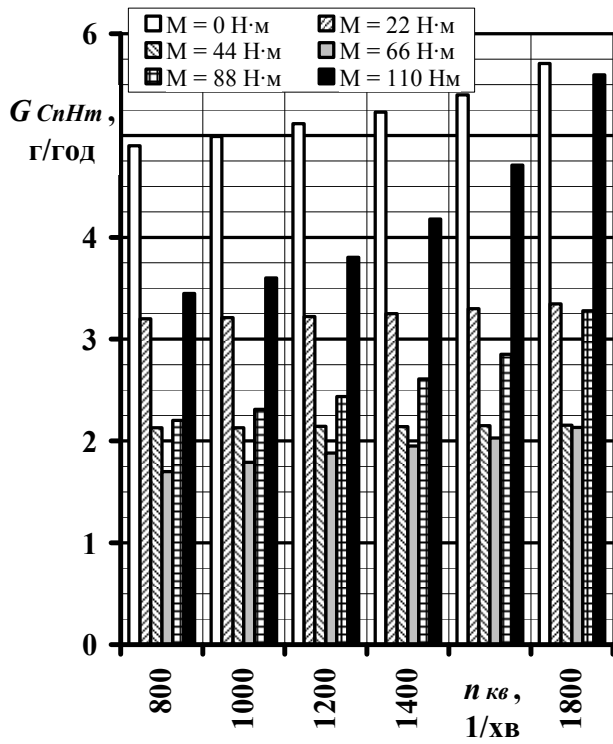
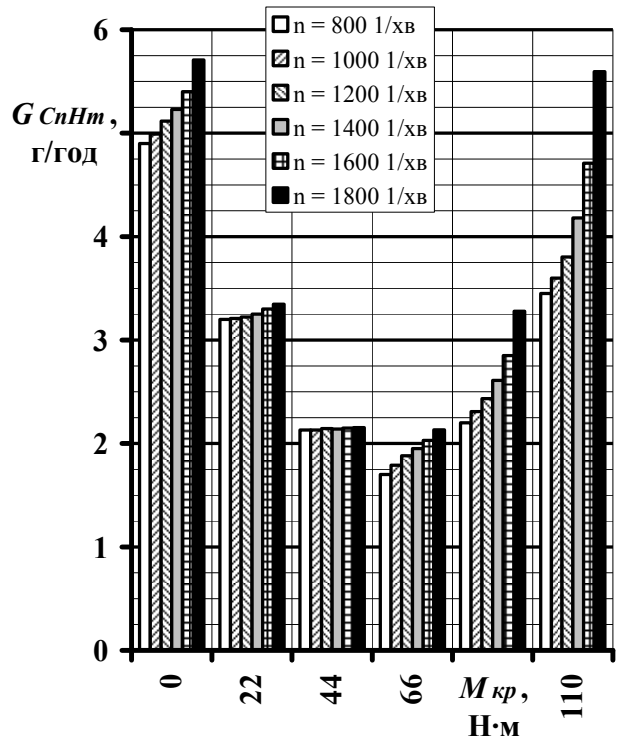


Рис. 4.5.4 – Гістограми значень масових годинних викидів оксидів азоту NO_x G_{NOx} автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)

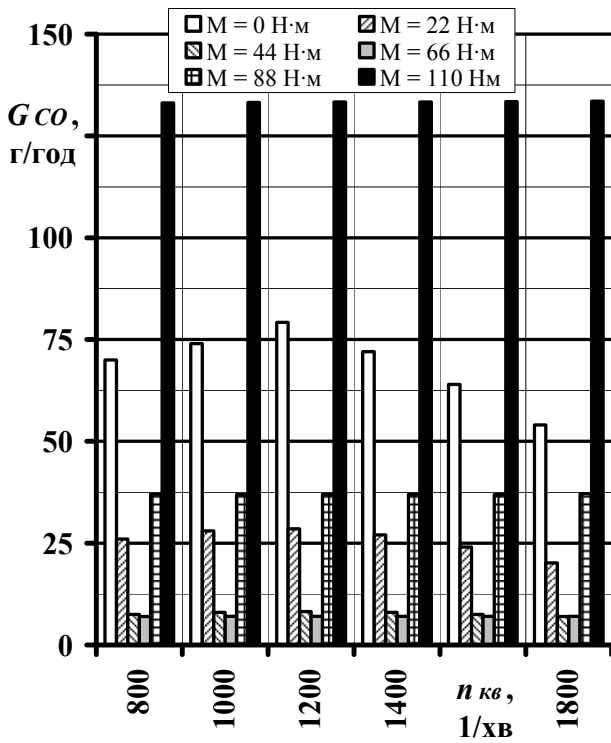


а

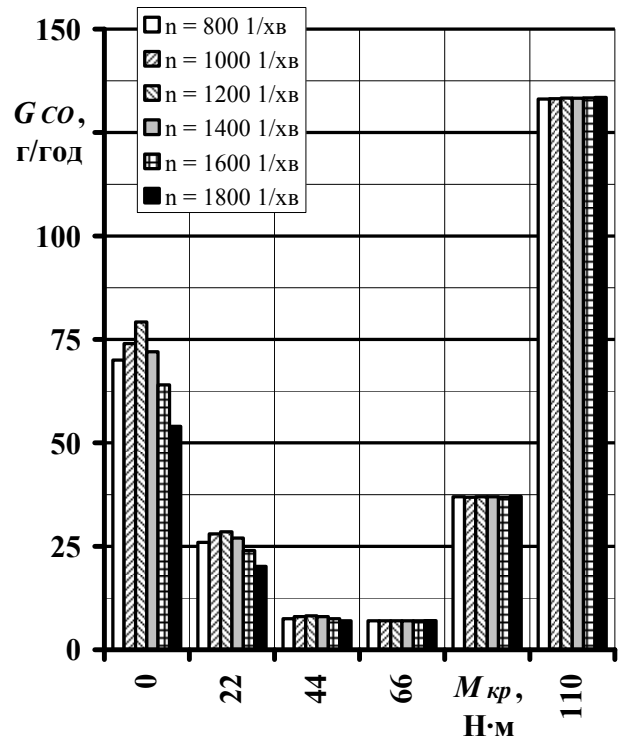


б

Рис. 4.5.5 – Гістограми значень масових годинних викидів незгорілих вуглеводнів C_nH_m G_{CnHm} автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)



а



б

Рис. 4.5.6 – Гістограми значень масових годинних викидів монооксиду вуглецю CO G_{CO} автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)

4.5.4. Апроксимація значень комплексного паливно- екологічного критерію на полі робочих режимів автотракторного дизельного ПДВЗ

Результати апроксимації значень критерію K_{fe} для всього поля робочих режимів дизеля 2Ч10,5/12 методом найменших квадратів у вигляді сімейства ізоліній наведено на рис. 4.5.7 (при постійному значенні величини $n_{ке}$) та на рис. 4.5.8 (при постійному значенні величини $M_{кр}$).

За отриманими даним здійснено розрахункове оцінювання порежимних значень критерію K_{fe} та його складових для режимів експлуатації усіх моделей експлуатації ПДВЗ, досліджених у наступному підрозділі.

На рис. 4.5.9 – 4.5.11 наведено сімейства гістограм розподілу значень складових критерію K_{fe} – грошових витрат на відшкодування екологічної шкоди Z_e , грошових витрат на паливо Z_f та сумарних паливно-екологічних витрат Z_{fe} .

На рис. 4.5.7 та 4.5.8 видно, що континуальний розподіл значень критерію K_{fe} по області робочих режимів дизельного ПДВЗ носить складний характер.

Глобальний максимум 75 ‰ приходить на режим номінальної потужності, глобальний мінімум 2,0 ‰ – на режим максимального холостого ходу.

Ізолінії залежностей значень критерію K_{fe} від значень частоти обертання колінчастого валу ПДВЗ за постійних значень $M_{кр}$ (див. рис. 4.5.7) є параболлами, перегини (максимумами) яких змішуються у сторону режиму номінальної потужності зі збільшенням значення $M_{кр}$. Крутизна гілок парабол змінюється від незначної при малих значеннях величини $M_{кр}$ до суттєвої при великих значеннях величини $M_{кр}$.

Ізолінії залежностей значень критерію K_{fe} від значень крутного моменту ПДВЗ за постійних значень величини $n_{ке}$ (див. рис. 4.5.8) є кривими лініями, кожна з яких можна умовно розділити на три ділянки:

- інтенсивного росту, майже прямолінійна (від нульового значення $M_{кр}$ до 20 % від максимального його значення);
- перехідна, параболічна (у діапазоні 20 ... 40 % максимального значення $M_{кр}$);
- помірного росту, від прямої паралельної вісі абсцис прямої при малих значеннях величини $n_{ке}$ до параболічної при великих значеннях величини $n_{ке}$ (у діапазоні 40 ... 100 % максимального значення $M_{кр}$).

На рис. 4.5.9 видно, що величини Z_e та Z_f , а отже і величина Z_{fe} , що є їх сумою, для режимів з ненульовою величиною N_e має глобальний максимум на режимах, близьких до режиму мінімального холостого ходу (з малими значеннями величин $M_{кр}$ та $n_{ке}$).

У функції величин $M_{кр}$ та $n_{ке}$ залежність цих складових критерію K_{fe} насить параболічний характер, а перегини (мінімуми) цих залежностей приходить на середину діапазонів зміни координат поля робочих режимів ПДВЗ.

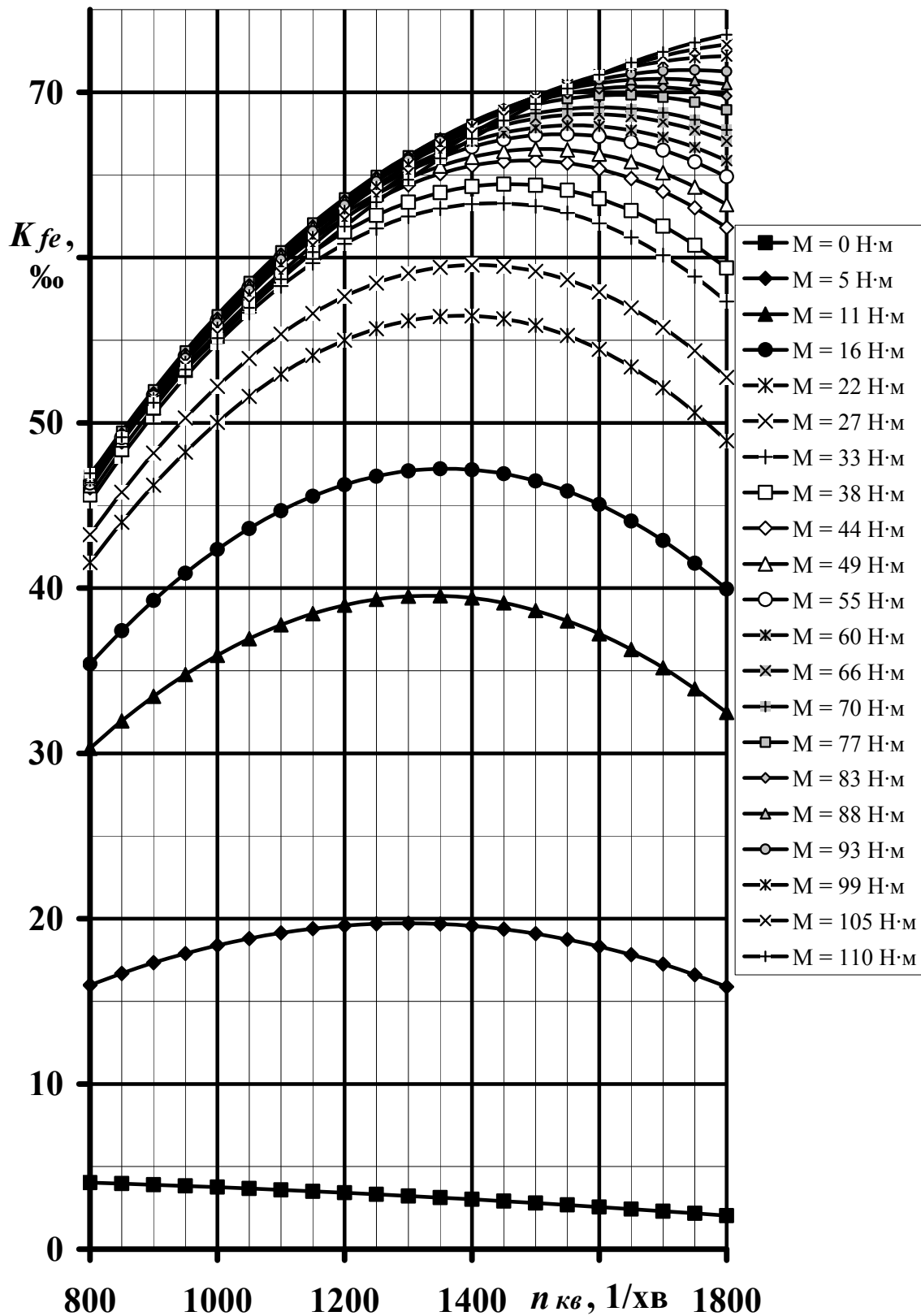


Рис. 4.5.7 – Ізолінії залежностей значень комплексного паливно-екологічного критерію K_{fe} від значень частоти обертання колінчастого валу n_{kv} за постійних значень крутного моменту M_{kp} для всього поля робочих режимів дизеля автотракторного 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)

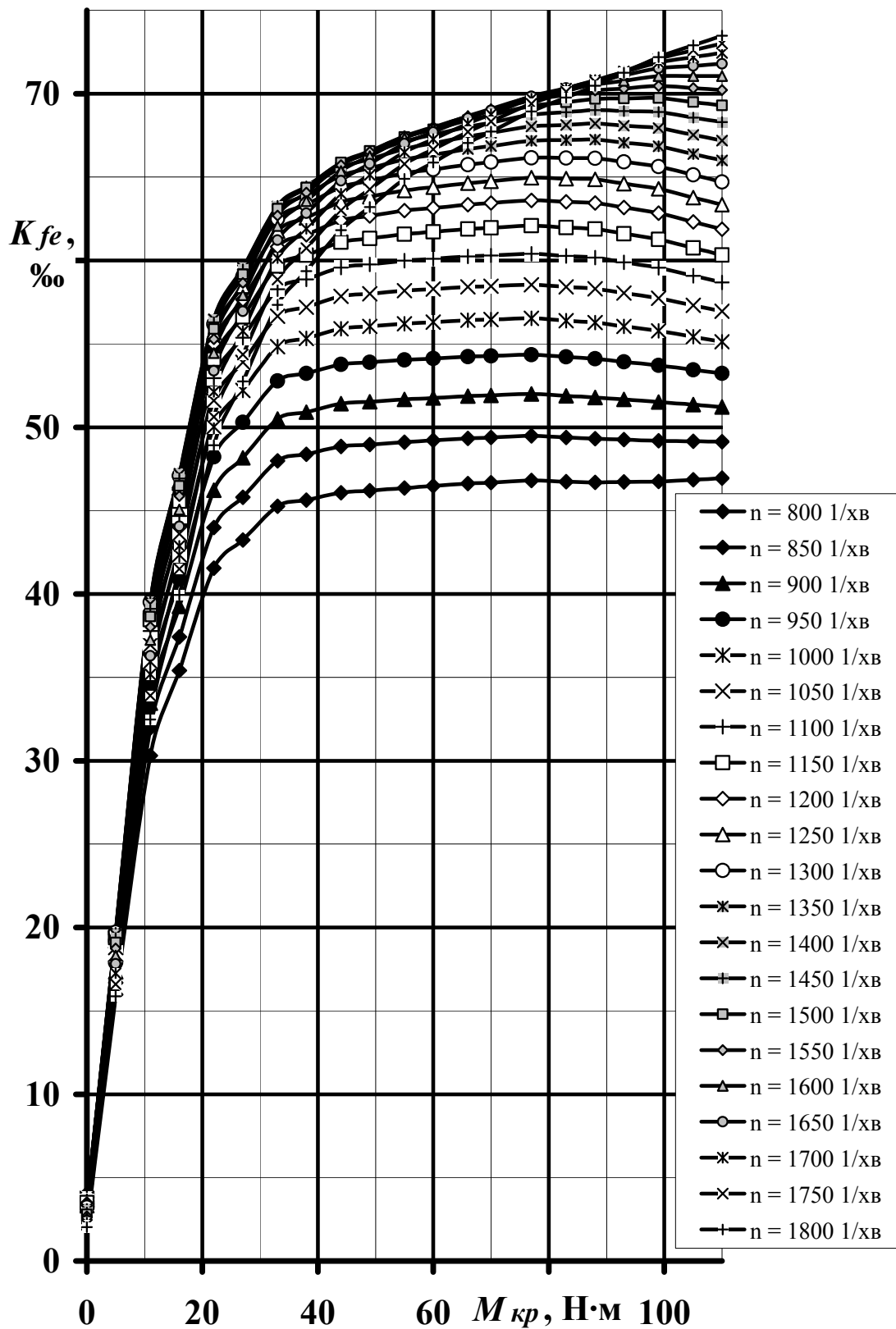
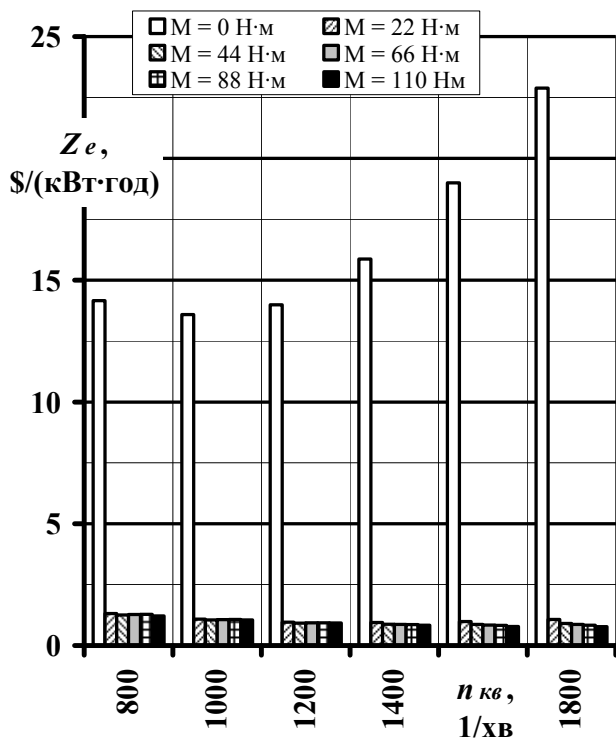
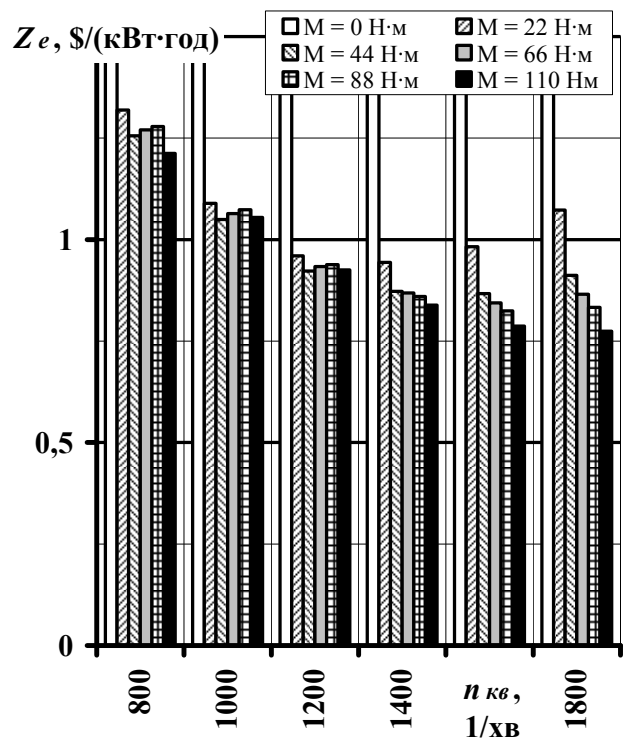


