

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
Кафедра прикладної механіки та технологій захисту
навколишнього середовища

О. М. Кондратенко, В. Ю. Колосков, Ю. Ф. Деркач, С. А. Коваленко

**ФІЗИЧНЕ І МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ПРОЦЕСІВ У ФІЛЬТРАХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК
ПРИ ПРАКТИЧНОМУ ЗАСТОСУВАННІ
КРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

Харків 2020

УДК 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088

ББК 39.354 : 20.18

К64

О. М. Кондратенко, канд. техн. наук, доцент,
В. Ю. Колосков, канд. техн. наук, доцент,
Ю. Ф. Деркач, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.,
С. А. Коваленко, магістр

Рецензенти:

д-р техн. наук, професор **І. В. Парсаданов**,
д-р техн. наук, доцент **О. П. Крот**,
канд. техн. наук, ст. наук. співроб. **А. М. Авраменко**

Затверджено на засіданні вченої ради НУЦЗ України
як монографію (протокол № 02 від 29 жовтня 2020 року)

Кондратенко, О. М.

К64

Фізичне і математичне моделювання процесів у фільтрах твердих частинок при практичному застосуванні критеріального оцінювання рівня екологічної безпеки [Текст] : монографія / О. М. Кондратенко, В. Ю. Колосков, Ю. Ф. Деркач, С. А. Коваленко. – Х. : НУЦЗ України, 2020. – 522 с.

ISBN

Монографію присвячено питанням здійснення математичного моделювання процесів у фільтрувальному елементі фільтра твердих частинок дизельного поршневого двигуна внутрішнього згоряння, фізичного моделювання вказаних процесів на безмоторній дослідницькій установці та експериментальної верифікації результатів такого моделювання на моторному випробувальному стенді з автотракторним дизелем 2Ч10,5/12, а також аспектам практичного застосування розрахункового критеріального оцінювання показників рівня екологічної безпеки процесу безаварійної експлуатації енергоустановок з ПДВЗ на основі вдосконаленого математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова та його формули перерахунку для потоку відпрацьованих газів.

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

Монографія доступна для ознайомлення у цифровому репозитарії НУЦЗ України за адресою <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/36>

Іл. 256 Табл. 64. Бібліогр.: 140 назв.

УДК 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088

ББК 39.354 : 20.18

ISBN

© Кондратенко О.М., Колосков В.Ю.,
Деркач Ю.Ф., Коваленко С.А., 2020
© Національний університет цивільного
захисту України, 2020
© Дизайн обкладинки: Огурцов К.В.,
Кондратенко О.М.

STATE EMERGENCY SERVICE of UKRAINE
NATIONAL UNIVERSITY of CIVIL DEFENCE of UKRAINE
Department of Applied Mechanics
and Environment Protection Technologies

O. M. Kondratenko, V. Yu. Koloskov, Yu. F. Derkach, S. A. Kovalenko

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING
OF PROCESSES IN PARTICULATE MATTER FILTER
IN PRACTICAL APPLICATION OF CRITERIA-BASED
ASSESSMENT OF ECOLOGICAL SAFETY LEVEL**

Kharkiv 2020

UDC 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088

BBC 39.354 : 20.18

K64

O. M. Kondratenko, PhD (Eng.), Assoc. Prof.,
V. Yu. Koloskov, PhD (Eng.), Assoc. Prof.,
Yu. F. Derkach, PhD (Phys.-Math.), Sr. Res. Fell.,
S. A. Kovalenko, M.Sc.

Reviewers:

Dr.Sci. (Eng.), Professor **I. V. Parsadanov**,
Dr.Sci. (Eng.), Docent **O. P. Krot**,
Ph.D(Eng.), Sr. Res. Fell. **A. M. Avramenko**

Approved at a session of the Academic Council of NUCD of Ukraine
as monograph (protocol № 02 on October 29, 2020)

K64 **Kondratenko O. M., Koloskov V. Yu., Derkach Yu. F., Kovalenko S. A.** (2020), Physical and mathematical modeling of processes in particulate matter filter in practical application of criteria based assessment of ecological safety level : Monograph [Fizychni i matematychni modeljuvannja procesiv u filtri tverdykh chastynok pry praktychniy realizatsiyi kryterial'nogo otsynuvannya rivnya ekolohichnoyi bezpeky : Monografija], Publ. NUCD of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, 522 p. [in Ukrainian].

ISBN

The monograph is devoted to the issues of mathematical modeling of processes in a filter element of a particulate matter filter of diesel reciprocating internal combustion engine, physical modeling of these processes on a engineless research plant and experimental verification of such modeling on engine testing bench with 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine, as well as aspects of practical application of the calculated criteria-based assessment of ecological safety of accident-free exploitation process of power plants with RICE based on improved mathematical apparatus of complex fuel and ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov and its conversion formula for the exhaust gas flow.

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

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

Illustrations 256. Tables 64. Bibliography: 140 items.