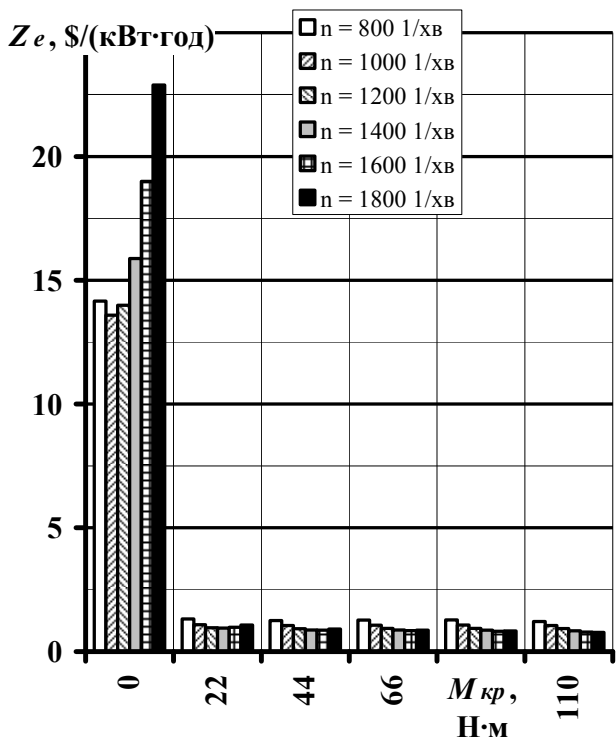
Рис. 4.5.8 – Ізолінії залежностей значень комплексного паливно-екологічного критерію K_{fe} від значень крутного моменту M_{kp} за постійних значень частоти обертання колінчастого валу n_{kv} для всього поля робочих режимів дизеля автотракторного 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)



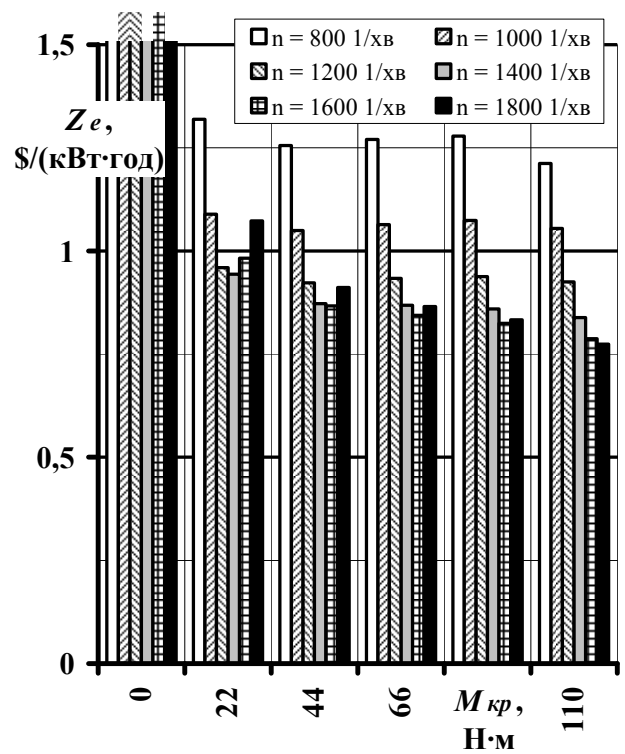
а



б

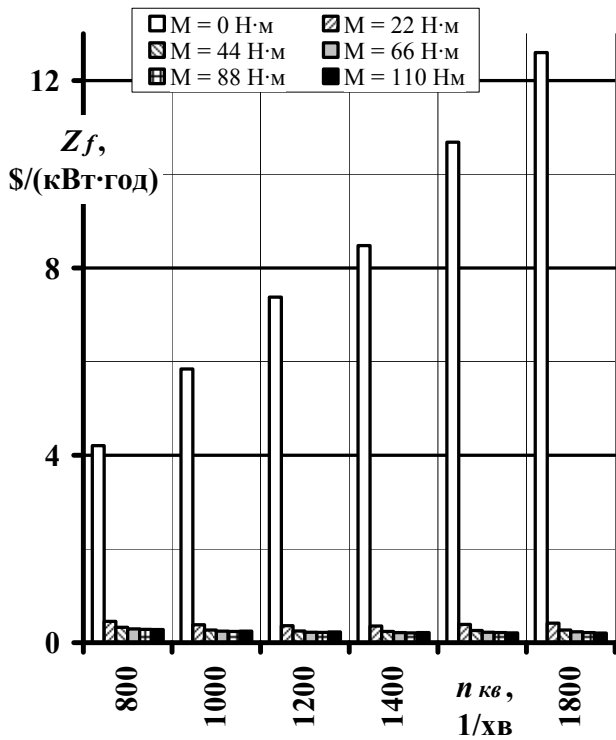


в

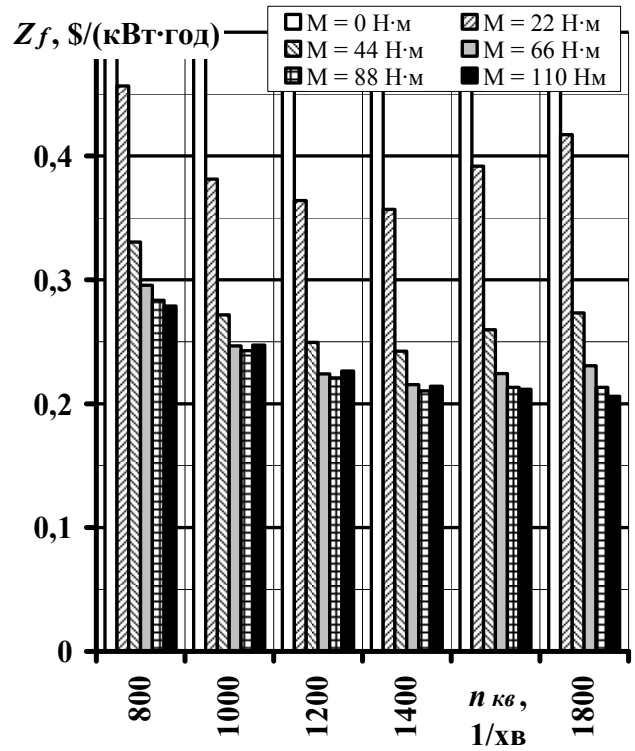


г

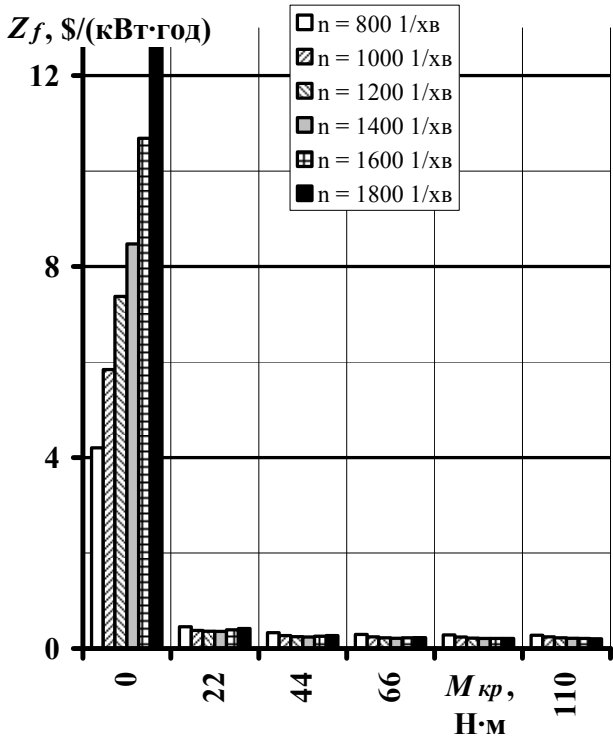
Рис. 4.5.9 – Гістограми значень грошові витрати на відшкодування екологічної шкоди Z_e автотракторного дизеля 2410,5/12 (мовою оригіналу)



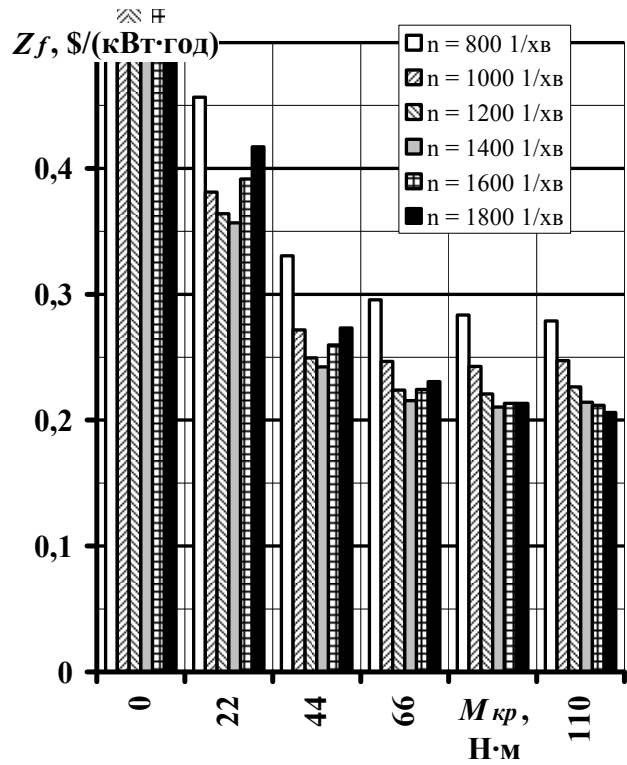
а



б



в



г

Рис. 4.5.10 – Гістограми значень грошові витрати на паливо Z_f автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)

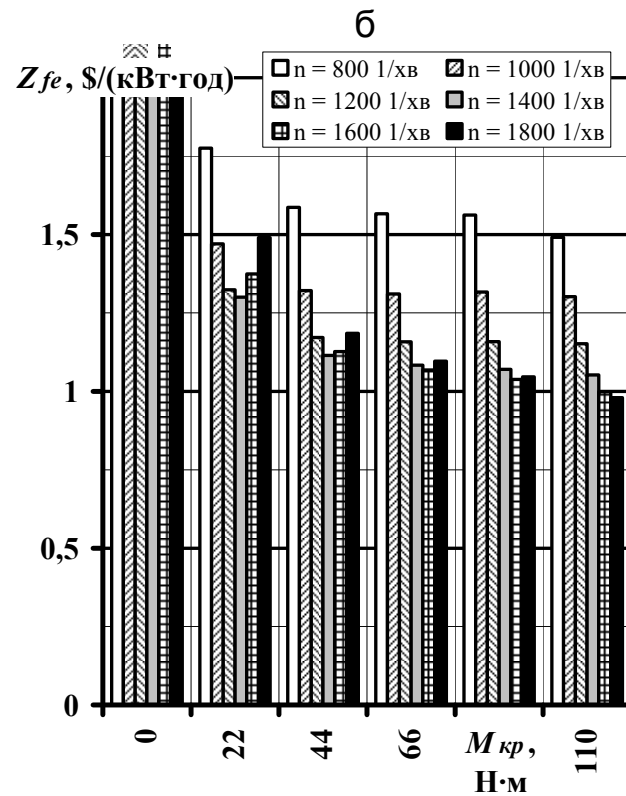
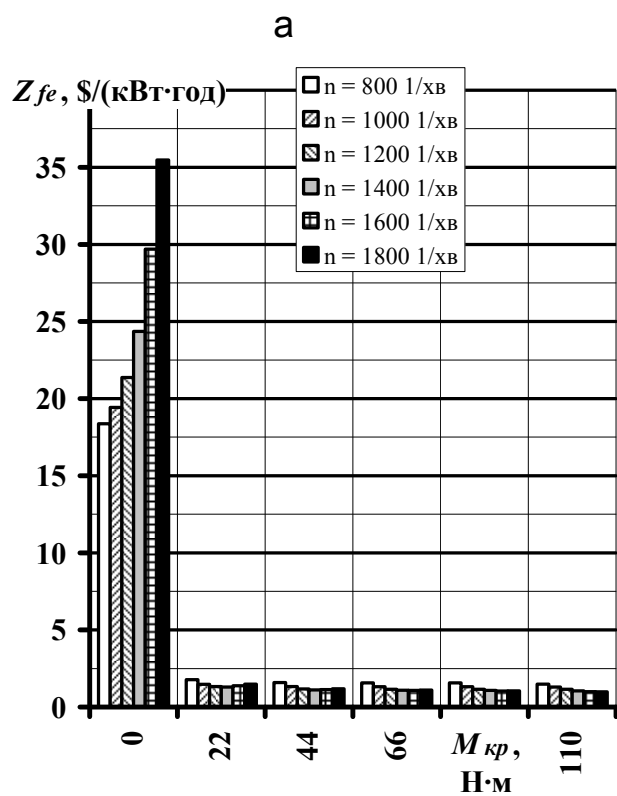
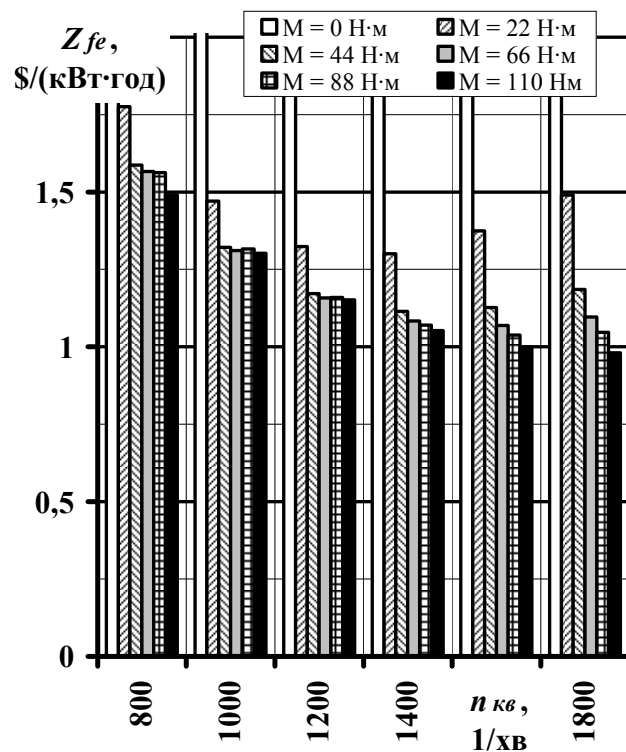
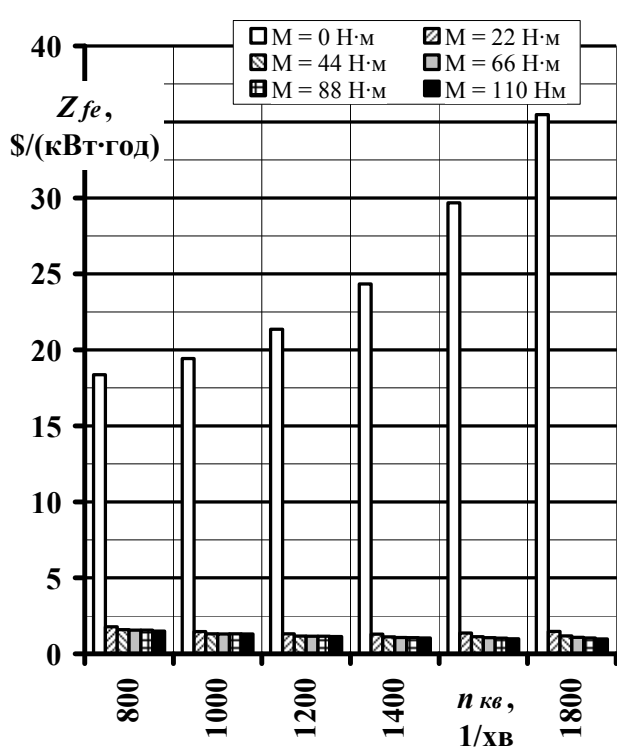


Рис. 4.5.11 – Гістограми значень сумарних грошових витрат на паливо та на відшкодування екологічної шкоди Z_{fe} автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 (мовою оригіналу)

4.5.5. Отримання середньоексплуатаційних та по режимних значень комплексного паливно-екологічного критерію для різних моделей експлуатації автотракторного дизельного ПДВЗ

У табл. 4.5.1 зведено результати розрахункового дослідження середньоексплуатаційних значень комплексного паливно-екологічного критерію $K_{fе}$, питомих годинних грошових витрат на паливо Z_f і компенсацію екологічної шкоди Z_e , сумарних паливно-екологічних витрат $Z_{fе}$, ефективної потужності N_e для найбільш уживаних моделей експлуатації ЕУ з ПДВЗ з числа відомих.

Таблиця 4.5.1 – Зведена таблиця результатів комплексного критеріального розрахункового оцінювання

Порівнюваний об'єкт	$K_{fеme}$	$\Delta K_{fеme}$	Ранг	Z_{fme}	Z_{eme}	$Z_{fеme}$	N_{eme}
Од. вим.	‰	%	–	\$/((кВт·год)			кВт
Модель експлуатації ПДВЗ							
13-режимний випробувальний цикл	44,0	100	6	0,253	0,926	1,18	7,483
8-режимний випробувальний цикл	53,8	122,3	3	0,242	0,889	1,13	9,608
Рух вантажівки по місту	65,8	140,5	1	0,231	0,834	1,07	8,048
Рух вантажівки по шосе	54,9	116,6	4	0,210	0,715	0,93	13,330
Рух вантажівки по місту і шосе	58,1	125,7	2	0,225	0,796	1,02	10,244
Колісний трактор	47,5	106,0	5	0,248	0,905	1,15	7,632
Режим роботи ПДВЗ							
Режим min х.х.	4,0	6,3	3	4,210	14,160	18,36	0,050
Режим max х.х.	2,1	3,3	4	12,590	22,880	35,48	0,100
Режим з $M_{крmax}$	63,8	100	2	0,230	0,930	1,15	13,820
Режим з $N_{еном}$	74,9	117,4	1	0,210	0,770	0,98	20,730

Параметри означених моделей експлуатації отримано з монографії [5]. Результати розрахункового дослідження середньоексплуатаційних та порежимних значень комплексного паливно-екологічного критерію $K_{fе}$ для цих моделей експлуатації наведені у табл. 4.5.2 – 4.5.7.

У табл. 4.5.2 містяться результати розрахунку для 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу (містить 13 режимів).

У табл. 4.5.3 містяться результати розрахунку для 8-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу (містить 8 режимів).

У табл. 4.5.4 містяться результати розрахунку для моделі експлуатації «Колісний трактор» (містить 19 режимів).

У табл. 4.5.5 містяться результати розрахунку для моделі експлуатації «Рух завантаженої вантажівки по замиському шосе» (містить 28 режимів).

У табл. 4.5.6 містяться результати розрахунку для моделі експлуа-

тації «Рух завантаженої вантажівки у місті» (містить 19 режимів).

У табл. 4.5.7 містяться результати розрахунку для моделі експлуатації «Рух завантаженої вантажівки по замиському шосе та місту» (містить 19 режимів).

З даних у табл. 4.5.1 видно, що найбільшою паливно-екологічною ефективністю процесу безаварійної експлуатації дизель 2Ч10,5/12 характеризується при роботі за моделлю експлуатації «Рух вантажівки по місту», найгіршою – «13-режимний випробувальний цикл».

За цією ознакою досліджені моделі експлуатації ранжовано (див. табл. 4.5.1), для порівняння обрано дані по використанню моделі експлуатації «13-режимний випробувальний цикл», що використовувалась у попередніх дослідженнях.

З даних у табл. 4.5.1 також видно, що з числа проаналізованих окремих особливих режимів роботи ПДВЗ найбільшою паливно-екологічною ефективністю характеризується режим номінальної потужності, а найменшою – режим максимального холостого ходу.

За цією ознакою досліджені режими роботи ранжовано (див. табл. 4.5.1), для порівняння обрано дані по режиму максимального крутного моменту, що використовувалась у попередніх дослідженнях.

Таблиця 4.5.2 – Параметри 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу та їх значення для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12

<i>i</i>	<i>n_{кв}</i>		<i>M_{кр}</i>			<i>WF_l</i>	<i>K_{fe}</i>
	1/хв		Н·м				
–	познач.	знач	%	познач.	знач.	–	%
1	min х.х.	800	0	max <i>M_{кр}</i>	0,0	0,083	2,0
2	max <i>M_{кр}</i>	1200	2	max <i>M_{кр}</i>	2,2	0,080	12,7
3	max <i>M_{кр}</i>	1200	25	max <i>M_{кр}</i>	27,5	0,080	59,1
4	max <i>M_{кр}</i>	1200	50	max <i>M_{кр}</i>	55,0	0,080	62,6
5	max <i>M_{кр}</i>	1200	75	max <i>M_{кр}</i>	82,5	0,080	63,6
6	max <i>M_{кр}</i>	1200	100	max <i>M_{кр}</i>	110,0	0,250	65,1
7	min х.х.	800	0	max <i>M_{кр}</i>	0,0	0,083	2,0
8	ном. <i>N_e</i>	1800	100	ном. <i>M_{кр}</i>	95,0	0,100	75,5
9	ном. <i>N_e</i>	1800	75	ном. <i>M_{кр}</i>	71,3	0,020	67,5
10	ном. <i>N_e</i>	1800	50	ном. <i>M_{кр}</i>	47,5	0,020	62,1
11	ном. <i>N_e</i>	1800	25	ном. <i>M_{кр}</i>	23,8	0,020	52,4
12	ном. <i>N_e</i>	1800	2	ном. <i>M_{кр}</i>	1,9	0,020	8,8
13	min х.х.	800	0	max <i>M_{кр}</i>	0,0	0,083	2,0
Σ	Середньоексплуатаційне значення						44,0

Таблиця 4.5.3 – Параметри 8-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу та їх значення для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12

<i>i</i>	$n_{кв}$			$M_{кр}$			WF_I	K_{fe}
	1/хв			Н·м				
–	познач.	знач	%	познач.	знач.	–	%	
1	ном. N_e	1800	100	ном. $M_{кр}$	95,0	0,150	75,5	
2	ном. N_e	1800	75	ном. $M_{кр}$	71,3	0,150	67,7	
3	ном. N_e	1800	60	ном. $M_{кр}$	57,0	0,150	63,7	
4	ном. N_e	1800	10	ном. $M_{кр}$	9,5	0,100	33,0	
5	max $M_{кр}$	1200	100	max $M_{кр}$	110,0	0,100	65,1	
6	max $M_{кр}$	1200	75	max $M_{кр}$	82,5	0,100	63,6	
7	max $M_{кр}$	1200	50	max $M_{кр}$	55,0	0,100	62,6	
8	min х.х.	800	100	max $M_{кр}$	0,0	0,150	2,0	
Σ	Середньоексплуатаційне значення						53,8	

Таблиця 4.5.4 – Параметри моделі експлуатації «Колісний трактор» та їх значення для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12

<i>i</i>	$n_{кв}$			$M_{кр}$			WF_I	K_{fe}
	1/хв			Н·м				
–	%	познач.	знач	%	познач.	знач.	–	%
0	0,4	ном. N_e	1150	0,0	ном. $M_{кр}$	0,0	0,154	3,5
1	0,8	ном. N_e	1625	0,1	ном. $M_{кр}$	9,5	0,020	36,3
2	1,0	ном. N_e	1775	0,1	ном. $M_{кр}$	9,5	0,034	33,9
3	1,1	ном. N_e	1875	0,1	ном. $M_{кр}$	9,5	0,096	32,5
4	0,8	ном. N_e	1625	0,3	ном. $M_{кр}$	28,5	0,027	57,0
5	1,0	ном. N_e	1775	0,3	ном. $M_{кр}$	28,5	0,046	54,4
6	1,1	ном. N_e	1850	0,3	ном. $M_{кр}$	28,5	0,060	52,7
7	0,8	ном. N_e	1625	0,5	ном. $M_{кр}$	47,5	0,032	65,8
8	1,0	ном. N_e	1750	0,5	ном. $M_{кр}$	47,5	0,035	64,3
9	1,0	ном. N_e	1825	0,5	ном. $M_{кр}$	47,5	0,085	63,2
10	0,8	ном. N_e	1625	0,7	ном. $M_{кр}$	66,5	0,026	68,7
11	1,0	ном. N_e	1750	0,7	ном. $M_{кр}$	66,5	0,034	67,7
12	1,0	ном. N_e	1825	0,7	ном. $M_{кр}$	66,5	0,090	67,0
13	0,8	ном. N_e	1625	0,9	ном. $M_{кр}$	85,5	0,024	70,5
14	1,0	ном. N_e	1750	0,9	ном. $M_{кр}$	85,5	0,036	70,7
15	1,0	ном. N_e	1800	0,9	ном. $M_{кр}$	85,5	0,099	70,5
16	0,8	ном. N_e	1625	1,1	ном. $M_{кр}$	104,5	0,012	71,1
17	1,0	ном. N_e	1750	1,1	ном. $M_{кр}$	104,5	0,033	72,6
18	0,8	ном. N_e	1625	1,2	ном. $M_{кр}$	109,3	0,006	72,9
Σ	Середньоексплуатаційне значення						47,5	

Таблиця 4.5.5 – Параметри моделі експлуатації «Рух завантаженої вантажівки по замиському шосе» та їх значення для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12

<i>i</i>	<i>n_{кв}</i>			<i>M_{кД}</i>			<i>WF_i</i>	<i>K_{fe}</i>
	1/хв			Н·м				
	%	познач.	знач	%	познач.	знач.		
0	0,2750	ном. <i>N_e</i>	1075	0,0000	ном. <i>M_{кД}</i>	0,0	0,1922	3,6
1	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,1500	ном. <i>M_{кД}</i>	14,3	0,0923	46,3
2	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,4500	ном. <i>M_{кД}</i>	42,8	0,0607	62,4
3	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,7165	ном. <i>M_{кД}</i>	68,1	0,0254	63,4
4	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,9165	ном. <i>M_{кД}</i>	87,1	0,0168	63,5
5	0,4300	ном. <i>N_e</i>	1230	1,0500	ном. <i>M_{кД}</i>	99,8	0,0930	64,3
6	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,1500	ном. <i>M_{кД}</i>	14,3	0,0645	47,2
7	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,4500	ном. <i>M_{кД}</i>	42,8	0,0990	65,1
8	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,7165	ном. <i>M_{кД}</i>	68,1	0,0385	66,9
9	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,9165	ном. <i>M_{кД}</i>	87,1	0,0388	67,2
10	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	1,1000	ном. <i>M_{кД}</i>	104,5	0,1165	66,4
11	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,1500	ном. <i>M_{кД}</i>	14,3	0,0229	46,5
12	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,4500	ном. <i>M_{кД}</i>	42,8	0,0214	65,9
13	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,7165	ном. <i>M_{кД}</i>	68,1	0,0112	68,7
14	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,9165	ном. <i>M_{кД}</i>	87,1	0,0288	69,7
15	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	1,1000	ном. <i>M_{кД}</i>	104,5	0,0365	69,5
16	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,1850	ном. <i>M_{кД}</i>	17,6	0,0041	45,1
17	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,4500	ном. <i>M_{кД}</i>	42,8	0,0080	65,4
18	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,7165	ном. <i>M_{кД}</i>	68,1	0,0029	69,1
19	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,9165	ном. <i>M_{кД}</i>	87,1	0,0640	70,5
20	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	1,1000	ном. <i>M_{кД}</i>	104,5	0,0101	71,1
21	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,1850	ном. <i>M_{кД}</i>	17,6	0,0140	41,5
22	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,4500	ном. <i>M_{кД}</i>	42,8	0,0055	63,0
23	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,7165	ном. <i>M_{кД}</i>	68,1	0,0011	68,3
24	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,9165	ном. <i>M_{кД}</i>	87,1	0,0020	70,7
25	0,9150	ном. <i>N_e</i>	1715	1,0300	ном. <i>M_{кД}</i>	97,9	0,0000	71,9
26	1,0150	ном. <i>N_e</i>	1815	0,4500	ном. <i>M_{кД}</i>	42,8	0,0000	61,8
27	1,0075	ном. <i>N_e</i>	1808	0,7165	ном. <i>M_{кД}</i>	68,1	0,0000	67,7
Σ	Середньоексплуатаційне значення							54,9

Таблиця 4.5.6 – Параметри моделі експлуатації «Рух завантаженої вантажівки у місті» та їх значення для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12

<i>i</i>	<i>n_{кв}</i>			<i>M_{кп}</i>			<i>WF_l</i>	<i>K_{fe}</i>
	1/хв			Н·м				
–	%	познач.	знач	%	познач.	знач.	–	‰
0	0,2750	ном. <i>N_e</i>	1075	0,0000	ном. <i>M_{кп}</i>	0,0	0,0360	3,6
1	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,1500	ном. <i>M_{кп}</i>	14,3	0,0096	46,3
2	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,4500	ном. <i>M_{кп}</i>	42,8	0,0048	62,4
3	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,7165	ном. <i>M_{кп}</i>	68,1	0,0021	63,4
4	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,9165	ном. <i>M_{кп}</i>	87,1	0,0010	63,5
5	0,4300	ном. <i>N_e</i>	1230	1,0500	ном. <i>M_{кп}</i>	99,8	0,0256	64,3
6	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,1500	ном. <i>M_{кп}</i>	14,3	0,0087	47,2
7	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,4500	ном. <i>M_{кп}</i>	42,8	0,0177	65,1
8	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,7165	ном. <i>M_{кп}</i>	68,1	0,0089	66,9
9	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,9165	ном. <i>M_{кп}</i>	87,1	0,0068	67,2
10	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	1,1000	ном. <i>M_{кп}</i>	104,5	0,0718	66,4
11	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,1500	ном. <i>M_{кп}</i>	14,3	0,0112	46,5
12	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,4500	ном. <i>M_{кп}</i>	42,8	0,0456	65,9
13	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,7165	ном. <i>M_{кп}</i>	68,1	0,0155	68,7
14	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,9165	ном. <i>M_{кп}</i>	87,1	0,0205	69,7
15	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	1,1000	ном. <i>M_{кп}</i>	104,5	0,2035	69,5
16	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,1850	ном. <i>M_{кп}</i>	17,6	0,0113	45,1
17	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,4500	ном. <i>M_{кп}</i>	42,8	0,0500	65,4
18	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,7165	ном. <i>M_{кп}</i>	68,1	0,0316	69,1
19	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,9165	ном. <i>M_{кп}</i>	87,1	0,0394	70,5
20	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	1,1000	ном. <i>M_{кп}</i>	104,5	0,2087	71,1
21	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,1850	ном. <i>M_{кп}</i>	17,6	0,0059	41,5
22	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,4500	ном. <i>M_{кп}</i>	42,8	0,0335	63,0
23	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,7165	ном. <i>M_{кп}</i>	68,1	0,0220	68,3
24	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,9165	ном. <i>M_{кп}</i>	87,1	0,0273	70,7
25	0,9150	ном. <i>N_e</i>	1715	1,0300	ном. <i>M_{кп}</i>	97,9	0,0824	71,9
26	1,0150	ном. <i>N_e</i>	1815	0,4500	ном. <i>M_{кп}</i>	42,8	0,0015	61,8
27	1,0075	ном. <i>N_e</i>	1808	0,7165	ном. <i>M_{кп}</i>	68,1	0,0025	67,7
Σ	Середньоексплуатаційне значення							65,8

Таблиця 4.5.7 – Параметри моделі експлуатації «Рух завантаженої вантажівки по замиському шосе та місту» та їх значення для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12

<i>i</i>	<i>n_{кв}</i>			<i>M_{кд}</i>			<i>WF_i</i>	<i>K_{fe}</i>
	1/хв			Н·м				
	%	познач.	знач	%	познач.	знач.		
0	0,2750	ном. <i>N_e</i>	1075	0,0000	ном. <i>M_{кд}</i>	0,0	0,1114	3,6
1	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,1500	ном. <i>M_{кд}</i>	14,3	0,0510	46,3
2	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,4500	ном. <i>M_{кд}</i>	42,8	0,0328	62,4
3	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,7165	ном. <i>M_{кд}</i>	68,1	0,0138	63,4
4	0,4150	ном. <i>N_e</i>	1215	0,9165	ном. <i>M_{кд}</i>	87,1	0,0089	63,5
5	0,4300	ном. <i>N_e</i>	1230	1,0500	ном. <i>M_{кд}</i>	99,8	0,0593	64,3
6	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,1500	ном. <i>M_{кд}</i>	14,3	0,0366	47,2
7	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,4500	ном. <i>M_{кд}</i>	42,8	0,0584	65,1
8	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,7165	ном. <i>M_{кд}</i>	68,1	0,0237	66,9
9	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	0,9165	ном. <i>M_{кд}</i>	87,1	0,0228	67,2
10	0,5500	ном. <i>N_e</i>	1350	1,1000	ном. <i>M_{кд}</i>	104,5	0,0942	66,4
11	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,1500	ном. <i>M_{кд}</i>	14,3	0,0171	46,5
12	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,4500	ном. <i>M_{кд}</i>	42,8	0,0335	65,9
13	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,7165	ном. <i>M_{кд}</i>	68,1	0,0134	68,7
14	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	0,9165	ном. <i>M_{кд}</i>	87,1	0,0247	69,7
15	0,6850	ном. <i>N_e</i>	1485	1,1000	ном. <i>M_{кд}</i>	104,5	0,1200	69,5
16	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,1850	ном. <i>M_{кд}</i>	17,6	0,0077	45,1
17	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,4500	ном. <i>M_{кд}</i>	42,8	0,0290	65,4
18	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,7165	ном. <i>M_{кд}</i>	68,1	0,0173	69,1
19	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	0,9165	ном. <i>M_{кд}</i>	87,1	0,0229	70,5
20	0,8125	ном. <i>N_e</i>	1613	1,1000	ном. <i>M_{кд}</i>	104,5	0,1094	71,1
21	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,1850	ном. <i>M_{кд}</i>	17,6	0,0037	41,5
22	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,4500	ном. <i>M_{кд}</i>	42,8	0,0195	63,0
23	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,7165	ном. <i>M_{кд}</i>	68,1	0,0116	68,3
24	0,9375	ном. <i>N_e</i>	1738	0,9165	ном. <i>M_{кд}</i>	87,1	0,0147	70,7
25	0,9150	ном. <i>N_e</i>	1715	1,0300	ном. <i>M_{кд}</i>	97,9	0,0412	71,9
26	1,0150	ном. <i>N_e</i>	1815	0,4500	ном. <i>M_{кд}</i>	42,8	0,0008	61,8
27	1,0075	ном. <i>N_e</i>	1808	0,7165	ном. <i>M_{кд}</i>	68,1	0,0013	67,7
Σ	Середньоексплуатаційне значення							58,1

4.5.6. Модифікований математичний апарат комплексного паливно-екологічного критерію для отримання середньоексплуатаційних значень

Аналіз результатів здійсненого розрахункового дослідження дозволив виявити принциповий недолік пропонованого підходу до комплексної модернізації математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова та методики його застосування.

За результатами особливостей математичного апарату (див. розділи 1.1, 1.2 монографії) спочатку передбачалося (див. розділ 1.1 монографії) перетворення формул математичного апарату з метою отримання порежимних значень критерію $K_{ПЕ}$ та його складових (див. розділ 4.1 монографії) у раціональних одиницях вираження вартісних еквівалентів (див. розділи 4.2 монографії); потім отримання повного набору вихідних даних (див. розділ 4.3 монографії) за результатами стендових моторних досліджень (див. розділи 1.3, 2.1 монографії) та застосування математичних моделей (див. розділи 2.2 – 2.5 та 2.6, 3.1, 3.2 монографії) та з врахуванням точності застосованої формули перерахунку (див. розділи 3.3 монографії); за тим здійснення оцінювання для випадку роботи автотракторного дизельного ПДВЗ за стандартизованою моделлю експлуатації (див. розділи 4.4 монографії); далі апроксимацію цих значень на всьому полі робочих режимів ПДВЗ (див. розділ 4.5 монографії); і нарешті отримання середньоексплуатаційних значень критерію $K_{ПЕ}$ і його складових для будь-якої обраної моделі експлуатації з урахуванням номенклатури і параметрів її режимів за наступними формулами.

$$Z_{fme} = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{fi} \cdot WF_i)}{n \cdot \sum_{i=1}^n WF_i} = \left| \sum_{i=1}^n WF_i = 1 \right| = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{fi} \cdot WF_i)}{n}, \text{ \$/(\text{кВт}\cdot\text{год})} \quad (4.5.1)$$

$$Z_{eme} = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{ei} \cdot WF_i)}{n}, \text{ \$/(\text{кВт}\cdot\text{год})} \quad (4.5.2)$$

$$Z_{feme} = Z_{fme} + Z_{eme} = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{fi} \cdot WF_i) + \sum_{i=1}^n (Z_{ei} \cdot WF_i)}{n}, \text{ \$/(\text{кВт}\cdot\text{год})} \quad (4.5.3)$$

$$\beta_{me} = \frac{Z_{eme}}{Z_{feme}}, \quad (4.5.4)$$

$$g_{eme} = \frac{\sum_{i=1}^n (g_{ei} \cdot WF_i)}{n}, \text{ кг/(\text{кВт}\cdot\text{год})} \quad (4.5.5)$$

$$\eta_{eme} = \frac{3,6}{Q_H \cdot g_{eme}}, \quad (4.5.6)$$

$$K_{feme} = \eta_{eme} \cdot (1 - \beta_{me}) = \frac{\sum_{i=1}^n (K_{fei} \cdot WF_i)}{n}, \% \quad (4.5.7)$$

Здійснено порівняльне розрахункове отримання середньоексплуатаційних значень критерію $K_{ПЕ}$ та його складових із застосуванням незміненого математичного апарату (див. розділ 1.2 монографії) і за запропонованим підходом, описаним формулами 4.5.1 – 4.5.7, для двох моделей експлуатації 13-ти та 8-ми режимних стаціонарних стандартизованих випробувальних циклів.

Результати дослідження зведено до табл. 4.5.8.

Таблиця 4.5.8 – Результати порівняльного розрахункового дослідження

Досліджуваний параметр	Z_{fme}	Z_{eme}	Z_{feme}	g_{eme}	η_{eme}	β_{me}	$K_{ПЕ}$
Од. вим.	\$/ (кВт·год)			кг/ (кВт·год)	–	–	%
Модель експлуатації	Оригінальний математичний апарат						
13-режимний цикл	0,253	0,926	1,179	0,291	0,290	0,785	62,3
8-режимний цикл	0,242	0,889	1,131	0,278	0,304	0,786	64,9
Модель експлуатації	Модифікований математичний апарат						
13-режимний цикл	0,214	0,581	0,795	0,246	0,343	0,731	44,0
8-режимний цикл	0,206	0,597	0,803	0,237	0,356	0,743	53,0

Тобто, дослідження показало, що ці підходи не є еквівалентними, оскільки дають різні між собою чисельні результати, причому ще й різні для різних моделей експлуатації.

Пропонований підхід до модернізації математичного апарату критерію $K_{ПЕ}$ відкриває можливість використовувати результати апроксимації значень самого критерію та параметри конкретної моделі експлуатації (координати режимів у полі робочих режимів, значення вагового фактора), а не результати апроксимації усіх складових набору вихідних даних.

Крім того, слід звернути увагу на те, що запропонований підхід дає занижені значення критерію $K_{ПЕ}$, тобто переоцінки дійсного рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ не відбувається у порівнянні зі значеннями, отриманими з застосуванням оригінального математичного апарату.

Такий ефект є позитивним, оскільки виробник ЕУ з ПДВЗ застосувавши отримані результати критеріального оцінювання у якості аргументу в конкурентній боротьбі в офіційно об'явлених тендерах, неризикуює ввести в оману кінцевого споживача та піддатися у зв'язку з цим накладанню штрафних санкцій.

Тому в подальших дослідженнях автори будуть використовувати запропонований підхід.

4.5.7. Висновки по розділу

Отже, в даному дослідженні описуються методологія, модифікований математичний апарат та результати застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова та його компонентів для різних моделей експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Проаналізовано особливості широкоживаних моделей експлуатації ЕУ з ПДВЗ з числа відомих. Обрано такі, що відповідають дизельним ПДВЗ автотракторного призначення.

Отримано набір вихідних даних для розрахункового оцінювання значень критерію $K_{ПЕ}$ та його складових для різних моделей експлуатації ЕУ з ПДВЗ апроксимацією даних стендових моторних досліджень на всьому полі робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12. Проаналізовано сімейства відповідних ізоліній ліній отриманих залежностей від координат поля робочих режимів ПДВЗ.