UDC 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088

BBC 39.354 : 20.18

ISBN

© Kondratenko O.M., Koloskov V. Yu.,
Derkach Yu.F., Kovalenko S.A., 2020
© National University of Civil
Defence of Ukraine, 2020
© Cover design: Ogurcov K.V.,
Kondratenko O.M.

ЗМІСТ

Список умовних позначень і скорочень	17
Передмова	21
Вступ	37
Глава 1. ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ФІЛЬТРИ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЬНОГО ПОРШНЕВОГО ДВЗ (О.М. Кондратенко)	59
Преамбула	59
Розділ 1.1. ПРОПОНОВАНА КОНСТРУКЦІЯ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА ФТЧ ДИЗЕЛЯ ЯК ОБ'ЄКТ ФІЗИЧНОГО І МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	65
1.1.1. <i>Постановка проблеми та аналіз літературних джерел</i>	65
1.1.2. <i>Аналіз конструкції модульного ФЕ ФТЧ дизельного ПДВЗ нетрадиційної конструкції як об'єкта фізичного і математичного моделювання</i>	68
1.1.3. <i>Конструкція модуля ФЕ як об'єкта експериментальних досліджень</i>	72
1.1.4. <i>Висновки по розділу</i>	77
Розділ 1.2. БЕЗМОТОРНА ДОСЛІДНИЦЬКА УСТАНОВКА	78
1.2.1. <i>Постановка проблеми та аналіз літературних джерел</i>	78
1.2.2. <i>Методика роботи на безмоторній дослідницькій установці</i>	78
1.2.3. <i>Оцінка похибки вимірювань на безмоторній дослідницькій установці</i>	81
1.2.4. <i>Висновки по розділу</i>	87
Розділ 1.3. РЕЗУЛЬТАТИ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ ТЕКУЧОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПРОЗОРОГО МАКЕТУ МОДУЛЯ ФТЧ, ЗРАЗКІВ СТАЛЕВОЇ ТКАНОЇ СІТКИ, НАСИПАННЯ З ПРИРОДНОГО ЦЕОЛІТУ	88
1.3.1. <i>Постановка проблеми та аналіз літературних джерел</i>	88
1.3.2. <i>Прозорий макет модуля ФЕ</i>	88
1.3.3. <i>Експериментальне визначення витратних характеристик сталевих тканих сіток</i>	98
1.3.4. <i>Експериментальне визначення гідравлічного опору насіпання з среднефракціонного природного цеоліту</i>	104
1.3.5. <i>Висновки по розділу</i>	106
Розділ 1.4. МЕТРОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ НА МОТОРНОМУ ВИПРОБУВАЛЬНОМУ СТЕНДІ	108
1.4.1. <i>Постановка проблеми та аналіз літературних джерел</i>	108
1.4.2. <i>Фізичні величини, що вимірюються на стенді</i>	108
1.4.3. <i>Описання стенду</i>	109
1.4.4. <i>Залежності для визначення результатів непрямих вимірювань на стенді</i>	111

1.4.5. <i>Визначення похибок непрямих вимірювань на стенді</i>	113
1.4.6. <i>Висновки по розділу</i>	117
1.5. ВИСНОВКИ ПО Главі 1	118

Глава 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ФІЛЬТРИ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЬНОГО ПОРШНЕВОГО ДВЗ (О.М. Кондратенко)	121
Преамбула	121
Розділ 2.1. ВИБІР ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ФТЧ .	125
2.1.1. <i>Постановка проблеми та аналіз літературних джерел</i>	125
2.1.2. <i>Аналіз можливостей відомих програмних комплексів для моделювання газодинаміки і теплопередачі</i>	125
2.1.3. <i>Висновки по розділу</i>	126
Розділ 2.2. АДАПТАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДО ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТУ	131
2.2.1. <i>Математична модель процесу руху відпрацьованих газів дизеля в фільтруючому елементі ФТЧ</i>	131
2.2.2. <i>Вирішення тестової задачі для різних варіантів конструкції модуля ФЕ</i>	135
2.2.3. <i>Конструктивні особливості та розрахункова схема модуля ФЕ</i>	140
2.2.4. <i>Особливості моделювання поруватих тіл</i>	142
2.2.5. <i>Доповнення «Інженерної бази даних» програмного комплексу</i>	143
2.2.6. <i>Визначення крайових умов</i>	144
2.2.7. <i>Дослідження руху потоку ВГ у місцях встановлення експериментальних зразків на лабораторних установках..</i>	148
2.2.8. <i>Висновки по розділу</i>	153
Розділ 2.3. РОЗРАХУНКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ ПОТОКУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ У ПРОТОЧНІЙ ЧАСТИНІ ДІЮЧИХ ЗРАЗКІВ ФТЧ ДИЗЕЛЬНОГО ПДВЗ ...	154
2.3.1. <i>Дослідження гідравлічного опору діючих зразків ФТЧ</i>	154
2.3.2. <i>Моделювання процесу руху твердих частинок в потоці відпрацьованих газів дизельного ПДВЗ</i>	169
2.3.3. <i>Висновки по розділу</i>	171
2.4. ВИСНОВКИ ПО Главі 2	173
Глава 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ВЕРИФІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОТРИМАННЯ НАБОРУ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ (О.М. Кондратенко)	175
Преамбула	175
Розділ 3.1. МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИПУСКНОЇ СИСТЕМИ І СИСТЕМИ ВІДБОРУ ПРОБ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ МОТОРНОГО ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ	179