Отримано значення критерію $K_{ПЕ}$ та його складових для всього поля робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 шляхом розрахунку за отриманим набором вихідних даних та апроксимації методом найменших квадратів. Проаналізовано сімейства відповідних ліній рівного рівня отриманих розподілів від координат поля робочих режимів ПДВЗ.

Отримано середньоексплуатаційні та порежимні значення критерію $K_{ПЕ}$ та його складових для обраних моделей експлуатації автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 шляхом розрахунку за модифікованим раніше математичним апаратом.

За результатами порівняльного аналізу отриманих результатів розрахункового критеріального оцінювання показника рівне ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ за різними моделями експлуатації та згідно до висунутої концепції модернізації математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію запропоновано модифікацію математичного апарату критерію $K_{ПЕ}$ з метою забезпечення можливості оцінювання його середньоексплуатаційних значень для довільної моделі експлуатації з використанням результатів апроксимації значень критерію та його складових на всьому полі робочих режимів ПДВЗ.

ВИСНОВКИ

Таким чином, на основі аналізу результатів досліджень, що здійснені для досягнення мети дослідження у відповідності із задачами дослідження та представлені у розділах монографії, можна зробити наступні **ВИСНОВКИ**.

1. Створено загальну концепцію комплексного критеріального розрахункового оцінювання показників рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ та відповідний алгоритм її застосування, на основі якого може бути реалізовано останній рівень відповідної СУЕБ, замикаючи її зворотним зв'язком шляхом застосування моніторингу показників ЕБ НПС і урбосистем та контролю ефективності роботи самої СУЕБ.

Сформульовано загальні вимоги до математичного апарату для такого оцінювання.

Визначено ієрархічне місце критерію в структурі життєвого циклу і складі ЕУ, структурі відповідної СУЕБ, обґрунтовано вибір повного складу враховуваних ним факторів ЕБ.

2. Обрано критеріальний математичний апарат, найбільш придатний для комплексного розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації одиниць ЕУ з ПДВЗ на основі аналізу найбільш придатних для з числа існуючих і широко використовуваних – комплексний паливно-екологічний критерій проф. І.В. Парсаданова.

Результати аналізу систематизовано у вигляді відповідної класифікації на типи, обґрунтовано пріоритетність використання типів критеріальних математичних апаратів.

Визначено обмеження на застосування поняття «безаварійна експлуатація ЕУ з ПДВЗ».

Проаналізовано вплив витрати палива двигуном на фактори ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Розроблено концепцію вдосконалення математичного апарату і методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію.

3. Отримано первинного набору вихідних даних для досягнення мети дослідження шляхом експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді з автотракторним дизельним ПДВЗ, що працює за режимами стандартизованого стаціонарного випробувального циклу, обладнаним ФТЧ нової нетрадиційної конструкції, та модернізованою випускною системою та системою відбору проб ВГ на токсичність і димність, за модернізованою методикою.

Проаналізовано фактори виробничої, екологічної, пожежної та вибухової небезпеки при стендових моторних експериментальних дослідженнях.

4. Створено математичну модель гідравлічного опору ФТЧ, що враховує основні режимні й конструктивні особливості ПДВЗ і ФТЧ, на основі аналізу даних стендових моторних досліджень.

Отримано розрахунком із застосуванням такої моделі основу для визначення «паливної» частини набору вихідних даних для здійснення комплексного розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, а саме розподіл значень гідравлічного опору ФТЧ для всього поля робочих режимів ПДВЗ.

5. Створено математичну модель ефективності роботи ФТЧ, що враховує основні режимні й конструктивні особливості ПДВЗ і ФТЧ, на основі аналізу даних стендових моторних досліджень.

Отримано розрахунком із застосуванням такої моделі «екологічної» частини набору вихідних даних для здійснення комплексного розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, випускної систему якого обладнано ФТЧ, а саме розподіл значень ефективності очищення потоку ВГ від ТЧ за допомогою ФТЧ, а також значень годинного масового викиду ТЧ з потоком ВГ ПДВЗ, що обладнаний і не обладнаний ФТЧ, для всього поля робочих режимів ПДВЗ.

6. Створено математичну модель впливу гідравлічного опору елементів випускної системи ПДВЗ на його паливну економічність на основі основних положень наукової дисципліни «Теорія ДВЗ».

Отримано розрахунком із застосуванням такої моделі остаточного виду «паливної» частини набору вихідних даних для здійснення комплексного розрахункового критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, а саме розподіл значень збільшення масових годинних витрат палива ПДВЗ, спричинене гідравлічним опором елементів системи нейтралізації законодавчо нормованих поллютантів у потоці ВГ, зокрема ФТЧ, для всього поля робочих режимів ПДВЗ.

7. Створено методику розрахункового оцінювання параметрів бета-щільності для описання розподілу значень масових годинних викидів ТЧ з потоком ВГ, отриманих шляхом використання відомої формули перерахунку в функції показів димоміра й газоаналізатора з урахуванням їх інструментальної похибки (що розподіляється за нормальним законом) та зменшення завдяки цьому методичної похибки отримання «екологічної» частини набору вихідних даних для здійснення комплексного критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

Визначено кількість повторних вимірювань показників токсичності й димності ВГ на стаціонарному режимі роботи ПДВЗ при стендових моторних дослідженнях за умови автоматизації процесу вимірювання за якої різниця між нормальним і бета-розподілом шуканої величини стає зневажаєливо малою.

8. Вдосконалено математичний апарат й методику застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова згідно до запропонованої концепції.

Викладено і проаналізовано результати порівняльних розрахункових досліджень застосування розроблених способів переходу від середньоексплуатаційних значень такого критерію до порежимних. На основі аналізу результатів цього дослідження здійснення ранжування запропонованих способів за ознакою значення їх методологічної похибки.

Викладено і проаналізовано результати порівняльних розрахункових досліджень щодо обґрунтування вибору одиниць вартісних еквівалентів складових вказаного критерію. Показано, що доцільним є використання одиниць вільноконвертованої світової резервної валюти, історія існування якої повністю охоплює історію існування ПДВЗ як таких. Запропоновано використовувати математичний апарат індексу споживчих цін для врахування прояву явища інфляції.

Викладено і проаналізовано результати порівняльних розрахункових досліджень щодо вибору раціонального складу набору вихідних даних для розрахункового оцінювання. Показано, що при такому оцінюванні слід використовувати виключно повний набір вихідних даних щодо значень фізичних величин, що їх містить у своїй структурі математичний апарат цього критерію. За значенням відповідної складової методичної похибки ранжовано усі не позбавлені фізичного сенсу варіанти неповноти набору вихідних даних. Рекомендовано значення такої методичної похибки враховувати при використанні у стендових моторних дослідженнях комплексу засобів вимірювальної техніки, що не можуть надати повного набору вихідних даних, що також вносить невизначеність термінологічного характеру.

Викладено і проаналізовано результати досліджень щодо отримання значень комплексного паливно-екологічного критерію, його складових та набору вихідних даних для їх розрахунку для всього поля робочих режимів автотракторного дизельного ПДВЗ розрахунковим шляхом та апроксимацією методом найменших квадратів. Отримано середньоексплуатаційні та порежимні значення критерію та його складових для обраних моделей експлуатації, що відповідають дизельним ПДВЗ автотракторного призначення. Запропоновано модифікацію математичного апарату критерію для оцінювання його середньоексплуатаційних значень для довільної моделі експлуатації з використанням результатів апроксимації значень критерію і його складових на всьому полі робочих режимів ПДВЗ

9. Викладено і проаналізовано результати розрахункового оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ з використанням модифікованого і вдосконаленого математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова на прикладі автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, що працює за режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу.

Проаналізовано особливості широкоживаних моделей експлуатації ЕУ з ПДВЗ з числа відомих. Обрано такі, що відповідають дизельним ПДВЗ автотракторного призначення.

Використано повний набір вихідних даних, отриманих у ході стендових моторних досліджень та із застосуванням розроблених математичних моделей.

Намічено напрямки подальших розрахункових і експериментальних досліджень згідно до запропонованої концепції вдосконалення математичного апарату й методики застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова.

10. Вищенаведене можливо систематизувати за допомогою логічного апарату SWOT-аналізу, результати застосування якого наведено далі.

Переваги (S – Strengths). Розроблені наукові основи комплексного критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ дозволяють здійснити оцінювання ефективності функціонування відповідної СУЕБ та замкнути її зворотним зв'язком. Запропоновані й реалізовані у даному дослідженні напрямки вдосконалення математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію, обраного як основу для здійснення такого оцінювання, дозволяють отримувати повний набір вихідних даних для такого оцінювання, виражати вартісні еквіваленти складових такого критерію в раціональних одиницях, отримувати порежимні й середньоексплуатаційні значення критерію та його складових для будь-яких моделей експлуатації ПДВЗ на основі даних апроксимації вищевказаних даних на всьому полі робочих режимів ПДВЗ. Запропоновані й реалізовані у даному дослідженні підходи до вдосконалення складу і конструкції моторного випробувального стенду та методики здійснення експериментальних досліджень на ньому, а також аспектів визначення значень «паливних» і «екологічних» складових критерію дозволяють за розробленими методиками і математичними моделями дозволяють отримувати повний набір вихідних даних для такого оцінювання для будь-якої моделі експлуатації ПДВЗ.

Недоліки (W – Weaknesses). Реалізовано не усі етапи запропонованої концепції вдосконалення математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію, а саме: розширення номенклатури враховуваних факторів ЕБ такого процесу до вичерпного набору; вибір раціональної формули перерахунку для визначення значення годинного масового викиду ТЧ з потоком ВГ та раціональних одиниць вимірювання показників токсичності й димності ВГ; вибір раціонального типу внутрішньої шкали критерію, що враховує нормативно встановлені вимоги до значень його складових, її реперних точок та критеріїв вагомості окремих складових критерію; вибір раціонального значення рівнів варіювання координат поля робочих режимів ПДВЗ в ході отримання набору вихідних; розробка раціональної моделі експлуатації ПДВЗ для ЕУ особливого призначення.

Можливості (O – Opportunities). Здійснення оцінювання за вдосконаленим критеріальним математичним апаратом відкриває можливості виконати розрахункові дослідження за наступними напрямками. По-перше, можливим є порівняння результатів оцінювання поточного рівня ЕБ досліджуваного процесу для одиниць ЕУ з ПДВЗ, що перебувають в експлуатації, а також нових і перспективних одиниць й законодавчо встановлених вимог до таких показників та описання таким чином актуального рівня ЕБ функціонування таких об'єктів. По-друге, можливим є порівняння результатів оцінювання для різнотипних одиниць ЕУ, однотипних одиниць різних моделей та виробників та описання таким чином поточної ситуації на первинному й вторинному ринку таких об'єктів й здійснення моніторингу конкурентної боротьби виробників таких об'єктів. По-третє, можливим є порівняння результатів оцінювання для одиниць ЕУ одних і тих же моделей різних дат виготовлення та описання таким чином динаміки зміни показників рівня ЕБ впродовж процесу експлуатації як частини їх життєвого циклу з урахуванням особливостей відповідних моделей експлуатації. По-четверте, можливим є порівняння результатів оцінювання для одиниць ЕУ одних і тих же моделей до та після розробки і впровадження заходів щодо модернізації їх конструкції, в першу чергу направлених на підвищення рівня ЕБ процесу їх експлуатації, та описання таким чином ефективності функціонування відповідної СУЕБ.

Ризики (T – Threats). При практичній реалізації запропонованого підходу до розрахункового комплексного критеріального оцінювання рівня ЕБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ необхідним є отримання повного набору вихідних даних, які можливо отримати лише експериментальним шляхом чи математичним моделюванням, однак такі дані носять індивідуальний характер для кожної конкретної одиниці ЕУ з ПДВЗ. Процес отримання повного набору вихідних даних для такого оцінювання пов'язаний зі значними об'ємами науково-дослідних робіт і потребує, як мінімум, наявності піддослідного ПДВЗ та відповідного його типу і потужності моторного випробувального стенду зі складною системою засобів вимірювальної техніки. Остання обставина зумовлює високу собівартість готового наукового продукту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сучасні способи підвищення екологічної безпеки експлуатації енергетичних установок: монографія [Текст] / С.О. Вамболь, О.П. Строков, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко. – Х.: НУЦЗУ, Стиль-Издат (ФОП Бровін О.В.), 2015. – 212 с. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3529>
2. Вамболь С.А. Системы управления экологической безопасностью, которые используют многофазные дисперсные структуры: монография [Текст] / С.А. Вамболь. – Х.: НАКУ «ХАІ», 2013. – 204 с.
3. Vambol' V.V. The systematic approach to solving the problem of management of ecological safety during process of biowaste products utilization [Текст] / V.V. Vambol', V.M. Shmandij, S.O. Vambol', O.M. Kondratenko // Науковий журнал «Екологічна безпека». – Кременчук: КрНУ, 2015. – № 1 (19). – С 7 – 11. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2260>.
4. Утилизация летательных аппаратов [Текст]: монография / Н.В. Нечипорук, В.Н. Кобрин, В.В. Вамболь, Е.А. Полищук. – Х.: НАКУ «ХАІ», 2014. – 304 с.
5. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: монографія [Текст] / І.В. Парсаданов – Х.: Центр НТУ «ХПІ», 2003. – 244 с.
6. Канило П.М. Глобальное потепление климата. Антропогенно-экологическая реальность: монография [Текст] / П.М. Канило. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 312 с.
7. Екологічна безпека, природно-техногенна безпека і цивільний захист в Україні [Текст]: навч.посібн. / В.М. Кобрин, П.М. Куліков, М.В. Нечипорук й ін.; Мін-во освіти і науки України. – Х.: НТУ «ХПІ», 2007. – 406 с.
8. Кондратенко А.Н. Математическая модель гидравлического сопротивления фильтра твердых частиц дизеля. Часть 1: настроенный коэффициент [Текст] / А.Н. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2014. – № 18(1061). – С. 68 – 80. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3427>.
9. Кондратенко О.М. Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля [Текст] / О.М. Кондратенко, О.П. Строков, С.О. Вамболь, А.М. Авраменко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – № 6 (150). – С. 55 – 61. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2227>.
10. Кондратенко О.М. Оцінка впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизеля [Текст] / О.М. Кондратенко, О.П. Строков,

С.О. Вамболь // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Транспортне машинобудування. – 2014. – № 14 (1057). – С. 57 – 66. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3426>.

11. Матвеева Т.Ю. Введение в макроэкономику [Текст] / Т.Ю. Матвеева. – М.: Изд. дом ГУ-ВШЭ, 2004. – 512 с.

12. Енергоефективність фотоелектричних перетворювачів для забезпечення екологічно чистої енергетики: [монографія] [Текст] / С.О. Вамболь, Я.О. Сичікова, Н.В. Дейнеко. – Бердянськ: Видавець Ткачук О.В., 2016. – 256 с.

13. Кондратенко А.Н. Снижение выброса твердых частиц транспортных дизелей, находящихся в эксплуатации: дис. кандидата техн. наук: 05.05.03 «Двигатели и энергетические установки» [Текст] / Александр Николаевич Кондратенко. – Х.: Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, 2013. – 288 с.

14. Кондратенко А.Н. Концепция оценки эффективности управления экологической безопасностью процесса эксплуатации энергетических установок с поршневым ДВС [Текст] / А.Н. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания: всеукр. научн.-техн. журнал. – Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – № 2. – С. 68 – 72. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1739>.

15. Вамболь С.А. Методологический подход к построению системы управления экологической безопасностью эксплуатации энергетических установок [Текст] / С.А. Вамболь, А.П. Строков, В.В. Вамболь, А.Н. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания: всеукр. научн.-техн. журнал. – Х.: НТУ «ХПИ», 2015. – № 1. – С. 48 – 52.

16. Regulation № 49. Revision 5. 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. – United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles [Text]. – E/ECE/TRANS/505. – 4 May 2011. – 194 p.

17. Regulation № 96. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and forestry tractors with the regard to the emissions of pollutants by the engine [Text]. – Geneva, 1995. – 109 p.

18. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

19. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 327с.
20. Harrington E.C.Jr. The Desirability Function [Text] / E.C. Harrington // *Industrial Quality Control*. – 1965. – № 21 (10). – P. 494 – 498.
21. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств [Текст] / А.В. Пичкалев // *Исследования наукограда*. – 2012. – № 1. – С. 25 – 28.
22. Scientific and practical problems of application of ecological safety management systems in technics and technologies: Monograph [Text] / S.O. Vambol, V.V. Vambol, Y.O. Suchikova, I.V. Mishchenko, O.M. Kondratenko // *Opole: Publ. Academy of Management and Administration*, 2017. – 205 p. – Режим доступа: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3530>.
23. Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arrangement of pollutants neutralization system [Text] / S. Vambol, V. Vambol, O. Kondratenko, Y. Suchikova, O. Hurenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – № 3/10 (87). – Kharkiv: USURT, 2017. – pp. 63 – 73. – Режим доступа: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3423>.
24. Vambol S.O. Results of complex criterial fuel and ecological assessment of diesel engine 2Ch10.5/12 for emergency and rescue power plants [Text] / S.O. Vambol, O.M. Kondratenko // *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. – Вип. 1. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – С. 32 – 38. – Режим доступа: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2269>.
25. Vambol S.O. Calculated substantiation of choice of units of monetary equivalents of complex fuel and ecological criteria components [Text] / S.O. Vambol, O.M. Kondratenko // *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. – Вип. 2. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – С. 53 – 60. – Режим доступа: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2275>.
26. Каніло П.М. Автомобіль та навколишнє середовище [Текст] / П.М. Каніло, І.С. Бей, О.І. Ровенський. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с.
27. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86 / ЛЭПТ. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с..
28. Air Quality Index (AQI) Basis. EPA official website [Electronic resource] – Access mode: <https://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi>.
29. Weißbach D., Ruprecht G., Huke A., Czerski K., Gottlieb S., Hussein A. (2013), «Energy intensities, EROIs (energy returned on invested), and energy payback times of electricity generating power plants», *Energy*, Volume 52, pp. 201 – 221.
30. ГОСТ 4840:2007. Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 16 с.
31. Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change. Official text in English (1998) [Electronic resource], 20 p. – Access

mode: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

32. Правила дорожнього руху України. Відповідає офіційному тексту, погодж. з ЦБДД та АС при МВС України, затв. пост. Кабміну України № 1306 від 10.10.2001, введ. у дію 01.01.2002, зі змін. і доп. згідно до пост. Кабміну України № 869 від 21.10. 2015. – К.: Арії, 2016. – 48 с.

33. Шмандий В.М. Методологические подходы к анализу влияния экологической опасности на состояние здоровья населения в регионе [Текст] / В.М. Шмандий, Е.В. Харламова, Т.Е. Ригас // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке». – М.: ИПК РУДН, 2016. – Т. 18. – № 2. – с. 54 – 57.

34. Шмандий В.М. Управление экологической безопасностью в регионе: антропоцентрические аспекты. Монография [Текст] / В.М. Шмандий, Е.В. Харламова, Т.Е. Ригас. – Гамбург: Lambert Academic Publ., 2014. – 78 с.

35. Парсаданов И.В. Мультифакторный анализ механических потерь в быстроходном дизеле с газотурбинным наддувом [Текст] / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // Двигатели внутреннего сгорания: всеукр. науч.-техн. журнал. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – № 1. – С. 34 – 37.

36. Вамболь С.О. Стендові випробування автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 за стандартизованими циклами для визначення ефективності роботи ФТЧ [Текст] / С.О. Вамболь, О.П. Строков, О.М. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобілетракторобудування. –Х.: НТУ «ХПІ», 2014. –№ 10 (1053). –С. 11 – 18. – Режим доступу: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3425>.

37. Измерительный комплекс IDS-742 4/N. Руководство по эксплуатации РР 478 и РР 932 [Текст]. – 20 с.

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

39. Разработка малозатратной технологии и автоматизированной системы очистки отработавших газов дизеля от твердых частиц. Отчет о НИР (заключительный) (2011 – 2012) [Текст] / рук. А.П. Строков; отв. исполн.: А.Н. Авраменко, В.М. Семикин; исполн.: А.М. Левтеров, В.П. Марашовский, В.Н. Киреева, Н.Ю. Гладкова, А.Н. Кондратенко, Е. Ткачик, Г. Депарма. – № ГР 0111U001762. – Харьков: Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, 2012. – 131 с.

40. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 78 с.