3.1.1. Постановка проблеми та аналіз літературних джерел	179
3.1.2. Описання модернізованої частини стенду	179
3.1.3. Висновки по розділу	184
Розділ 3.2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ 2Ч10,5/12	195
3.2.1. Постановка проблеми та аналіз літературних джерел	195
3.2.2. Техніко-економічні та екологічні показники роботи дизеля 2Ч10,5/12, отримані експериментально	200
3.2.3. Висновки по розділу	204
Розділ 3.3. ПЕРШИЙ ЕТАП СТЕНДОВИХ МОТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ – ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОХ ВАРІАНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ДІЮЧИХ МАКЕТІВ МОДУЛЯ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА ФТЧ	211
3.3.1. Постановка проблеми та аналіз літературних джерел	211
3.3.2. Експериментальні зразки та методика експериментального дослідження	211
3.3.3. Результати експериментального дослідження та їх аналіз	212
3.3.4. Висновки по розділу	227
Розділ 3.4. ДРУГИЙ ЕТАП СТЕНДОВИХ МОТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ – ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДІЮЧОГО МАКЕТУ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЯ	228
3.4.1. Постановка проблеми та аналіз літературних джерел	228
3.4.2. Методика експериментального дослідження	228
3.4.3. Результати експериментального дослідження та їх аналіз	229
3.4.4. Висновки по розділу	245
Розділ 3.5. ТРЕТІЙ ЕТАП СТЕНДОВИХ МОТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ – ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДІЮЧОГО МАКЕТУ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА В СКЛАДІ ВИПУСКНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЯ 2Ч10,5/12 ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ЗА СТАНДАРТИЗОВАНИМИ СТАЦІОНАРНИМИ ЦИКЛАМИ ..	246
3.5.1. Постановка проблеми та аналіз літературних джерел	246
3.5.2. Методика експериментального дослідження	246
3.5.3. Результати експериментального дослідження та їх аналіз	246
3.5.4. Висновки по розділу	260
Розділ 3.6. ЧЕТВЕРТИЙ ЕТАП СТЕНДОВИХ МОТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ – ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧАСУ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ 2Ч10,5/12 НА РЕЖИМІ МАКСИМАЛЬНОГО КРУТНОГО МОМЕНТУ НА РОБОЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДІЮЧОГО МАКЕТУ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА	261

3.6.1. Постановка проблеми та аналіз літературних джерел	261
3.6.2. Методика експериментального дослідження	261
3.6.3. Результати експериментального дослідження та їх аналіз	261
3.6.4. Висновки по розділу	267
Розділ 3.7. ВИСТАВКОВИЙ ЗРАЗОК РОЗРОБЛЕНОГО ФТЧ ТА ЙОГО АПРОБАЦІЯ	268
3.7.1. Опис експонату, поданого на Конкурс «Кращий виставковий науковий експонат – 2016» НУЦЗ України.....	268
3.7.2. Конструкція виставкового експонату	269
3.7.3. Участь у Всеукраїнському форумі «Пож/Тех – 2016»	269
3.8. ВИСНОВКИ ПО Главі 3	274

Глава 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕНОГО МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ

проф. І.В. Парсаданова (О.М. Кондратенко, В.Ю. Колосков, Ю.Ф. Деркач, С.А. Коваленко)	279
Преамбула	279
Розділ 4.1. АНАЛІЗ СПІВВІДНОШЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ФТЧ ЗА РІЗНИМИ ПОЛЮТАНТАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ФОРМУЛИ ПЕРЕРАХУНКУ проф. І.В. Парсаданова (О.М. Кондратенко, Ю.Ф. Деркач, С.А. Коваленко)	283
4.1.1. Актуальність дослідження і постановка проблеми	283
4.1.2. Аналіз публікацій	283
4.1.3. Аналіз і розрахункове дослідження формули перерахунку проф. І.В. Парсаданова	288
4.1.4. Аналіз співвідношення значень коефіцієнтів ефективності роботи ФТЧ за димністю і токсичністю та викидом ТЧ	289
4.1.5. Висновки по розділу	301
Розділ 4.2. ВДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ФТЧ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДИЗЕЛЬНОГО ПДВЗ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ (О.М. Кондратенко, В.Ю. Колосков, С.А. Коваленко)	303
4.2.1. Описання вдосконаленої методики	303
4.2.2. Результати застосування вдосконаленої методики та їх аналіз	307
4.2.3. Висновки по розділу	308
Розділ 4.3. ОТРИМАННЯ РОЗПОДІЛІВ ЗНАЧЕНЬ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ 2Ч10,5/12 ТА КОМПЛЕКСНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ ПО ПОЛЮ ЙОГО РОБОЧИХ РЕЖИМІВ (О.М. Кондратенко, В.Ю. Колосков)	309

4.3.1. Актуальність дослідження і постановка проблеми	309
4.3.2. Результати та їх аналіз	309
4.3.3. Висновки по розділу	328
Розділ 4.4. ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФТЧ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ПДВЗ ВПРОДОВЖ МІЖРЕГЕНЕРАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ З УРАХУВАННЯМ ЙОГО ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ (О.М. Кондратенко, С.А. Коваленко)	329
4.4.1. Актуальність дослідження і постановка проблеми	329
4.4.2. Моделі експлуатації дизеля і нормативні вимоги до показників його екологічності	331
4.4.3. Варіанти розрахункового дослідження	335
4.4.4. Результати розрахункового дослідження та їх аналіз	337
4.4.5. Висновки по розділу	341
Розділ 4.5. ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ РЕЖИМІВ ПРИ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАННЯХ ДИЗЕЛЬНОГО ПДВЗ З УРАХУВАННЯМ СОБІВАРТОСТІ ЗДІЙСНЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ (О.М. Кондратенко, Ю.Ф. Деркач)	343
4.5.1. Актуальність дослідження і постановка проблеми	343
4.5.2. Аналіз особливостей випробувальних циклів ПДВЗ	346
4.5.3. Варіанти розрахункового дослідження	346
4.5.4. Результати розрахункового дослідження та їх аналіз	348
4.5.5. Висновки по розділу	352
Розділ 4.6. ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МОДЕЛІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ДИЗЕЛЬНИМ ПДВЗ (О.М. Кондратенко)	355
4.6.1. Актуальність дослідження і постановка проблеми	355
4.6.2. Концепція моделі експлуатації ПДВЗ аварійно- рятувального транспортного засобу	357
4.6.3. Варіанти структури моделі експлуатації	358
4.6.4. Результати розрахункового критеріального оцінювання та їх аналіз	365
4.6.5. Висновки по розділу	373
Розділ 4.7. ОЦІНЮВАННЯ ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕДЕННЯ ПОРШНЕВОГО ДВЗ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ НА СПОЖИВАННЯ БІОПАЛИВА (О.М. Кондратенко, В.Ю. Колосков, С.А. Коваленко)	376
4.7.1. Актуальність дослідження і постановка проблеми	376
4.7.2. Аналіз особливостей експлуатації поршневого двигуна у складі гібридного автотранспортного засобу	378
4.7.3. Вибір моделей експлуатації поршневого двигуна у складі гібридного АТЗ	391
4.7.4. Вихідні дані для розрахункового дослідження	407

4.7.5. <i>Результати попередніх розрахунків та їх аналіз</i>	411
4.7.6. <i>Результати основних розрахунків та їх аналіз</i>	415
4.7.7. <i>Висновки по розділу</i>	424
4.7.8. <i>SWOT-аналіз результатів дослідження</i>	425
Розділ 4.8. ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕДЕННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА НА СПОЖИВАННЯ ПАЛИВА БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ ЗА РОЗРОБЛЕНИМИ МОДЕЛЯМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ (О.М. Кондратенко, В.Ю. Колосков, Ю.Ф. Деркач)	427
4.8.1. <i>Актуальність дослідження і постановка проблеми</i>	427
4.8.2. <i>Побудова моделі експлуатації дизель-генератора</i>	428
4.8.3. <i>Вихідні дані для порівняльного розрахункового критеріального оцінювання</i>	429
4.8.4. <i>Результати розрахункового критеріального оцінювання</i>	430
4.8.5. <i>Аналіз та обговорення результатів оцінювання</i>	433
4.8.6. <i>Висновки по розділу</i>	435
4.9. ВИСНОВКИ ПО Главі 4	437
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	441
<i>SWOT-аналіз результатів дослідження</i>	444
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	455
Додаток А. ПОБУДОВА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ПДВЗ ТА МІСЦЕ У НІЙ ФТЧ (О.М. Кондратенко) ...	463
Додаток Б. ПУБЛІКАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ МОНОГРАФІЇ	475
Додаток В. РЕЦЕНЗІЇ НА МОНОГРАФІЮ	503
Авторська довідка	514
Видавнича сторінка	522