41. ГОСТ 14846-87. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 42 с.

42. Грибан В.Г. Охорона праці: навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл.] [Текст] / В.Г. Грибан, О.В. Негодченко – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 280 с.

43. Кондратенко О.М. Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. Дизель 2Ч10,5/12 [Текст]

/ О.М. Кондратенко, Д.О. Плужніченко, К.Ю. Мусієнко // Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяч. 115-річчю з дня народж. акад. НАН України А.П. Філіппова (17 – 20 листопада 2014 р.). – Харків: ІПМаш НАНУ, 2014. – С. 36. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3476>.

44. Кондратенко О.М. Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. Навантажувальний пристрій [Текст] / О.М. Кондратенко, О.В. Єжелій, К.В. Семянніков // Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяч. 115-річчю з дня народж. акад. НАН України А.П. Філіппова (17 – 20 листопада 2014 р.). – Х.: ІПМаш НАНУ, 2014. – С. 34. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3477>.

45. Кондратенко О.М. Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. ФТЧ ІПМаш [Текст] / О.М. Кондратенко, Ю.В. Маложон, О.І. Філіпов // Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяч. 115-річчю з дня народж. акад. НАН України А.П. Філіппова (17 – 20 листопада 2014 р.). – Х.: ІПМаш НАНУ, 2014. – С. 35. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3478>

46. Кондратенко О.М. Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. Засоби вимірювальної техніки [Текст] / О.М. Кондратенко, Н.В. Хохлова, Д.І. Жигер // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (12 – 13 грудня 2014 р.). – Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 2014. – С 334 – 335. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3480>.

47. Вамболь С.О. Моторний випробувальний стенд як джерело факторів небезпеки експериментальних досліджень [Електронний ресурс] / С.О. Вамболь, О.П. Строков, О.М. Кондратенко, Н.В. Хохлова, Г.С. Стельмах // Матеріали III Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту" (14 – 16 квітня 2015 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 38 – 41. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3493>.

48. Строков О.П. Система відбору проб відпрацьованих газів дизеля моторного випробувального стенду як об'єкт метрологічних досліджень [Текст] / О.П. Строков, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко, О.А. Бурменко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – № 4. – С. 113 – 117. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2241>.

49. Кондратенко А.Н. Факторы опасности экспериментальных исследований на моторном испытательном стенде. Часть 1 [Электронный ресурс] / А.Н. Кондратенко, С.А. Вамболь, А.С. Стельмах // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – М.: АГПС МЧС РФ, 2015. – Вып. 2 (60). – С. 01 – 06. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2247>.

50. Строков О.П. Система відбору проб відпрацьованих газів дизеля моторного випробувального стенду як об'єкт метрологічних досліджень [Текст] / О.П. Строков, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко, О.А. Бурменко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – № 4. – С. 113 – 117. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2241>.

51. ГОСТ 18140-84. Манометры дифференциальные ГПС. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 16 с.

52. ТУ25-2021.003-88. Термометры ртутные стеклянные лабораторные. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 59 с.

53. Барометр-анероид БАММ-1. Паспорт Л82.832.001ПС.

54. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 11 с.

55. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 7 с.

56. ТУ 25.1894.003-90. Секундомеры механические. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 5 с.

57. ГОСТ 6616–94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 1994. – 11 с.

58. Прибор А565. Руководство по эксплуатации 0273РЭ.

59. Счетчик газа ротационный РГ-100. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

60. Частотомер электронно-счетный Ф5080. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1980. – 40 с.

61. Газоанализатор пятикомпонентный Автотест-02.03П. Руководство по эксплуатации М 057.000.000РЭ.

62. Дымомер ИНФРАКАР Д. Паспорт ВЕКМ.41531.007ПС.

63. Кондратенко А.Н. Экспериментальное исследование действующего макета фильтрующего элемента фильтра твердых частиц дизеля с насыпкой из природного цеолита. Часть 1 / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, Н.М. Карасиченко // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2013. – № 1. – С. 88– 92. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3465>.

64. Кондратенко А.Н. Экспериментальное исследование действующего макета фильтрующего элемента фильтра твердых частиц дизеля с насыпкой из природного цеолита. Часть 2 / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, С.П. Хожайнов // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2013. – № 2. – С. 92– 97. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3466>.

65. Эберт К. Компьютеры. Применение в химии: Пер. с нем. / К. Эберт, Х. Эдерер. – М.: Мир, 1988. – 416 с.

66. Величко В. Україна відклала перехід на нові екологічні норми автомобільних вихлопів [Електроний ресурс]/ В. Величко // Запорізька правда. – 27.10.2011. – Режим доступу: http://www.zp-pravda.nfoindex.php?option=com_content&view=article&id=4068:2011-10-30-19-30-10&catid=34:

2009-04-14-10-24-35&Itemid=63.

67. Поливянчук А.П. Исследование степени токсичности вредных веществ, выбросы которых нормируются европейскими экологическими стандартами / А.П. Поливянчук, Е.Ю. Щепак, Е.Ю. Титова // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Х.: НТУ «ХПИ», 2007. – № 2. – С. 112 – 115.

68. Марков В.А. Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд. перераб. и доп. / Марков В.А., Баширов Р.М., Гамбитов И.И. – М.: Изд-во МГТУ им. М.Э. Баумана, 2002. – 376 с.

69. Канило П.М. Автотранспорт. Топливо-экологические проблемы и перспективы: монография / П.М. Канило – Х.: изд-во ХНАДУ, 2013. – 270 с.

70. Двигуни внутрішнього згорання: серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологізація ДВЗ / А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А.Ф. Шеховцов; за ред. А.П. Марченко та А.Ф. Шеховцова. – Х.: Прапор, 2004. – 360 с.

71. Строков А.П. Современные методы очистки отработавших газов дизелей от твердых частиц / А.П. Строков, А.Н. Кондратенко // Двигуни внутрішнього згорання. – Х.: НТУ «ХПИ», 2010. – № 2. – С. 99 – 104. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3446>.

72. Кондратенко А.Н. Применение природного цеолита для повышения экологических характеристик транспортных дизелей, находящихся в эксплуатации / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. Вып. XII. – Белгород: БелГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. – С. 210 – 215. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3438>.

73. Строков А.П. Экспериментальное определение гидравлического сопротивления макета модуля фильтра твердых частиц быстроходного дизеля. Часть 2 / А.П. Строков, А.Н. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Збірник наукових праць. Тематичний збірник: Транспортне машинобудування. Харків: НТУ "ХПИ". – Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – № 19. – С. 121 – 128. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3441>.

74. Строков А.П. Экспериментальное определение гидравлического сопротивления макета модуля фильтра твердых частиц быстроходного дизеля / А.П. Строков, А.Н. Кондратенко // Автомобільний транспорт: збірник наукових праць. – Х.: ХНАДУ, 2011. Вып. 29. – С. 144 – 147. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3445>.

75. Кондратенко А.Н. Моделирование тепло- и массообменных процессов в фильтре твердых частиц дизеля. Часть 1: модернизация конструкции фильтра и дополнение базы данных по свойствам пористого тела / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, А.Н. Авраменко // Двигуни внутрішнього згорання. – Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – № 1. – С. 82 – 88. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3462>.

76. Кондратенко А.Н. Моделирование тепло- и массообменных процессов в фильтре твердых частиц дизеля. Часть 3: вопросы использования цеолита в конструкции фильтрующего элемента / А.Н. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний збірник: Автомобіле- і тракторобудування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 60 (966). – С 83 – 89. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3442>.

77. Кондратенко О.М. Моделювання тепло- і масообмінних процесів у фільтрі твердих частинок дизеля. Частина 4: розрахункове дослідження робочих характеристик фільтра / О.М. Кондратенко, О.П. Строков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 5 (979). – С. 100 – 109. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3434>.

78. Кондратенко А.Н. Моделирование тепло- и массообменных процессов в фильтре твердых частиц дизеля. Часть 5: расчетное исследование гидравлического сопротивления фильтра с цеолитовой насыпкой / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 37 (1010). – С. 68 – 75. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3435>.

79. Кондратенко А.Н. Математическая модель гидравлического сопротивления фильтра твердых частиц дизеля. Часть 2: температурный коэффициент / А.Н. Кондратенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 18 (1061). – С. 80 – 89. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3428>.

80. Александров А.А. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Ирхаров, В.В. Багров и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. – 791 с.

81. Кондратенко А.Н. Математическая модель гидравлического сопротивления фильтра твердых частиц дизеля. Часть 3: компоновочный коэффициент [Текст] / А.Н. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 6 (1115). – С. 29 – 40. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2204>.

82. Кондратенко А.Н. Регенерация фильтров твердых частиц дизелей [Текст] / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, С.А. Вамболь // Двигатели внутреннего сгорания. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 1. – С. 89 – 95. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3429>.

83. Кондратенко А.Н. Регенерация фильтра твердых частиц дизеля с насыпкой из природного цеолита [Текст] / А.Н. Кондратенко, А.П. Стро-

ков, С.А. Вамболь // Двигатели внутреннего сгорания. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – № 2. – С. 76 – 81. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3430>.

84. Дьяченко В.Г. (сост.) Методические указания к курсовой работе: Расчет рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / В.Г. Дьяченко. – Х.: Изд. ХНАДУ, 2001. – 34 с.

85. Оценка и контроль выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей [Текст] / В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова. – М.: Изд-во Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с.

86. Закон України «Про внесення змін у Закон України «Про деякі питання ввезення на таможенну територію України та реєстрації транспортних засобів» відносно колісних транспортних засобів» № 5177 від 08.08. 2012 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2739-15>.

87. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы [Текст]: учебник / Н.Н. Брушлинский – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.

88. Наказ ДСНС України від 20.09.2013 р. № 618 «Про затвердження Положення про організацію екологічного забезпечення ДСНС України» [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mns.gov.ua/files/2013/10/8/618.pdf>.

89. Самуся В.И. Мобильная подъемная установка для аварийно-спасательных работ [Текст] / В.И. Самуся // Возможности використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій: матеріали VI міжвузівської науково-практичної конференції (7 грудня 2007 р.). – Х.: УЦЗУ, 2007. – С. 3 – 4.

90. Научно-технические основы повышения уровня экономических и экологических показателей энергоустановок с ДВС за счет разработки новых структурных схем и совершенствования методов использования альтернативных моторных топлив. Отчет о НИР (заключительный) (2010 – 2013) [Текст] / рук. А.П. Строков; отв. исполн.: А.М. Левтеров, В.Н. Бганцев; исполн.: А.Н. Авраменко, К.Р. Умеренкова, В.П. Мараховский, Л.И. Левтерова, В.Н. Киреева, Н.Ю. Гладкова, А.И. Бицюра, С.П. Хожаинов, А.Н. Кондратенко, В.М. Семикин, В.Д. Савицкий, Н.М. Карасиченко, Е. Ткачик, Г. Депарма. – № ГР 0110U002660. – Х.: Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, 2013. – 386 с.

91. Khrypunov, G. Increasing the efficiency of film solar cells based on cadmium telluride / G. Khrypunov, S. Vambol, N. Deyneko, Y. Suchikova [Text] // EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. – Kharkiv: USURT, 2016. – № 6/5 (84). – pp. 12 – 18.

92. Vambol, S. Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle [Text] / S. Vambol, V. Vambol, Y. Suchikova, N. Deyneko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkiv: USURT, 2017. – № 1/10 (85). – 27 – 36.

93. Suchikova Y.A. Blue shift of photoluminescence spectrum of porous

InP [Text] / Y.A. Suchikova, V.V. Kidalov, A.A. Konovalenko, G.A. Sukach // ECS Transactions. – 2010. – Vol. 25(24). – pp. 59 – 64.

94. Alkidas A.C. Relationship between smoke measurements and particulate measurements [Text] / A.C. Alkidas // SAE Technical Paper Series. – 1984. – № 840412. – pp. 10 – 21.

95. Muntean G.G. A theoretical model for the correlation of smoke number to dry particulate concentration in diesel exhaust [Text] / G.G. Muntean // SAE paper. – 1999. – № 1999-01-0515. – 9 p.

96. Hardenberg H. Grenzen der Rußmassbestimmung aus optischen Transmessungen [Text] / H. Hardenberg, H. Albrecht // MTZ: Motortech. Z. – 1987. – № 48/2. – pp. 51 – 54.

97. Вамболь С.О. Апроксимація закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 1 [Текст] / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко, О.А. Бурменко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 18 (1127). – С. 36 – 44. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1630>.

98. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника [Текст] / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.

99. Дэннис Дж. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений [Текст] / Дж. Дэннис, Р. Шнабель. – М.: Мир, 1988. – 440 с.

100. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П.В. Новицкий, И. А. Зограф. – 2-е изд. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.

101. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям [Текст] / Р.Н. Вадзинский. – СПб.: Наука, 2001. – 295 с.

102. Zhao X. G. et al. Assessment of ecological safety under different scales based on ecological tension index [J] [Text] // Chinese Journal of Eco-Agriculture. – 2007. – Vol. 6. – p. 032.

103. Chapman P. M., Fairbrother A., Brown D. A critical evaluation of safety (uncertainty) factors for ecological risk assessment [Text] // Environmental Toxicology and Chemistry. – 1998. – Vol. 17. – №. 1. – pp. 99 – 108.

104. Akhmetzyanov I. M. et al. Criteria of ecological safety [Text] // Conference in the Spg scientific centre. – 1994. – Vol. 31. – №. 2.06. – С. 1993.

105. Roberts C. M. et al. Application of ecological criteria in selecting marine reserves and developing reserve networks [Text] // Ecological applications. – 2003. – pp. 215 – 228.

106. Snyder S. A. et al. Ecological criteria, participant preferences and location models: a GIS approach toward ATV trail planning [Text] // Applied Geography. – 2008. – Vol. 28. – №. 4. – pp. 248 – 258.

107. Sanvido O. et al. Evaluating environmental risks of genetically modified crops: ecological harm criteria for regulatory decision-making [Text] // Environmental Science & Policy. – 2012. – Vol. 15. – №. 1. – pp. 82 – 91.

108. Cairns Jr J., Niederlehner B. R. Ecological function and resilience: neglected criteria for environmental impact assessment and ecological risk analysis [Text] // Environmental Professional; (United States). –1993. – Vol. 15. – № 1. – pp. 115 – 120.
109. Bo X. H. L. A Study on indices system and assessment criterion of ecological security for city [J] [Text] // Journal of Beijing Normal University (Natural Science). – 2004. – Vol. 5. – p. 025.
110. Turnhout E., Hisschemöller M., Eijsackers H. Ecological indicators: between the two fires of science and policy [Text] // Ecological indicators. – 2007. – Vol. 7. – №. 2. – pp. 215 – 228.
111. Fernández M. D., Vega M. M., Tarazona J. V. Risk-based ecological soil quality criteria for the characterization of contaminated soils. Combination of chemical and biological tools [Text] // Science of the Total Environment. – 2006. – Vol. 366. – №. 2. – pp. 466 – 484.
112. Lin J., Lin T., Cui S. Quantitative selection model of ecological indicators and its solving method [Text] // Ecological indicators. – 2012. – Vol. 13. – №. 1. – pp. 294 – 302.
113. Trubetskoi K. N., Galchenko Y. P. Methodological basis of ecological safety standards for the technogenic impact of mineral resource exploitation [Text] // Russian journal of ecology. – 2004. – Vol. 35. – №. 2. – pp. 65 – 70.
114. Sandvik H. et al. Generic ecological impact assessments of alien species in Norway: a semi-quantitative set of criteria [Text] // Biodiversity and conservation. – 2013. – Vol. 22. – №. 1. – pp. 37 – 62.
115. Sazykina T. G., Kryshev I. I. Multi-criteria analysis for evaluating the radiological and ecological safety measures in radioactive waste management [Text] // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Yadernaya Energetika. – 2006. – pp. 39 – 45.
116. Bolsunovskaya Y. A., Bolsunovskaya L. M. Ecological risk analysis as a key factor in environmental safety system development in the Arctic region of the Russian Federation [Text] // IOP conference series: earth and environmental science. – IOP Publishing, 2015. – Vol. 24. – №. 1. – pp. 012003.
117. Ilyichev V. et al. Estimation of indicators of ecological safety in civil engineering [Text] // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 117. – pp. 126 – 131.
118. Gong J., Xia B., Guo L. Assessment and prediction models of urban ecological security [Text] // Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni. – 2006. – Vol. 45. – №. 1. – pp. 107 – 111.
119. Linkov I. et al. Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials [Text] // Journal of Nanoparticle Research. – 2007. – Vol. 9. – №. 4. – pp. 543 – 554.
120. Brandowski A., Liberacki R. Environmental Safety of a Seagoing Ship Power Plant [Text] // Probabilistic Safety Assessment and Management. – Springer, London, 2004. – pp. 3485 – 3490.
121. Forman R. T. T. Road ecology: science and solutions [Text]. – Is-

land Press, 2003. – 155 p.

122. Buchholz T. et al. Multi criteria analysis for bioenergy systems assessments [Text] // Energy Policy. – 2009. – Vol. 37. – №. 2. – pp. 484 – 495.

123. Ostapenko O., Slobodianiuk O. Energy, ecological and economic efficiency of steam compressor heat pump plants as compared with alternative sources of heat supply [Text] // Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. – 2015. – №. 2. – pp. 112 – 117.

124. Fehrenbach H. et al. Criteria for sustainable bioenergy use on a global scale [Text] // Criteria for sustainable bioenergy use on a global scale. – 2007. – №. 211. – pp. 118 – 130.

125. Berdesheva G. A. et al. Criterion Indicators in Environment Quality Assessment [Text] // Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2014. – Vol. 5. – №. 23. – p. 2638.

126. Zorpas A. A. et al. Environmental and technical evaluation of the use of alternative fuels through multi-criteria analysis model [Text] // Progress in Industrial Ecology, an International Journal. – 2016. – Vol.10. – №. 1. – pp. 3 – 15.

127. Braga L. B. et al. Comparative analysis between a PEM fuel cell and an internal combustion engine driving an electricity generator: Technical, economical and ecological aspects [Text] // Applied Thermal Engineering. – 2014. – Vol. 63. – №. 1. – pp. 354 – 361.

128. Ahmadi M. H. et al. Optimal design of a solar driven heat engine based on thermal and thermo-economic criteria [Text] // Energy conversion and management. – 2013. – Vol. 75. – pp. 635 – 642.

129. Pernebekov S. S. et al. Modeling of traffic flows with due regard to ecological criteria [Text] // Life Science Journal. – 2014. – Vol. 11. – №. 5s. – pp. 44 – 49.

130. Łosiewicz Z. Identifying the Issue of Reducing the Emission of Harmful Compounds in the Exhaust Gas from Marine Main Engines and Description of the Emission Process of These Compounds in Probabilistic Approach [Text] // Polish Maritime Research. – 2017. – Vol. 24. – №. 2. – pp. 89 – 95.

131. Vambol S.O. Methodological basics of criterial integrated assessment of ecological safety management system functioning efficiency of power plants with piston ICE exploitation process [Text] / S.O. Vambol, O.M. Kondratenko, V.V. Vambol, O.V. Mietielov // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2016. – № 6 (101), Част. 1. – С. 104 – 110. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1695>.

132. Офіційний обмінний курс гривні до іноземних валют. Національний банк України: офіційний веб-сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bank.gov.ua/control/en/curmetal/detail/currency?period=daily>, дата звернення: 30-01-2017.

133. Індекс інфляції (Україна). Minfin: фінансовий портал [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://index.minfin.com.ua/index/infl>, дата звернення: 30-01-2017.

134. Акаев А.А. Динамика темпов глобальной инфляции: закономерности и прогнозы [Текст] / А.А. Акаев, А.В. Коротаев, А.А.Фомин. – М.: Книжный дом, 2012. – 32 с.

135. Kondratenko O.M. Selection of criterial apparatus for complex assessment of ecological safety level of exploitation process of power plants [Text] / O.M. Kondratenko // Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека». – Вип. 3 (1/2018). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 75 – 84. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2275>.

136. Полив'янчук А.П. Науково-практичні основи підвищення ефективності визначення викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизеля: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки [Текст] / Андрій Павлович Полив'янчук. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – 311 с.

137. Клименко О.М. Оцінка впливу регулювання температурного стану поршнів на техніко-економічні показники дизеля: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки [Текст] / Олександр Миколайович Клименко. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – 165 с.

138. Осетров О.О. Поліпшення техніко-економічних показників дизеля 4ЧН12/14, що працює на біопаливах: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки [Текст] / Олександр Олександрович Осетров. – Х.: НТУ «ХПІ», 2005. – 145 с.

139. Білик С.Ю. Оцінка механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки [Текст] / Сергій Юрійович Білик. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – 150 с.

140. Краснокутський Є.В. Закономірності кінетичних і масообмінних процесів конверсії газових викидів у каталітичному нейтралізаторі: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 – процеси та апарати хімічної технології [Текст] / Є.В. Краснокутський. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – 201 с.

141. Вамболь С.А. Влияние расхода топлива поршневого ДВС на факторы уровня экологической безопасности эксплуатации единицы аварийно-спасательной техники [Текст] / С.А. Вамболь, А.Н. Кондратенко, С.М. Бигун, В.М. Семчук // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность», посвященной Году гражданской обороны (29 – 30 ноября 2017 г.). – Иваново, 2017. – С. 251 – 254. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/XXXX>.

142. Кондратенко О.М. Розробка моделі експлуатації поршневого двигуна внутрішнього згорання пожежного автомобіля [Текст] / О.М. Кондратенко, С.М. Бигун // Збірник тез доповідей XV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми екологічної безпеки» (11 – 13 жовтня 2017 р.). – Кременчук: КрНУ, 2017. – С. 121. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6077>.

143. Research into regularities of pore formation on the surface of semiconductors [Text] / S. Vambol, I. Bogdanov, V. Vambol, Y. Suchikova, O.

Kondratenko, O. Hurenko, S. Onishchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – № 3/5 (87). – Kharkiv: USURT, 2017. – pp. 37 – 44. – Access mode: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/104039/100829>.

144. Morphologies and Photoluminescence Properties of Porous n-InP [Electronic resource] / Y. Suchikova, I. Bogdanov, S. Onishchenko, S. Vambol, V. Vambol, O. Kondratenko // Proceedings of the 2017 IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties (NAP-2017) (10 – 15 Sept. 2017). – Sumy: Sumy State University, 2017. – pp. 80 – 84 (01PCSI17-1). – Access mode: <http://nap.sumdu.edu.ua/index.php/nap/nap2017>.

145. Photoluminescence of Porous Indium Phosphide: Evolution of Spectra During Air Storage [Electronic resource] / Y. Suchikova, I. Bogdanov, S. Onishchenko, S. Vambol, V. Vambol, O. Kondratenko // Proceedings of the 2017 IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties (NAP-2017) (10 – 15 Sept. 2017). – Sumy: Sumy State University, 2017. – pp. 138 – 141 (01PCSI30-4). – Access mode: <http://nap.sumdu.edu.ua/index.php/nap/nap2017>.

146. Porous Nanostructured InP: Preparation and Properties [Electronic resource] / Y. Suchikova, S. Onishchenko, V. Vambol, O. Kondratenko // 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF–2017): Book of Papers (17 – 20 October 2017). – Lviv: Publ. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of NAS of Ukraine, 2017. – pp. 331 – 334. – Access mode: www.ysc.org.ua.

147. Formation of filamentary structures of oxide on the surface of monocrystalline gallium arsenide [Text] / S.O. Vambol, I.T. Bohdanov, V.V. Vambol, Y.O. Suchikova, O.M. Kondratenko, T.P. Nesterenko, S.V. Onyschenko // Journal of Nano- and Electronic Physics. – Vol. 9, № 6. – Sumy: Sumy State University, 2017. – pp. 06016-1 – 06016-4. – Access mode: http://jnep.sumdu.edu.ua:8080/download/numbers/2017/6/articles/JNEP_06016.pdf.

148. Вамболь С.А. Системы управления экологической безопасностью, которые используют многофазные дисперсные структуры [Текст]: монография / С.А. Вамболь. – Х.: НАКУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2013. – 204 с.

149. Екологічна безпека, природно-техногенна безпека і цивільний захист в Україні [Текст]: навч. посібн. / В.М. Кобрін, П.М. Куліков, М.В. Нечипорук, В.П. Садковий, С.О. Вамболь й ін.; Мін-во освіти і науки України. – Х.: НАКУ ім. М.Є. Жуковського «ХАИ», 2007. – 406 с.

150. Теоретичні дослідження і розробка пристроїв для підвищення безпеки експлуатації енергетичних установок на базі дизельних двигунів. Звіт з НДР (2015 – 2016) [Текст] / кер. С.О. Вамболь; відп. викон. О.М. Кондратенко; викон. Г.С. Стельмах. – № ДР 0115U002040. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 75 с.

151. Дослідження гідравлічних струменів при створенні при створенні систем управління екологічною безпекою об'єктів підвищеного ризи-

ку. Звіт з НДР (2016 – 2017) [Рукопис] / кер. С.О. Вамболь; відп. викон. І.В. Міщенко; викон. О.М. Кондратенко, М.О. Кустов, Н.В. Дейнеко. – № ДР 0116U002002. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2017. – 55 с.

152. Вамболь С.О. Апроксимація закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 2 [Текст] / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 41 (1150). – С. 11 – 16.

153. Вамболь С.О. Апроксимація закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 3 [Текст] / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 41 (1150). – С. 16 – 21.

154. Корнева К.В. Апроксимація закону розподілу емпіричних даних [Текст] / К.В. Корнева // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції курсантів та студентів «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (02 – 05 березня 2015 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 331.

155. Корнева К.В. Моделювання дальності та висоти підйому гідравлічного струменя за розподілів значень діаметру насадки та кута нахилу пожежного ствола [Текст] / К.В. Корнева // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (28 – 29 березня 2018 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 277.

Додаток А. ПУБЛІКАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ МОНОГРАФІЇ

Монографії

1) Сучасні способи підвищення екологічної безпеки експлуатації енергетичних установок: монографія [Текст] / **С.О. Вамболь**, О.П. Строков, **В.В. Вамболь**, **О.М. Кондратенко**. – Х.: НУЦЗУ, Стиль-Издат (ФОП Бровін О.В.), 2015. – 212 с. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3529>.

2) Scientific and practical problems of application of ecological safety management systems in technics and technologies: Monograph [Text] / **S.O. Vambol**, **V.V. Vambol**, Y.O. Suchikova, I.V. Mishchenko, **O.M. Kondratenko** // Opole: Publ. Academy of Management and Administration, 2017. – 205 p. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3530>.

3) Дослідження гідравлічних струменів при створенні системи управління екологічною безпекою об'єктів підвищеного ризику [Текст] / **С.О. Вамболь**, **О.М. Кондратенко**, **І.В. Міщенко**, **В.Ю. Колосков**. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 204 с. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

Статті

1) **Вамболь С.О.** Стендові випробування автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 за стандартизованими циклами для визначення ефективності роботи ФТЧ [Текст] / **С.О. Вамболь**, О.П. Строков, **О.М. Кондратенко** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 10 (1053). – С. 11 – 18. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3425>.

2) **Кондратенко О.М.** Оцінка впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизеля [Текст] / **О.М. Кондратенко**, О.П. Строков, **С.О. Вамболь** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Транспортне машинобудування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 14 (1057). – С. 57 – 66. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3426>.

3) **Кондратенко А.Н.** Математическая модель гидравлического сопротивления фильтра твердых частиц дизеля. Часть 1: настроечный коэффициент [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 18 (1061). – С. 68 – 80. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3427>.

4) **Кондратенко А.Н.** Математическая модель гидравлического сопротивления фильтра твердых частиц дизеля. Часть 2: температурный коэффициент [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // Вісник Національного техніч-

ного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 18 (1061). – С. 80 – 89. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3428>.

5) **Кондратенко О.М.** Особливості визначення масового викиду твердих частинок у відпрацьованих газах дизеля [Текст] / **О.М. Кондратенко**, О.П. Строков, **С.О. Вамболь**, В.М. Бганцев // Автомобільний транспорт: сб. науч. тр. – Х.: ХНАДУ, 2014. – Вып. 35. – С. 100 – 105. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3432>.

6) **Вамболь С.А.** К вопросу определения массового выброса твердых частиц в отработавших газах дизеля [Текст] / **С.А. Вамболь**, **А.Н. Кондратенко**, А.С. Стельмах // «Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций»: сборник статей по материалам VI Всероссийской научно-практической конференции курсантов, слушателей, студентов и молодых ученых с международным участием: в двух частях. Часть 1 (17 апреля 2015 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России. – С. 225 – 228. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2250>.

7) **Кондратенко А.Н.** Факторы опасности экспериментальных исследований на моторном испытательном стенде. Часть 1 [Электронный ресурс] / **А.Н. Кондратенко**, **С.А. Вамболь**, А.С. Стельмах // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – М.: АГПС МЧС РФ, 2015. – Вып. 2 (60). – С. 01 – 06. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2247>.

8) **Кондратенко А.Н.** Математическая модель гидравлического сопротивления фильтра твердых частиц дизеля. Часть 3: компоновочный коэффициент [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 6 (1115). – С. 29 – 40. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2204>.

9) **Кондратенко А.Н.** Математическая модель гидравлического сопротивления фильтра твердых частиц дизеля. Часть 4: временной коэффициент [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 18 (1127). – С. 53 – 61. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2209>.

10) **Вамболь С.О.** Аппроксимация закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 1 [Текст] / **С.О. Вамболь**, **І.В. Міщенко**, **О.М. Кондратенко**, О.А. Бурменко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 18 (1127). – С. 36 – 44. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1630>.

11) Строков О.П. Система відбору проб відпрацьованих газів дизеля моторного випробувального стенду як об'єкт метрологічних досліджень [Текст] / О.П. Строков, **І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко**, О.А. Бурменко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – № 4. – С. 113 – 117. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2241>.

12) **Вамболь С.О.** Апроксимація закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 2 [Текст] / **С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 41 (1150). – С. 11 – 16. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

13) **Вамболь С.О.** Апроксимація закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 3 [Текст] / **С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 41 (1150). – С. 16 – 21. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

14) **Vambol' S.O.** Engine test bench as a source of danger factors in experimental researches [Текст] / **S.O. Vambol', O.M. Kondratenko**, N.V. Dejneko // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. – No 3 (19). – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. – С. 7 – 12. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2266>.

15) **Вамболь С.А.** Моторный испытательный стенд как источник факторов опасности экспериментальных исследований [Текст] / **С.А. Вамболь, А.Н. Кондратенко**, Н.В. Дейнеко // «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций»: сб. ст. по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2-х част. Часть 1. (15 – 16 декабря 2015 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ин-т ГПС МЧС России, 2015. – С. 76 – 79. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2258>.

16) **Vambol' S.O.** Exhaust gas sampling system of engine test bench as an object of metrological researches [Текст] / **S.O. Vambol', I.V. Mischenko, O.M. Kondratenko**, О.А. Burmenko // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. – No 4 (20). – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. – С. 17 – 25. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2278>.

17) **Кондратенко О.М.** Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля [Текст] / **О.М. Кондратенко**, О.П. Строков, **С.О. Вамболь**, А.М. Авраменко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – № 6 (150). – С. 55 – 61. – Режим доступу:

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2227>.

18) **Вамболь С.О.** Моторний випробувальний стенд як джерело факторів небезпеки при проведенні експериментальних досліджень [Текст] / **С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко, Н.В. Дейнеко** // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: Полт НТУ ім. Ю. Кондратюка, 2015. – Вип. 3 (45). – С. 11 – 17. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3512>.

19) **Кондратенко А.Н.** Концепция оценки эффективности управления экологической безопасностью процесса эксплуатации энергетических установок с поршневым ДВС [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // Двигатели внутреннего сгорания: всеукр. научн.-техн. журнал. – Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – № 2. – С. 68 – 72. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3532>.

20) **Вамболь С.А.** Новый подход к критериальной комплексной эколого-экономической оценке эффективности эксплуатации энергетических установок с поршневым ДВС [Текст] / **С.А. Вамболь, А.Н. Кондратенко, М.А. Ачкасова, О.В. Поликанова** // «Актуальные проблемы научных исследований XXI века: теория и практика»: сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий» (14 – 15 ноября 2016 г.). – Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2016 г. – № 5/2016. Ч. 4 (25 – 4). – С. 36 – 42. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1744>.

21) **Вамболь С.А.** Влияние противодействия фильтра твердых частиц на топливную экономичность автотракторного дизеля [Текст] / **С.А. Вамболь, А.Н. Кондратенко** // Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность», посвящ. Году пожарной охраны (24 – 25 ноября 2016 г.). – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 217 – 220. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1720>.

22) **Вамболь С.А.** Выбор единиц для оценки денежных затрат при комплексном критериальном оценивании топливно-экологической эффективности эксплуатации энергетических установок с ДВС [Текст] / **С.А. Вамболь, А.Н. Кондратенко** // «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций»: сб. ст. по материалам V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 част. Ч. 1. (15 – 16 дек. 2016 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ин-т ГПС МЧС России, 2016. – С. 87 – 89. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1726>.

23) **Vambol S.O.** Methodological basics of criterial integrated assessment of ecological safety management system functioning efficiency of power plants with piston ICE exploitation process [Text] / **S.O. Vambol, O.M. Kondratenko, V.V. Vambol, O.V. Mielielov** // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ

ім. М. Остроградського, 2016. – № 6 (101), Част. 1. – С. 104 – 110. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1695>.

24) **Вамболь С.О.** Методологічні основи критеріальної комплексної еколого-економічної оцінки ефективності експлуатації енергетичних установок з поршнеvim ДВЗ [Текст] / **С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко, О.В. Метельов** // Автомобільний транспорт: сб. науч. тр. – Х.: ХНАДУ, 2016. – Вип. 2. – С. 139 – 149. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1677>.

25) **Vambol S.O.** Results of complex criterial fuel and ecological assessment of diesel engine 2Ch10.5/12 for emergency and rescue power plants [Text] / **S.O. Vambol, O.M. Kondratenko** // Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека». – Вип. 1. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – С. 32 – 38. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2269>.

26) **Vambol S.O.** Calculated substantiation of choice of units of monetary equivalents of complex fuel and ecological criteria components [Text] / **S.O. Vambol, O.M. Kondratenko** // Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека». – Вип. 2. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – С. 53 – 60. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2275>.

27) **Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arrangement of pollutants neutralization system** [Text] / **S. Vambol, V. Vambol, O. Kondratenko, Y. Suchikova, O. Hurenko** // **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.** – № 3/10 (87). – Kharkiv: **USURT**, 2017. – pp. 63 – 73. – Access mode: <http://journals.uran.ua/eejet/article/viewFile/102314/100169>.

28) **Кондратенко А.Н.** Выбор критериального аппарата для комплексного оценивания уровня экологической безопасности эксплуатации пожарной и аварийно-спасательной техники [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы»: сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (28 – 29 сент. 2017 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2017. – С. 441 – 444. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6069>.

29) **Kondratenko O.M.** Selection of criterial apparatus for complex assessment of ecological safety level of exploitation process of power plants [Text] / **O.M. Kondratenko** // Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека». – Вип. 3 (1/2018). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 75 – 84. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2275>.

Звіти про НДР

1) Теоретичні дослідження і розробка пристроїв для підвищення безпеки експлуатації енергетичних установок на базі дизельних двигунів. Звіт з НДР (2015 – 2016) [Текст] / кер. **С.О. Вамболь**; відп. викон. **О.М. Кондратенко**; викон. Г.С. Стельмах. – № ДР 0115U002040. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 75 с.

2) Дослідження гідравлічних струменів при створенні при створенні систем управління екологічною безпекою об'єктів підвищеного ризику. Звіт з НДР (2016 – 2017) [Рукопис] / кер. **С.О. Вамболь**; відп. викон. **І.В. Міщенко**; викон. **О.М. Кондратенко**, М.О. Кустов, Н.В. Дейнеко. – № ДР 0116U002002. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2017. – 55 с.

Тези доповідей

1) **Кондратенко А.Н.** Аспекты пожарной безопасности эксплуатации фильтров твердых частиц дизелей [Текст] / **А.Н. Кондратенко**, Д.А. Плужниченко // «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы»: сб. ст. по материалам V Международной научно-практической конференции: в 2-х част. Часть 1. (18 – 19 сентября 2014 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ин-т ГПС МЧС РФ, 2014. – С. 267 – 269. – Режим доступа: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3471>.

2) **Кондратенко О.М.** Актуальні аспекти технегенно-екологічної безпеки процесу регенерації ФТЧ дизелів [Текст] / **О.М. Кондратенко**, Б.Б. Раманов // Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми екологічної безпеки»: Збірник тез доповідей (8 – 9 жовтня 2014 р.). – Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2014. – С 10. – Режим доступа: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3474>.

3) **Вамболь С.О.** Забезпечення пожежної та вибухової безпеки в процесах регенерації ФТЧ дизелів [Текст] / **С.О. Вамболь**, П.А.о. Рафієв // Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми екологічної безпеки»: Збірник тез доповідей (м. Кременчук, КрНУ, 8 – 9 жовтня 2014 р.). – Кременчук: КрНУ, 2014. – С 11. – Режим доступа: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36/>

4) **Кондратенко О.М.** Розрахункова оцінка впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизеля за 13-режимним випробувальним циклом [Текст] / **О.М. Кондратенко**, А.Д. Тертиченко // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля» (15 – 16 жовтня 2014 р.). – Х.: ХНАДУ, 2014. – С. 235 – 236. – Режим доступа: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3481>.

5) **Кондратенко О.М.** Методика розрахункової оцінки впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизеля з урахуванням моделі його експлуатації [Текст] / **О.М. Кондратенко** // Сучасні проблеми ма-

шинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяченої 115-річчю з дня народження акад. НАН України А.П. Філіппова (17 – 20 листопада 2014 р.). – Х.: ІПМаш НАНУ, 2014. – С. 37. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3475>.

6) **Кондратенко О.М.** Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. Дизель 2Ч10,5/12 [Текст] / **О.М. Кондратенко**, Д.О. Плужніченко, К.Ю. Мусієнко // Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяченої 115-річчю з дня народження акад. НАН України А.П. Філіппова (17 – 20 листопада 2014 р.). – Х.: ІПМаш НАНУ, 2014. – С. 36. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3476>.

7) **Кондратенко О.М.** Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. Навантажувальний пристрій [Текст] / **О.М. Кондратенко**, О.В. Єжелій, К.В. Семянніков // Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяченої 115-річчю з дня народження акад. НАН України А.П. Філіппова (17 – 20 листопада 2014 р.). – Х.: ІПМаш НАНУ, 2014. – С. 34. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3477>.

8) **Кондратенко О.М.** Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. ФТЧ ІПМаш [Текст] / **О.М. Кондратенко**, Ю.В. Маложон, О.І. Філіпов // Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяч. 115-річчю з дня народження акад. НАН України А.П. Філіппова (17 – 20 листопада 2014 р.). – Х.: ІПМаш НАНУ, 2014. – С. 35. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3478>.

9) **Кондратенко О.М.** Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. Засоби вимірювальної техніки [Текст] / **О.М. Кондратенко**, Н.В. Хохлова, Д.І. Жигер // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (12 – 13 грудня 2014 р.). – Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 2014. – С. 334 – 335. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3480>.

10) Корнева К.В. Апроксимація закону розподілу емпіричних даних [Текст] / К.В. Корнева // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції курсантів та студентів «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (02 – 05 березня 2015 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 331. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

11) **Вамболь С.О.** Моторний випробувальний стенд як джерело факторів небезпеки експериментальних досліджень [Електронний ресурс] / **С.О. Вамболь**, О.П. Строков, **О.М. Кондратенко**, Н.В. Хохлова, Г.С. Стельмах // Матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту" (14 – 16 квітня 2015 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 38 – 41. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3493>.

12) Строков О.П. Система відбору проб відпрацьованих газів дизе-

ля моторного випробувального стенду як об'єкт метрологічних досліджень [Електронний ресурс] / О.П. Строков, **І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко**, О.А. Бурменко // Матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту" (14 – 16 квітня 2015 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 24 – 28. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2241>.

13) **Кондратенко А.Н.** Система отбора проб отработавших газов дизеля моторного испытательного стенда как объект метрологических исследований [Текст] / **А.Н. Кондратенко**, А.О. Бурменко // Материалы XV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» (23 – 24 апреля 2015 г.). – Гомель: УО ГГТУ им. П.О. Сухого, 2015. – С. 202 – 205. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3489>.