TABLE of CONTENTS

List of symbols and abbreviations	17
General Preamble	29
Introduction	48
Section 1. PHYSICAL MODELING of PROCESSES in PARTICULATE MATTER FILTER of DIESEL RECIPROCATING ICE (Olexandr Kondratenko)	62
Preamble	62
Chapter 1.1. PROPOSED CONSTRUCTION of FILTER ELEMENT of the DPF of DIESEL ENGINE as the OBJECT of PHYSICAL and MATHEMATICAL MODELING	65
1.1.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	65
1.1.2. <i>Analysis of construction of module FE of the DPF of diesel engine with no conventional design as the object of physical and mathematical modeling</i>	68
1.1.3. <i>Construction of module FE of the DPF as the object of experimental studies</i>	72
1.1.4. <i>Conclusions of the Chapter</i>	77
Chapter 1.2. ENGINELESS RESEARCH PLANT	78
1.2.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	78
1.2.2. <i>Methodic of work on Engineless Research Plant</i>	78
1.2.3. <i>Assessment of measuring errors on Engineless Research Plant</i>	81
1.2.4. <i>Conclusions of the Chapter</i>	87
Chapter 1.3. RESULTS of PHYSICAL MODELING of MOVEMENT PROCESSES of FLUID for TRANSPARENT LAYOUT of DPF MODULE, STAINLESS STEEL WOVEN MASH SAMPLES and NATURAL ZEOLITE FILLING	88
1.3.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	88
1.3.2. <i>Transparent Layout of DPF Module</i>	88
1.3.3. <i>Experimental determination of flow characteristics of stainless steel woven mash samples</i>	98
1.3.4. <i>Experimental determination of hydraulic resistance of natural zeolite filling</i>	104
1.3.5. <i>Conclusions of the Chapter</i>	106
Chapter 1.4. METROLOGICAL FEATURES of STUDIES on ENGINE TEST BENCH	108
1.4.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	108
1.4.2. <i>Physical values which measures of the Engine Test Bench</i>	108
1.4.3. <i>Description of the Engine Test Bench</i>	109
1.4.4. <i>Dependences for determination of results of indirect measuring on Engine Test Bench</i>	111
1.4.5. <i>Determination of errors of indirect measuring on Engine Test Bench</i>	113
1.4.6. <i>Conclusions of the Chapter</i>	117

1.5. CONCLUSIONS of the SECTION 1	119
Section 2. MATHEMATICAL MODELING of PROCESSES in PARTICULATE MATTER FILTER of DIESEL RECIPROCATING ICE (Olexandr Kondratenko)	123
Preamble	123
Chapter 2.1. SELECTION of PROGRAM COMPLEX for MATHEMATICAL MODELING of PROCESSES in DPF ..	125
2.1.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	125
2.1.2. <i>Analysis of known program complexes for modeling of fluid dynamics and heat transferring</i>	125
2.1.3. <i>Conclusions of the Chapter</i>	126
Chapter 2.2. ADAPTATION of MATHEMATICAL APPARATUS of PROGRAM COMPLEX to STUDIED OBJECT	131
2.2.1. <i>Mathematical model of movement process of exhaust gases flow of diesel engine in the filter element of DPF</i>	131
2.2.2. <i>Solving of the testing task for different variants of construction of the filter element of DPF</i>	135
2.2.3. <i>Constructive features and calculation scheme of module of the filter element of DPF</i>	140
2.2.4. <i>Features of modeling of porous body</i>	142
2.2.5. <i>Addition of «Engineering data base» of the program complex ...</i>	143
2.2.6. <i>Determination of boundary conditions</i>	144
2.2.7. <i>Studying of movement process of exhaust gases flow in installation locations of experimental layouts on experimental plants</i>	148
2.2.8. <i>Conclusions of the Chapter</i>	153
Chapter 2.3. CALCULATED STUDY of MOVEMENT PROCESS of EXHAUST GASES FLOW in FLOWING PARTS of WORKING LAYOUTS of DPF of DIESEL ENGINE	154
2.3.1. <i>Studying of hydraulic resistance of working layouts of DPF</i>	154
2.3.2. <i>Modeling of movement process of particulate matter in exhaust gases flow of diesel engine</i>	169
2.3.3. <i>Conclusions of the Chapter</i>	171
2.4. CONCLUSIONS of the SECTION 2	174
Section 3. EXPERIMENTAL VERIFICATION of RESULTS of MODELING and OBTAINING of INITIAL DATA SET for CRITERIA-BASED ASSESSMENT (Olexandr Kondratenko)	177
Preamble	177
Chapter 3.1. MODERNIZATION of EXHAUST SYSTEM and SYSTEM of SAMPLING of EXHAUST GASES of ENGINE TEST BENCH	179
3.1.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	179
3.1.2. <i>Description of modernized part of Engine Test Bench</i>	179