14) Стельмах Г.С. Передумови формування моделі управління екологічною безпекою експлуатації дизелів [Електронний ресурс] / Г.С. Стельмах, **С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко** // Збірник тез доповідей Підсумкової науково-практичної конференції слухачів, курсантів і студентів Національної академії Національної Гвардії України. Секція 2: Технічні науки (28 квітня 2015 р.). – Х.: НАНГУ МВСУ, 2015. – С. 69 – 70. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3503>.

15) **Kondratenko A.N.** Fire safety of engine bench researches [Текст] / **A.N. Kondratenko**, N.V. Khokhlova, A.S. Stel'makh // Чрезвычайные ситуации: теория, практика: материалы Междунар. науч.-практ. конф. курсантов (студентов), магистрантов, адъюнктов (аспирантов) (21 мая 2015 г.). – Гомель: ГУО ГИУ МЧС РБ, ГГТУ им. П.О. Сухого, 2015. – С. 215 – 216. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3490>.

16) **Kondratenko O.M.** Aspects of technogenic and ecological safety of the DPF regeneration process [Текст] / **O.M. Kondratenko, S.O. Vambol'**, О.А. Burmenko // XIV Міжнародна науково-методична конференція «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика»: тези доповідей (21 – 22 травня 2015 р.). – Х.: ХНУМГ ім. А.Н. Бекетова, 2015. – С. 139. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3520>.

17) **Кондратенко О.М.** Трансмисія моторного випробувального стенду як джерело небезпеки [Текст] / **О.М. Кондратенко**, Г.С. Стельмах // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIII Міжнародної науково-практичної конференції MICROCAD Ч. I (20 – 22 травня 2015 р.). – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – С. 176. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3486>.

18) **Кондратенко О.М.** Навантажувальний пристрій моторного випробувального стенду як джерело небезпеки [Текст] / **О.М. Кондратенко**, О.В. Єжелій, Ю.В. Маложон // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIII Міжнародної науково-практичної конференції MICROCAD, Ч. I (20 – 22 травня 2015 р.). – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – С. 174. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3487>.

19) **Кондратенко О.М.** Автотракторний дизель 2Ч10,5/12 моторного випробувального стенду як джерело небезпеки [Текст] / **О.М. Кондратенко**, К.В. Семянніков, К.Ю. Мусієнко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIII Міжнародної науково-практичної конференції MICROCAD, Ч. I (20 – 22 травня 2015 р.). – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – С. 175. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3488>.

20) **Вамболь С.А.** Методологический подход к построению системы управления экологической безопасностью эксплуатации энергетических установок [Текст] / **С.А. Вамболь**, А.П. Строков, **В.В. Вамболь**, **А.Н. Кондратенко** // XX – Міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей (05 – 10 вересня 2015 р.). – Х.: НАКУ «ХАІ», 2015. – С. 45. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3485>.

21) **Кондратенко О.М.** Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок ІПМаш у реальних умовах експлуатації [Текст] / **О.М. Кондратенко**, **С.О. Вамболь**, А.М. Авраменко // Матеріали 17-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників «Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору», що проведена в рамках XIV Міжнародного виставкового форуму „Технології захисту/ПожТех–2015” (22 – 23 вересня 2015 р.). – Київ: ІДУЗЦ, 2015. – С. 194 – 196. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3495>.

22) **Кондратенко О.М.** Фактори небезпеки експериментальних досліджень на моторному випробувальному стенді. Трансмісія стенду [Текст] / **О.М. Кондратенко**, **С.О. Вамболь**, О.А. Бурменко // «Іновації у суднобудуванні та океанотехніці»: VI Міжнародна науково-технічна конференція: тези доп. (24 – 26 вересня 2015 р.). – Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова, 2015. – С. 1 – 4. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3504>.

23) **Кондратенко О.М.** Розрахункова оцінка впливу гідравлічного опору ФТЧ ІПМаш на паливну економічність дизеля 2Ч10,5/12 за 8-режимним випробувальним циклом [Текст] / **О.М. Кондратенко**, **С.О. Вамболь**, О.А. Бурменко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (9 – 10 жовтня 2015 р.). – Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗЦ, 2015. – С. 520 – 522. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3522>.

24) **Kondratenko O.M.** The problems of experimental determination of mass emission of particulate matter in exhaust flow of diesel engine [Текст] / **О.М. Kondratenko**, **S.O. Vambol'**, V.M. Semykin // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні і на транспорті», присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ та 85-річчю заснування автомобільного факультету (14 – 15 жовтня 2015 р.). – Х.: ХНАДУ, 2015. – С. 232 – 234. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3516>.

25) **Kondratenko O.M.** Application of beta-distribution in numerical simulation of environmental safety ensuring process [Текст] / **O.M. Kondratenko**, O.A. Burmenko, **S.O. Vambol'**, **I.V. Mischenko** // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих вчених «Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах», присвяченої 85-річчю ХНАДУ (28 – 29 жовтня 2015 р.). – Х.: ХНАДУ, 2015. – С. 243 – 244. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3518>.

26) **Kondratenko O.M.** Optical devices for particulate matter content in internal combustion engines exhaust gas determination / **O.M. Kondratenko**, O.A. Burmenko // Міські і регіональні транспортні проблеми: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (17 – 19 листопада 2015р.). – Х.: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – С. 6. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3521>.

27) **Вамболь С.О.** Моторний випробувальний стенд як джерело факторів небезпеки при проведенні експериментальних досліджень. Опис стенду [Електронний ресурс] / **С.О. Вамболь**, **О.М. Кондратенко**, Н.В. Дейнеко // Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки: Всеукраїнська науково-технічна Інтернет-конференція молодих учених та студентів: Праці (26 – 27 листопада 2015 р.). – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3512>.

28) **Vambol' S.O.** Engine test bench as a source of danger factors in experimental researches [Текст] / **S.O. Vambol'**, **O.M. Kondratenko**, N.V. Dejneko // Актуальні задачі сучасних технологій: збірн. тез доп. IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (25 – 26 листопада 2015 р.). – Т. 1. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Полюя, 2015. – С. 157 – 159. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3513>.

29) **Кондратенко А.Н.** Математическая модель гидравлического сопротивления ФТЧ дизеля в реальных условиях эксплуатации [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (04 грудня 2015 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 66 – 67. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3510>.

30) **Кондратенко А.Н.** Моторный испытательный стенд как источник факторов опасности экспериментальных исследований [Текст] / **А.Н. Кондратенко**, **С.А. Вамболь**, Н.В. Дейнеко // «Муниципальная энергетика: проблемы, решения»: матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції (24 грудня 2015 р.). – Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова, 2015. – С. 105 – 109. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2258>.

31) Ревенко Р.Г. Оптичні прилади для визначення вмісту твердих частинок у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згорання [Текст] / Р.Г. Ревенко, А.І. Алєйніков // «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»: матеріали Міжнародної науково-практичної конфе-

ренції молодих учених (06–07 квітня 2016 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 367. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

32) Скринник К.В. Вагові методи визначення масового викиду твердих частинок з потоком відпрацьованих газів дизельних двигунів внутрішнього згоряння [Текст] / К.В. Скринник, Д.В. Рубан // «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (06 – 07 квітня 2016 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 369. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

33) Закренична Д.Ю. Прилади для визначення концентрації незгорілих вуглеводнів та оксидів азоту у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згоряння [Текст] / Д.Ю. Закренична, Л.Г. Цой // «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (06 – 07 квітня 2016 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 341. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36/>

34) Бурменко А.А. Пожарная безопасность проведения стендовых моторных испытаний [Текст] / А.А. Бурменко, **А.Н. Кондратенко** // Матеріали X Международной научно-практической конференции молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (07 – 08 апреля 2016 г.). – Минск: Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь, 2016. – С 24. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3540>.

35) Скрынник К.В. Весовые методы определения массового выброса твердых частиц с потоком отработавших газов [Текст] / К.В. Скрынник, Д.В. Рубан, **А.Н. Кондратенко** // Матеріали VII-ї студентської наукової інтернет-конференції Національного юридичного університету імені Ярослава Мудрого «Безпека людини і реалізація права на працю в сучасних умовах життєдіяльності» (21 – 22 квітня 2016 р.). – Х.: Нац. юрид. ун-т, 2016. – С. 372 – 376. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3546>.

36) Закреничная Д.Ю. Приборы для определения концентрации газообразных поллютантов в отработавших газах ДВС [Текст] / Д.Ю. Закреничная, Л.А. Цой, **А.Н. Кондратенко** // Матеріали щорічної міжнародної науково-технічної конференції «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (студентська секція) (27 – 28 квітня 2016 р.). – Х.: ХНУБА, 2016. – С. 157 – 158. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3558>.

37) **Kondratenko O.M.** DPF IPMash on engine test bench as a source of technogenic danger [Текст] / **O.M. Kondratenko**, R.G. Revenko, A.I. Aleynikov // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIV Міжнародної науково-практичної конференції MICROCAD, Ч. I (18 – 20 травня 2016 р.). – Х.: НТУ "ХПІ", 2016. – С. 173. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3538>.

38) **Вамболь С.А.** Аспекты пожарной и взрывной безопасности

процесса регенерации ФТЧ дизелей [Текст] / **С.А. Вамболь, А.Н. Кондратенко** // Материалы Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» «ЧС–2016» (19 – 20 мая 2016 г.). – Гомель: ГУО Гомельский инженерный институт, 2016. – С. 172 – 174. – Режим доступа: <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3536>.

39) **Кондратенко А.Н.** Концепция оценки эффективности управления экологической безопасностью процесса эксплуатации энергетических установок с поршневым ДВС [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // XXI Міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей (05 – 10 вересня 2016 р.). – Х.: НАКУ «ХАІ», 2016. – С. 37. – Режим доступа: <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3532>.

40) **Вамболь С.О.** Передумови застосування математичного апарату бета-розподілу для описання характеристик дисперсної фази аерозолію відпрацьованих газів дизелів [Текст] / **С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко, О.А. Бурменко** // 4-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»: збірник матеріалів (21 – 23 вересня 2016 р.). – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2016. – С. 174. – Режим доступа: <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3533>.

41) **Вамболь С.О.** Обґрунтування описання характеристик дисперсної фази аерозолію відпрацьованих газів дизелів математичним апаратом бета-розподілу [Текст] / **С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко, О.А. Бурменко** // Матеріали 18 Всеукраїнської науково-практичної конференції “Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до європейського простору”, що проведена в рамках XV Міжнародного виставкового форуму „Технології захисту/ПожТех–2016” (11 – 12 жовтня 2016 р.). – К.: ІДУСЦЗ, 2016. – С. 72 – 75. – Режим доступа: <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3551>.

42) **Кондратенко О.М.** Концепція критеріальної оцінки ефективності заходів щодо підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації транспорту [Текст] / **О.М. Кондратенко, В.О. Метельов** // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми екологічної безпеки»: Збірник тез доповідей (12 – 14 жовтня 2016 р.). – Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2016. – С. 54. – Режим доступа: <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3537>.

43) **Кондратенко О.М.** Алгоритм оцінки ефективності функціонування системи управління екологічною безпекою процесу експлуатації енергетичних установок з поршневим ДВЗ [Текст] / **О.М. Кондратенко, О.В. Метельов** // Матеріали Міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців», присвяч. 85-річчю кафедри автомобілів та 100-річчю з дня народження проф. А.Б. Гредескула (20 – 21 жовтня 2016 р.). – Х.: ХНАДУ, 2016. – С. 212 – 213. – Режим доступа: <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3553>.

44) **Вамболь С.О.** Ієрархічне місце критерію для оцінювання пали-

во-екологічних аспектів застосування фільтрів твердих частинок на авто-тракторних дизелях [Текст] / **С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко**, М.А. Ачкасова, О.А. Поліканова // Матеріали Міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців», присвяч. 85-річчю кафедри автомобілів та 100-річчю з дня народження проф. А.Б. Гредескула (20 – 21 жовтня 2016 р.). – Х.: ХНАДУ, 2016. – С 201 – 202. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3554>.

45) Закренична Д.Ю. Classification of instruments for determination of gaseous pollutants concentrations in ICE exhaust gases [Text] / Д.Ю. Закренична, Л.О. Цой, **О.М. Кондратенко** // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції студентів, магістрантів, аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки» (20 – 21 жовтня 2016 р.). – Х.: ХНАДУ, 2016. – С 82 – 83. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3556>.

46) Скринник К.В. Classification of gravimetric methods for determination of particulate matter mass emission in exhaust gas flow of diesel internal combustion engines [Text] // К.В. Скринник, Д.В. Рубан, **О.М. Кондратенко** // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції студентів, магістрантів, аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки» (20 – 21 жовтня 2016 р.). – Х.: ХНАДУ, 2016. – С 201 – 203. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3557>.

47) **Вамболь С.О.** Ієрархічне місце критерію для оцінювання паливо-екологічних аспектів застосування фільтрів твердих частинок на авто-тракторних дизелях [Текст] / **С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко**, М.А. Ачкасова, О.В. Поліканова // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасний стан та проблеми двигунобудування», присв. 85-ій річниці кафедри ДВЗ НУК (23 – 25 листопада 2016 р.). – Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова, 2016. – С. 35 – 37. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3544>.

48) **Вамболь С.О.** Підходи до реалізації алгоритму критеріальної оцінки ефективності управління екологічною безпекою процесу експлуатації поршневих ДВЗ [Текст] / **С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко**, О.В. Метельов // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасний стан та проблеми двигунобудування», присв. 85-ій річниці кафедри ДВЗ НУК (23 – 25 листопада 2016 р.). – Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова, 2016. – С. 37 – 39. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3545>.

49) **Vambol S.O.** Background of mathematical tools beta distribution application to certain characteristics of aerosol diesel exhaust gases dispersed phase [Text] / **S.O. Vambol, I.V. Mishchenko, A.N. Kondratenko** // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми технологічно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика» (24 листопада 2016 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 23 – 25. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3547>.

50) **Міщенко І.В.** Застосування математичного апарату бета- розпо-

ділу для описання впливу рівня теплової напруженості на розміри твердих частинок у відпрацьованих газах дизелів [Текст] / **І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко** // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика» (24 листопада 2016 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 68 – 70. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3548>.

51) **Кондратенко О.М.** Порівняльне дослідження точності залежностей між димністю відпрацьованих газів дизеля та масовим викидом твердих частинок [Текст] / **О.М. Кондратенко, Н.В. Дейнеко** // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика» (24 листопада 2016 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 54 – 55. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3549>.

52) **Вамболь С.О.** Обґрунтування застосування комплексного паливо-екологічного критерію для оцінки заходів щодо оснащення дизеля 2Ч10,5/12 фільтром твердих частинок ІПМаш [Текст] / **С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко** // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика» (24 листопада 2016 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 25 – 27. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3550>.

53) **Кондратенко О.М.** Особливості застосування комплексного паливно-екологічного критерію для оцінювання ефективності заходів з підвищення рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок з автомобільним поршнеvim ДВЗ шляхом обладнання його ФТЧ / **О.М. Кондратенко** // Сбірник секційних доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика» (24 листопада 2016 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 22 – 27. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

54) **Kondratenko O.M.** Algorithm of complex ecological and economical assessment of PP with PICE exploitation process efficiency [Text] / **O.M. Kondratenko** // Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присв. 140-річчю з дня народж. акад. НАНУ Г.Ф. Проскури та 90-річчю з дня народж. акад. НАНУ В.Л. Рвачова (21 – 25 листопада 2016 р.). – Х.: ІПМаш НАНУ, 2016. – С. 59. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3542>.

55) Ачкасова М.А. Критеріальне оцінювання паливо-екологічної ефективності застосування ФТЧ для автотракторного дизеля [Текст] / М.А. Ачкасова, О.В. Поліканова // Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присв. 140-річчю з дня народж. акад. НАНУ Г.Ф. Проскури та 90-річчю з дня народж. акад. НАНУ В.Л. Рвачова (21 – 25 листопада 2016 р.). – Х.: ІПМаш НАНУ, 2016. – С. 56. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

56) Skrynnyk K.V. Gravimetric methods for determination of particulate

matter mass emission in exhaust gas flow of diesel internal combustion engines [Text] / K.V. Skrynnyk, D.V. Ruban, **A.N. Kondratenko** // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. II Международной научно-технической конференции (6 – 8 декабря 2016 г.). – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 178 – 181. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3534>.

57) Zakrenychnaja D.Ju. Instruments for determinatin of gaseous pollutants concentrations in ice exhaust gases [Text] / D.Ju. Zakrenychnaja, L.A. Tsoy, **A.N. Kondratenko** // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. II Международной научно-технической конференции (6 – 8 декабря 2016 г.). – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 181 – 183. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3535>.

58) **Кондратенко О.М.** Розрахункова оцінка впливу гідравлічного опору ФТЧ ІПМаш на паливну економічність дизеля 2Ч10,5/12 за 8-режимним випробувальним циклом [Текст] / **О.М. Кондратенко** // Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Наукові засади підготовки фахівців природничого, інженерно-педагогічного та технологічного напрямків» (3 – 8 квітня 2017 р.). – Бердянськ: БДПУ, 2017. – С. 182 – 184. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3448>.

59) **Кондратенко А.Н.** Основные результаты комплексной критериальной оценки автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 [Текст] / **А.Н. Кондратенко**, М.А. Ачкасова, О.В. Поликанова, **С.А. Вамболь** // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов в области проектирования предприятий горно-металлургического комплекса, энерго- и ресурсосбережения, защиты окружающей природной среды «Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды» (22 – 23 марта 2017 г.). – Х.: ГП «УкрНТЦ «ЭНЕРГО-СТАЛЬ». – С. 50 – 53. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3449>.

60) Бурменко О.А. Результаты оцінювання співвідношення паливних і екологічних складових комплексного паливо-екологічного критерію [Текст] / О.А. Бурменко // «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (29 – 30 березня 2017 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2017. – С. 404. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

61) **Kondratenko O.M.** The results of complex criterial fuel and ecological assessment of autotractor diesel engine 2Ch10.5/12 [Text] / **O.M. Kondratenko** // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXV Міжнародної науково-практичної конференції MICROCAD-2017, у 4 ч., Ч. I (17 – 19 травня 2017 р.). – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 240. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3451>.

62) **Kondratenko O.M.** Main results of complex criterial fuel and ecological assessment of diesel engine 2Ch10.5/12 for emergency and rescue vehicles [Text] / **O.M. Kondratenko**, M.A. Achkasova, O.V. Polikanova // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы» (17 марта 2017 г.). – Кокшетау: РГУ КТИ КЧС МВД РК, 2017. – С. 146 – 150. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3450>.

63) **Кондратенко А.Н.** Результаты комплексного топливно-экологического критериального оценивания дизеля 2Ч10,5/12 для аварийно-спасательной техники [Текст] / **А.Н. Кондратенко** // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Проблемы техносферной безопасности – 2017» (11 – 12 апреля 2017 г.). – М.: Академия ГПС МЧС России. – С 61 – 66. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3453>.

64) **Кондратенко О.М.** Обґрунтування вибору набору складових комплексного паливо-екологічного критерію [Текст] / **О.М. Кондратенко** // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (29 – 30 березня 2017 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2017. – С. 420. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3452>.

65) **Кондратенко О.М.** Розробка моделі експлуатації поршневого двигуна внутрішнього згоряння пожежного автомобіля [Текст] / **О.М. Кондратенко**, С.М. Бігун // Збірник тез доповідей XV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми екологічної безпеки» (11 – 13 жовтня 2017 р.). – Кременчук: КрНУ. – С. 121. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6077>.

66) **Кондратенко О.М.** Аналіз критеріальних апаратів для оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації автотранспортних засобів [Текст] / **О.М. Кондратенко**, В.М. Семчук // Збірник тез доповідей XV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми екологічної безпеки» (11 – 13 жовтня 2017 р.). – Кременчук: КрНУ, 2017. – С. 122. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6079>.

67) **Кондратенко О.М.** Вплив витрат палива поршневого ДВЗ на фактори екологічної безпеки процесу його безаварійної експлуатації [Текст] / **О.М. Кондратенко**, С.М. Бігун, В.М. Семчук // Наукові праці Міжнародної науково-технічної конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців», проведена з нагоди Дня автомобіліста і дорожника та присвячена 50-річчю кафедри ДВЗ (19 – 20 жовтня 2017 р.). – Х.: ХНАДУ, 2017. – С. 198 – 199. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6088>.