3.1.3. <i>Conclusions of the Chapter</i>	184
Chapter 3.2. TECHNICAL, ECONOMICAL and ECOLOGICAL CHARACTERISTICS of 2Ch10.5/12 DIESEL ENGINE OPERATION PROCESS	195
3.2.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	195
3.2.2. <i>Technical, economical and ecological characteristics of 2Ch10.5/12 diesel engine operation process obtained experimentally</i>	200
3.2.3. <i>Conclusions of the Chapter</i>	204
Chapter 3.3. FIRST STAGE of BENCH ENGINE STUDIES – COMPARATIVE STUDY of TWO VARIANTS of CONSTRUCTION of WORKING LAYOUTS of MODULE of FILTER ELEMENT of DPF	211
3.3.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	211
3.3.2. <i>Experimental layouts and methodica of experimental study</i>	211
3.3.3. <i>Results of experimental study and their analysis</i>	212
3.3.4. <i>Conclusions of the Chapter</i>	227
Chapter 3.4. SECOND STAGE of BENCH ENGINE STUDIES – STUDY of DEPENDENCES of OPERATION CHARACTERISTICS of WORKING LAYOUTS of FILTER ELEMENT from TEMPERATURE of EXHAUST GASES of DIESEL ENGINE	228
3.4.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	228
3.4.2. <i>Methodica of experimental study</i>	228
3.4.3. <i>Results of experimental study and their analysis</i>	229
3.4.4. <i>Conclusions of the Chapter</i>	245
Chapter 3.5. THIRD STAGE of BENCH ENGINE STUDIES – STUDY of OPERATION CHARACTERISTICS of WORKING LAYOUTS of FILTER ELEMENT as ELEMENT of EXHAUST SYSTEM of 2Ch10.5/12 DIESEL ENGINE for STANDARDIZED STEADY TESTING CYCLES	246
3.5.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	246
3.5.2. <i>Methodica of experimental study</i>	246
3.5.3. <i>Results of experimental study and their analysis</i>	246
3.5.4. <i>Conclusions of the Chapter</i>	260
Chapter 3.6. FOURTH STAGE of BENCH ENGINE STUDIES – STUDY of INFLUENCE of DURATION of OPERATION PROCESS of 2Ch10.5/12 DIESEL ENGINE on MAXIMAL TORQUE REGIME	261
3.6.1. <i>Problem statement and Analysis of publications</i>	261
3.6.2. <i>Methodica of experimental study</i>	261
3.6.3. <i>Results of experimental study and their analysis</i>	261
3.6.4. <i>Conclusions of the Chapter</i>	267
Chapter 3.7. EXHIBITION SAMPLE of DPF and ITS APPROBATION	268

3.7.1. <i>Description of exhibit submitted to the Competition «The best exhibition scientific exhibit of NUCP of Ukraine – 2016»</i>	268
3.7.2. <i>Construction of exhibit</i>	269
3.7.3. <i>Participation in All Ukrainian Forum «Fire/Tech – 2016»</i>	269
3.8. CONCLUSIONS of the SECTION 3	276

Section 4. PRACTICAL APPLICATION of IMPROVED MATHEMATICAL APPARATUS of COMPLEX FUEL and ECOLOGICAL CRITERION of Prof. Igor Parsadanov (Olexandr Kondratenko, Volodymyr Koloskov, Yuriy Derkach, Svitlana Kovalenko)	281
Preamble	281
Chapter 4.1. ANALYSIS of RATION between COEFFICIENTS of CLEANING EFFICIENCY of OPERATION PROCESS of DPF for DIFFERENT POLLUTANTS with USING of CONVERSION FORMULA of Prof. Igor Parsadanov (Olexandr Kondratenko, Yuriy Derkach, Svitlana Kovalenko) ..	283
4.1.1. <i>Relevance of the study and Problem statement</i>	283
4.1.2. <i>Analysis of publications</i>	283
4.1.3. <i>Analysis and calculated study of conversion formula of Prof. Igor Parsadanov</i>	288
4.1.4. <i>Analysis of ratio between magnitudes of coefficients of cleaning efficient of operation process of DPF for opacity and toxicity of exhaust gases and PM emission</i>	289
4.1.5. <i>Conclusions of the Chapter</i>	301
Chapter 4.2. IMPROVED METHODICA for DETERMINATION of INFLUENCE of HYDRAULIC RESISTANCE of DPF on FUEL EFFICIENCY of DIESEL ENGINE and RESULTS of ITS APPLICATION (Olexandr Kondratenko, Volodymyr Koloskov, Svitlana Kovalenko)	303
4.2.1. <i>Description of the improved methodica</i>	303
4.2.2. <i>Results of application of the improved methodica and its analysis</i>	307
4.2.3. <i>Conclusions of the Chapter</i>	308
Chapter 4.3. OBTAINING of DISTRIBUTIONS of MAGNITUDES of TECHNICAL, ECONOMICAL and ECOLOGICAL CHARACTERISTICS of 2Ch10.5/12 DIESEL ENGINE OPERATION PROCESS and COMPLEX FUEL and ECOLOGICAL CRITERION on the ITS OPERATIONAL REGIMES FIELD (Olexandr Kondratenko, Volodymyr Koloskov)	309
4.3.1. <i>Relevance of the study and Problem statement</i>	309
4.3.2. <i>Results of the study and its analysis</i>	309
4.3.3. <i>Conclusions of the Chapter</i>	328

Chapter 4.4. ASSESSMENT of EFFICIENCY of APPLICATION of DPF for AUTOTRACTOR DIESEL ENGINE DURING ITS INTER-REGENERATION PERIOD WITH TAKING INTO ACCOUNT of ITS HYDRAULIC RESISTANCE (Olexandr Kondratenko, Svitlana Kovalenko)	329
4.4.1. <i>Relevance of the study and Problem statement</i>	329
4.4.2. <i>Models of exploitation of diesel engine and legislative normalized requirements for its ecological performance</i>	331
4.4.3. <i>Variants of calculated study</i>	335
4.4.4. <i>Results of calculated study and its analysis</i>	337
4.4.5. <i>Conclusions of the Chapter</i>	341
Chapter 4.5. DETERMINATION of RATIONAL NUMBER of REGIMES in BENCH TESTS of DIESEL ENGINE WITH TAKING ACCOUNT of PRIME COST of EXPERIMENTAL STUDY (Olexandr Kondratenko, Yuriy Derkach)	343
4.5.1. <i>Relevance of the study and Problem statement</i>	343
4.5.2. <i>Analysis of features of testing cycles for reciprocating ICE</i>	346
4.5.3. <i>Variants of calculated study</i>	346
4.5.4. <i>Results of calculated study and its analysis</i>	348
4.5.5. <i>Conclusions of the Chapter</i>	352
Chapter 4.6. SELECTION of RATIONAL STRUCTURE of MODEL of EXPLOITATION of EMERGENCY and RESCUE VEHICLE with DIESEL ENGINE (Olexandr Kondratenko)	355
4.6.1. <i>Relevance of the study and Problem statement</i>	355
4.6.2. <i>Conception of exploitation model of reciprocation ICE of emergency and rescue vehicle</i>	357
4.6.3. <i>Variants of structure of the exploitation model</i>	358
4.6.4. <i>Results of calculated criteria-based assessment and its analysis</i>	365
4.6.5. <i>Conclusions of the Chapter</i>	373
Chapter 4.7. ASSESSMENT of FUEL and ECOLOGICAL EFFICIENCY of TRANSFER of RECIPROCATION ICE of ELECTRIC VEHICLE on CONSUMPTION of BIOFUEL (Olexandr Kondratenko, Volodymyr Koloskov, Svitlana Kovalenko)	376
4.7.1. <i>Relevance of the study and Problem statement</i>	376
4.7.2. <i>Analysis of features of exploitation process of reciprocating ICE as a part of hybrid vehicle</i>	378
4.7.3. <i>Selection of exploitation models for reciprocating ICE as a part of hybrid vehicle</i>	391
4.7.4. <i>Initial data for calculated study</i>	407
4.7.5. <i>Results of preliminary calculations and its analysis</i>	411
4.7.6. <i>Results of main calculations and its analysis</i>	415
4.7.7. <i>Conclusions of the Chapter</i>	424
4.7.8. <i>SWOT-analysis of results of the study</i>	425

Chapter 4.8. ASSESSMENT of ECOLOGICAL EFFICIENCY of TRANSFER of DIESEL-GENERATOR on CONSUMPTION of FUEL of BIOLOGICAL ORIGIN for DEVELOPED EXPLOITATION MODELS (Olexandr Kondratenko, Volodymyr Koloskov, Yuriy Derkach)	427
4.8.1. <i>Relevance of the study and Problem statement</i>	427
4.8.2. <i>Developing of exploitation model for diesel-generator</i>	428
4.8.3. <i>Initial data for comparative calculated criteria-based assessment</i>	429
4.8.4. <i>Results of calculated criteria-based assessment</i>	430
4.8.5. <i>Analysis and discussion of results of the assessment</i>	433
4.8.6. <i>Conclusions of the Chapter</i>	435
4.9. CONCLUSIONS of the SECTION 4	439
GENERAL CONCLUSIONS	448
<i>SWOT-analysis of results of the study</i>	451
REFERENCES	455
Appendix A. DEVELOPING of ENVIRONMENT PROTECTION TECHNOLOGY from HARMFUL IMPACT of RICE and PLACE of DPF in IT (Olexandr Kondratenko)	463
Appendix B. PUBLICATION and APPROBATION of RESULTS of the STUDY	475
Appendix C. REVIEWS on the MONOGRAPH	503
Information about Author and Reviewers	514
Publishing page	522

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ (List of Symbols and Abbreviations)

СКОРОЧЕННЯ (*Abbreviations*):