68) Бігун С.М. Класифікація критеріальних апаратів для комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок з поршневим ДВЗ [Текст] / С.М. Бігун, В.М. Семчук, **О.М. Кондратенко** // Молодь: наука та інновації: Матеріали V-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих уче-

них (28 – 29 листопада 2017 р.). – Дніпро: ДВНЗ «НГУ», 2017. – Т. 10. – С. 10-92 – 10-93. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6091>.

69) **Вамболь С.А.** Влияние расхода топлива поршневого ДВС на факторы уровня экологической безопасности эксплуатации единицы аварийно-спасательной техники [Текст] / **С.А. Вамболь, А.Н. Кондратенко, С.М. Бигун, В.М. Семчук** // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность», посвященной Году гражданской обороны (29 – 30 ноября 2017 г.). – Иваново, 2017. – С. 251 – 254. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

70) **Kondratenko O.M.** Influence of piston ice fuel consumption on ecological safety factors of its accident-free exploitation process [Text] / **O.M. Kondratenko** // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (28 – 29 березня 2018 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 256. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

71) Bihun S.M. Development of exploitation model for piston ICE of emergency and rescue vehicle [Text] / S.M. Bihun // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (28 – 29 березня 2018 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 255. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

72) Semchuk V.M. Improvement of classification of criterial apparatuses for assessment of ecological safety level of operation of piston ICE of emergency and rescue technique units [Text] / V.M. Semchuk // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (28 – 29 березня 2018 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 255. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

73) Карабута С.О. Передумови розрахункового критеріального оцінювання кількості режимів у стендових моторних дослідженнях [Текст] / С.О. Карабута // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (28 – 29 березня 2018 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 270. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

74) Сіваков М.І. Особливості випробувальних циклів поршневих двигунів внутрішнього згоряння [Текст] / М.І. Сіваков // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (28 – 29 березня 2018 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 296. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

75) Корнева К.В. Моделювання дальності та висоти підйому гідравлічного струменя за розподілів значень діаметру насадки та кута нахилу пожежного ствола [Текст] / К.В. Корнева // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи

забезпечення цивільного захисту» (28 – 29 березня 2018 р.). – Х.: НУЦЗУ, 2018. – С. 277. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>.

Конкурсні студентські наукові роботи

1) Апроксимація закону розподілу емпіричних даних за допомогою бета-розподілу: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення (Луцький національний технічний університет) [Рукопис] / К.В. Корєнєва, наук. кер. – **І.В. Міщенко**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2014. – 62 с. (Перемога у I турі, участь у II турі).

2) Критеріальне оцінювання паливно-екологічних аспектів застосування фільтрів твердих частинок на енергетичних установках з автотракторними дизелями: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: двигуни та енергетичні установки (Національний технічний університет «ХПІ») [Рукопис] / М.А. Ачкасова, О.В. Поліканова, наук. кер. – **О.М. Кондратенко**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 33 с. (Перемога у I турі, перемога у II турі – дипломи II ступеня).

3) Критеріальне оцінювання паливно-екологічних аспектів застосування фільтрів твердих частинок на транспортних засобах з автотракторними дизелями: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: транспортні технології (за видами транспорту) (Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського) [Рукопис] / М.А. Ачкасова, О.В. Поліканова, наук. кер. – **С.О. Вамболь**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 33 с. (Перемога у I турі, перемога у II турі – дипломи II ступеня).

4) Дослідження особливостей застосування комплексного паливно-екологічного критерію для оцінювання ефективності експлуатації енергетичних установок: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: транспортні технології (за видами транспорту) (Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського) [Рукопис] / Я.О. Гайдуков, К.С. Персіяненко, наук. кер. – **О.М. Кондратенко**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 28 с. (Перемога у I турі, участь у II турі).

5) Дослідження ефективності експлуатації автотракторних дизелів з фільтром твердих частинок узагальненою функцією бажаності: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: транспортні технології (за видами транспорту) (Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського) [Рукопис] / В.І. Шульженко, І.О. Новосе-

льська, наук. кер. – **І.В. Міщенко**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 30 с. (Перемога у I турі, участь у II турі).

6) Criteria-based assessment of ecological efficiency of application of particulate matter filters for diesel engines: scientific work that submitted for participation in I and II tour of International competition of students scientific works: speciality – 101 Ecology (Ostrogradsky Kremenchuk National University) [Manuscript] / M.A. Achkasova, T.A.-o. Inglably, science advisor – **О.М. Кондратенко**. – Kharkiv: National University of Civil Defense of Ukraine, 2017 – 35 p. (Перемога у I турі, перемога у II турі – диплом III ступеня).

7) Створення моделі експлуатації поршневого двигуна аварійно-рятувального транспортного засобу: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: Енергетичне машинобудування (Національний технічний університет «ХПІ») [Рукопис] / В.М. Семчук, С.М. Бігун, наук. кер. – **О.М. Кондратенко**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2017. – 40 с. (Перемога у I турі, участь у II турі).

8) Створення моделі експлуатації аварійно-рятувального транспортного засобу з поршневим двигуном: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: Транспортні технології (Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського) [Рукопис] / С.М. Бігун, В.М. Семчук, наук. кер. – **О.М. Кондратенко**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2017. – 40 с. (Перемога у I турі, перемога у II турі – дипломи III ступеня).

9) Описання бета-розподілом викидів твердих частинок дизеля з урахуванням точності димоміра: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: Енергетичне машинобудування (Національний технічний університет «ХПІ») [Рукопис] / К.В. Корєнєва, Д.М. Баштова, наук. кер. – **І.В. Міщенко**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2017. – 23 с. (Перемога у I турі, перемога у II турі – дипломи III ступеня).

10) Вибір раціональної кількості режимів у стендових моторних випробуваннях: робота, подана на I та II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: Енергетичне машинобудування (Національний технічний університет «ХПІ») [Рукопис] / К.С. Нужна, О.В. Савченко, наук. кер. – **С.О. Вамболь**. – Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2017. – 27 с. (Перемога у I турі, участь у II турі).

11) Improvement of accuracy of obtaining of values of ecological safety factors of exploitation process of power plants with piston ICE: scientific work that submitted for participation in I and II tour of International competition of students scientific works: speciality – 101 Ecology (Ostrogradsky Kremenchuk National University) [Manuscript] / D.M. Bashtova, K.A.-o. Musayev science advisor – **S.O. Vambol**. – Kharkiv: National University of Civil Defense of Ukraine, 2018 – 24 p. (Перемога у I турі, участь у II турі).

Наукові конференції та конгреси, на яких здійснювалась апробація матеріалів монографії

1) V Международная научно-практическая конференция «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (18 – 19 сентября 2014 г., ФГБОУ ВПО Воронежский ин-т ГПС МЧС РФ, Воронеж, **Российская Федерация**).

2) Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми екологічної безпеки» (8 – 9 жовтня 2014 р., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна).

3) Международная научно-практическая конференция «Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля» (15 – 16 жовтня 2014 р., ХНАДУ, Харків, Україна).

4) Конференція молодих вчених та спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування», присвяч. 115-річчю з дня народження акад. НАН України А.П. Філіппова (17 – 20 листопада 2014 р., ІПМаш НАНУ, Харків, Україна).

5) VI Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (12 – 13 грудня 2014 р., ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, Черкаси, Україна).

6) Міжнародна науково-практична конференція курсантів та студентів «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (02 – 05 березня 2015 р., НУЦЗУ, Харків, Україна).

7) Підсумкова конференція II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення (27 березня 2015 р., ЛНТУ, Луцьк, Україна).

8) III Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (14 – 16 квітня 2015 р., ВНТУ, Вінниця, Україна).

9) VI Всероссийская научно-практическая конференция курсантов, слушателей, студентов и молодых ученых с международным участием «Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (17 апреля 2015 г., ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России, Воронеж, **Российская Федерация**).

10) XV Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» (23 – 24 апреля 2015 г., УО ГГТУ им. П.О. Сухого, Гомель, **Республика Беларусь**).

11) Підсумкова науково-практична конференція слухачів, курсантів і студентів Національної академії Національної Гвардії України (28 квітня 2015 р., НАНГУ МВСУ, Харків, Україна).

12) Международная научно-практическая конференция курсантов (студентов), магистрантов, адъюнктов (аспирантов) «Чрезвычайные си-

туації: теорія, практика» (21 мая 2015 г., ГУО ГИУ МЧС РБ, ГГТУ им. П.О. Сухого, Гомель, **Республика Беларусь**).

13) XIV Міжнародна науково-методична конференція «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (21 – 22 травня 2015 р., ХНУМГ ім. А.Н. Бекетова, Харків, Україна).

14) XXIII Міжнародна науково-практична конференція MICROCAD «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (20 – 22 травня 2015 р., НТУ «ХПІ», Храків, Україна).

15) XX Міжнародний конгрес двигунобудівників (05 – 10 вересня 2015 р., НТУ «ХПІ», НАКУ «ХАІ», Храків, Україна).

16) 17 Всеукраїнська науково-практична конференція рятувальників «Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору», що проведена в рамках XIV Міжнародного виставкового форуму «Технології захисту/ПожТех–2015» (22 – 23 вересня 2015 р., ІДУЗЦ, Київ, Україна).

17) VI Міжнародна науково-технічна конференція «Іновації у суднобудуванні та океанотехніці» (24 – 26 вересня 2015 р., НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв, Україна).

18) Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (9 – 10 жовтня 2015 р., ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗу, Черкаси, Україна).

19) Міжнародна науково-практична конференція «Новітні технології в автомобілебудуванні і на транспорті», присвяч. 85-річчю заснування ХНАДУ та 85-річчю заснування автомобільного факультету (14 – 15 жовтня 2015 р., ХНАДУ, Харків, Україна).

20) Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах», присвяч. 85-річчю ХНАДУ (28 – 29 жовтня 2015 р., ХНАДУ, Харків, Україна).

21) IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (15 – 16 декабря 2015 г., Воронеж, ФГБОУ ВПО Воронежский ин-т ГПС МЧС России, **Российская Федерация**).

22) Міжнародна науково-практична конференція «Міські і регіональні транспортні проблеми» (17 – 19 листопада 2015 р., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, Харків, Україна).

23) Всеукраїнська науково-технічна Інтернет-конференція молодих учених та студентів «Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки» (26 – 27 листопада 2015 р., ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, Полтава, Україна).

24) IV Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (25 – 26 листопада 2015 р., ТНТУ ім. І. Полюя, Тернопіль, Україна).

25) Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (04 грудня 2015 р., НУЦЗУ, Харків,

Україна).

26) VI Міжнародна науково-технічна конференція «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення» (24 грудня 2015 р., НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв, Україна).

27) Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (06 – 07 квітня 2016 р., НУЦЗУ, Харків, Україна).

28) X Международная научно-практическая конференция молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (07 – 08 апреля 2016 г., Командно-инженерный институт МЧС РБ, Минск, **Республика Беларусь**).

29) VII Студентська наукова інтернет-конференція Національного юридичного університету імені Ярослава Мудрого «Безпека людини і реалізація права на працю в сучасних умовах життєдіяльності» (21 – 22 квітня 2016 р., НЮУ ім. Я. Мудрого, Харків, Україна).

30) Щорічна міжнародна науково-технічна конференція «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (студентська секція) (27 – 28 квітня 2016 р., ХНУБА, Харків, Україна).

31) XXIV Міжнародна науково-практична конференція MICROCAD «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (18 – 20 травня 2016 р., НТУ «ХПІ», Харків, Україна).

32) Международная научно-практическая конференция «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» «ЧС – 2016» (19 – 20 мая 2016 г., ГУО Гомельский инженерный институт МЧС РБ, Гомель, **Республика Беларусь**).

33) XXI Міжнародний конгрес двигунобудівників (05 – 10 вересня 2016 р., НТУ «ХПІ», НАКУ «ХАІ», Храків, Україна).

34) 4-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (21 – 23 вересня 2016 р., НУ «Львівська політехніка», Львів, Україна).

35) 18 Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до європейського простору», що проведена в рамках XV Міжнародного виставкового форуму «Технології захисту/ПожТех–2016» (11 – 12 жовтня 2016 р., ІДУСЦЗ, Київ, Україна).

36) XIII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми екологічної безпеки» (12 – 14 жовтня 2016 р., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна).

37) Міжнародна науково-практична та науково-методична конференція «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців», присвяч. 85-річчю кафедри автомобілів та 100-річчю з дня народження проф. А.Б. Гредескула (20 – 21 жовтня 2016 р., ХНАДУ, Харків, Україна).

38) II Міжнародна науково-практична конференція студентів, магістрантів, аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки» (20 – 21 жовтня 2016 р., ХНАДУ, Харків, Україна).

39) Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий» (14 – 15 ноября 2016 г., ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, **Российская Федерация**).

40) Конференція молодих вчених та спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування», присв. 140-річчю з дня народж. акад. НАНУ Г.Ф. Проскури та 90-річчю з дня народж. акад. НАНУ В.Л. Рвачова (21 – 25 листопада 2016 р., ІПМаш НАНУ, Харків, Україна).

41) XI Международная научно-практическая конференция «Пожарная и аварийная безопасность», посвящ. Году пожарной охраны (24 – 25 ноября 2016 г., ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, **Российская Федерация**).

42) IV Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасний стан та проблеми двигунобудування», присв. 85-ій річниці кафедри ДВЗ НУК (23 – 25 листопада 2016 р., НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв, Україна).

43) Всеукраїнська науково-практична конференція «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика» (24 листопада 2016 р., НУЦЗУ, Харків, Україна).

44) II Международная научно-техническая конференция «Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды» (6 – 8 декабря 2016 г., БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, **Российская Федерация**).

45) V Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (15 – 16 дек. 2016 г., ФГБОУ ВПО Воронежский ин-т ГПС МЧС России, Воронеж, **Российская Федерация**).

46) I Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція «Наукові засади підготовки фахівців природничого, інженерно-педагогічного та технологічного напрямків» (3 – 8 квітня 2017 р., БДПУ, Бердянськ, Україна).

47) VI Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов в области проектирования предприятий горно-металлургического комплекса, энерго- и ресурсосбережения, защиты окружающей природной среды «Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды» (22 – 23 марта 2017 г., ГП «УкрНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ», Харьков, Украина).

48) Підсумкова конференція II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: транспортні технології (за видами транспорту) (29 – 30 березня 2017 р., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна).

49) Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (29 – 30 березня 2017 р., НУЦЗУ, Харків, Україна).

50) Підсумкова конференція II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: двигуни та енергетичні установки (3 – 5 квітня 2017 р., Харків, НТУ «ХПІ», Харків, Україна).

51) XXV Міжнародної науково-практичної конференції MICROCAD-2017 «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (17 – 19 травня 2017 р., НТУ «ХПІ», Харків, Україна).

52) V Международная научно-практическая конференция «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы» (17 марта 2017 г., РГУ КТИ КЧС МВД РК, Кокшетау, **Республика Казахстан**).

53) VI Международная научно-практическая конференция «Проблемы техносферной безопасности – 2017» (11 – 12 апреля 2017 г., Академия ГПС МЧС России, Москва, **Российская Федерация**).

54) Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (29 – 30 березня 2017 р., НУЦЗУ, Харків, Україна).

55) Підсумкова Skure-конференція Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності 101 «Екологія» (2 червня 2017 р., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна).

56) VIII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (28 – 29 сент. 2017 г., ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, Воронеж, **Российская Федерация**).

57) XV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми екологічної безпеки» (11 – 13 жовтня 2017 р., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна).

58) Міжнародна науково-технічна конференція «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців», проведена з нагоди Дня автомобіліста і дорожника та присвячена 50-річчю кафедри ДВЗ (19 – 20 жовтня 2017 р., ХНАДУ, Харків, Україна).

59) V Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації» (28 – 29 листопада 2017 р., ДВНЗ «НГУ», Дніпро, Україна).

60) XII Международная научно-практическая конференция «Пожарная и аварийная безопасность», посвящ. Году гражданской обороны (29 – 30 ноября 2017 г., Ивановская инженерно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, **Российская Федерация**).

61) Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (28 – 29 березня 2018 р., НУЦЗУ, Харків, Україна).

62) Підсумкова конференція II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: двигуни та енергетичні установки (3 – 5 квітня 2018 р., Харків, НТУ «ХПІ», Харків, Україна).

нтських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: транспортні технології (за видами транспорту) (10 – 12 квітня 2018 р., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна).

63) Підсумкова конференція II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук; галузь науки: Енергетичне машинобудування (23 – 25 квітня 2018 р., НТУ «ХПІ», Харків, Україна).

64) Підсумкова Skype-конференція Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності 101 «Екологія» (23 травня 2018 р., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна).

Авторський колектив (Team of authors)

Вамболь Сергій Олександрович,

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної механіки факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Область наукових інтересів: механіка деформованого твердого тіла, прикладна механіка, механіка текучих середовищ, екологічна безпека



Vambol Sergij Olexandrovych,

Dr.Sci.(Tech.), Professor, Head of Dept. of Applied Mechanics of Technogenic and Ecological Safety Faculty of National University of Civil Protection of Ukraine of the State Emergency Service of Ukraine

Area of scientific interests: mechanics of deformable solids, applied mechanics, mechanics of liquids, ecological safety

ORCID ID: 0000-0002-8376-9020

Scopus ID: 57144568200

ResearcherID: V-8528-2017

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=YmPqUp0AAAAJ&hl=uk>

e-mail: sergvambol@gmail.com

Вамболь Віола Владиславівна,

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Область наукових інтересів: охорона праці, утилізація, поводження з відходами, екологічна безпека



Vambol Viola Vladyslavivna,

Dr.Sci.(Tech.), Associate Professor, Professor of Dept. of Occupational, Technogenic and Environmental Safety of Technogenic and Ecological Safety Faculty of National University of Civil Protection of Ukraine of the State Emergency Service of Ukraine

Area of scientific interests: labour protection, utilization, waste threatment, ecological safety

ORCID ID: 0000-0002-8229-3956

Scopus ID: 57163900300

ResearcherID: V-7698-2017

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=-U9bCaMAAAAJ&hl=uk>

e-mail: violavambol@gmail.com

Кондратенко Олександр Миколайович,

кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної механіки факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України Державної служби України з надзвичайних ситуацій, провідний науковий співробітник за молодіжним науковим проектом Бердянського державного педагогічного університету Міністерства освіти і науки України

Область наукових інтересів: двигуни внутрішнього згоряння, прикладна механіка, механіка текучих середовищ, екологічна безпека



Kondratenko Olexandr Mykolajovych,

Cand.Sci.(Tech.), Associate Professor of Dept. of Applied Mechanics of Technogenic and Ecological Safety Faculty of National University of Civil Protection of Ukraine of the State Emergency Service of Ukraine, Lead Researcher of Youth Research Project of Berdyansk State Pedagogical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine

Area of scientific interests: internal combustion engines, applied mechanics, mechanics of liquids, ecological safety

ORCID ID: 0000-0001-9687-0454

Scopus ID: 57144373800

ResearcherID: D-7346-2018

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=0llbJMCAAJ&hl=uk>
e-mail: kondratenkoom2016@gmail.com

Міщенко Ігор Вікторович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної механіки факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Область наукових інтересів: динаміка та міцність машин, метрологія, прикладна механіка, технічна механіка текучих середовищ



Mishchenko Igor Viktorovych

Cand.Sci.(Tech.), Associate Professor, Associate Professor of Dept. of Applied Mechanics of Technogenic and Ecological Safety Faculty of National University of Civil Protection of Ukraine of the State Emergency Service of Ukraine

Area of scientific interests: dynamics and strength of machines, metrology, applied mechanics, mechanics of liquids

ORCID ID: 0000-0001-8617-7023

https://scholar.google.com.ua/citations?user=gu_whSYAAAAJ&hl=uk
e-mail: ivmishch@mail.ru

Для нотаток

Для нотаток

Наукове видання

**Вамболь Сергій Олександрович
Вамболь Віола Владиславівна
Кондратенко Олександр Миколайович
Міщенко Ігор Вікторович**

**КРИТЕРІАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ
РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

Редактор О.М. Кондратенко