- АТЗ** – автотранспортний засіб (*vehicle*).
- АТП** – автотранспортне підприємство (*motor transport company*).
- АРТЗ** – аварійно-рятувальний транспортний засіб.
- БДУ** – безмоторна дослідницька установка (*non-motorized research installation*).
- БСР** – бортова система регенерації (*onboard regeneration system*).
- ВГ** – відпрацьовані гази (*exhaust gases*).
- ДСНС України** – Державна служба з надзвичайних ситуацій України (*State Emergency Service of Ukraine*).
- ЕкБ** – екологічна безпека (*ecological safety*).
- ЕУ** – енергетична установка (*power plant*).
- ЄС** – Європейська Спілка (*European Union*).
- ЖЦ** – життєвий цикл (*life cycle*).
- ЗВТ** – засіб вимірювальної техніки.
- ІПМаш НАН України** – Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України (*Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine*).
- НАН України** – Національна академія наук України (*National Academy of Science of Ukraine*).
- МВС** – моторний випробувальний стенд.
- МНС РФ** – Міністерство надзвичайних ситуацій РФ.
- НДР** – науково-дослідна робота (*science researching work*).
- НУЦЗ України** – Національний університет цивільного захисту України (*National University of Civil Defense of Ukraine*).
- НПС** – навколишнє природне середовище (*environment*).
- ПДВЗ** – поршневий двигун внутрішнього згоряння (*reciprocating internal combustion engine*).
- ПБ** – пожежна безпека.
- СТО** – станція технічного обслуговування (*maintain and repair station*).
- СУЕкБ** – система управління екологічною безпекою (*ecological safety management system*).
- ТЗНС** – технології захисту навколишнього середовища.
- ТЧ** – тверді частинки (*particulate matter*).
- ФТЧ** – фільтр твердих частинок (*diesel particulate filter*).
- ФЕ** – фільтрувальний елемент (*filtering element*).

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ (*Symbols*):

1. Параметри роботи ПДВЗ (*operational parameters of RICE*):

$n_{кв}$ – частота обертання колінчастого вала, об/хв, $хв^{-1}$, rpm
(*engine crankshaft speed*);

N_e – ефективна номінальна потужність, кВт (*engine effective power*);

$M_{кр}$ – крутний момент, Н·м (*engine torque*);

α – коефіцієнт надлишку повітря (*engine coefficient of excess air*).

G_{fuel} , G_{air} , G_{EG} – масова годинна витрата палива, повітря та відпрацьованих газів (*mass hourly fuel, air and EG consumption*), кг/год;

g_e – питома ефективна масова годинна витрата палива (*effective specific mass hourly fuel, air and EG consumption*), кг/(кВт·год);

2. Речовини-полютанти (*Substances-pollutants*) :

C_nH_m – незгорілі вуглеводні моторного палива і оливи (*unburned hydrocarbons of motor fuel and oil*);

NO_x – оксиди азоту (*nitric oxides*);

CO – монооксид вуглецю (*carbon monoxide*);

CO_2 – діоксид вуглецю (*carbon dioxide*);

SO_x – оксиди сірки (*sulfur oxides*);

H_2O – дігідрогену монооксид (*hydrogen dioxide*);

$B(\alpha)P$ – бенз(α)пірен (*benz-a-piren*).

3. Параметри токсичності відпрацьованих газів (*Parameters of toxicity of EG flow*), об. % або $млн^{-1}$ (ppm) об'ємна концентрація у ВГ (*volume concentration in EG flow*):

$C_{сн}$, C_{CO} , C_{CO_2} , C_{NO_x} , C_{O_2} – незгорілих вуглеводів палива і моторної оливи, монооксиду вуглецю, діоксиду вуглецю; оксидів азоту; залишкового кисню (*residual oxygen*).

G_{PM} , G_{NO_x} , $G_{снHm}$, G_{CO} – масові годинні викиди законодавчо нормованих полютантів (*mass hourly emissions of legislative normalized pollutants*), кг/год.

g_{ePM} , g_{eNO_x} , $g_{eснHm}$, g_{eCO} – питомі ефективні масові годинні викиди полютантів (*effective specific mass hourly emissions of pollutants*), г/(кВт·год).

4. Параметри димності відпрацьованих газів (*Parameters of opacity of EG flow*):

D – ступінь чорноти тефлонового фільтра, % (*degree of blackness of the Teflon filter*);

N_D – коефіцієнт ослаблення світлового потоку у ВГ, % (*coefficient of attenuation of the light flux*);

K – коефіцієнт поглинання світлового потоку у ВГ, $м^{-1}$ (*coefficient of absorption of the light flux*).

5. Параметри ТЧ (*Parameters of PM*):

G_{PM} – масовий годинний викид ТЧ, кг/год (*mass hourly PM emission*);

d_{PM} – діаметр ТЧ, мм (*PM average diameter*).

6. Характеристики ефективності роботи ФТЧ (*Indicators of operational efficiency of DPF*) – коефіцієнт ефективності очищення потоку ВГ дизеля від ТЧ, % (*coefficient of efficiency of purification of EG flow from*

P_M):

$K_{EO}(N_D)$ – за показниками димності ВГ;

$K_{EO}(C_{CH})$ – за концентрацією у ВГ незгорілих вуглеводнів;

$K_{EO}(G_{PM})$ – за показниками масового викиду ТЧ з потоком ВГ.

7. Комплексний паливно-екологічний критерій та його складові (Complex fuel and ecological criteria and its components):

K_{fe} – комплексний паливно-екологічний критерій (*complex fuel and ecological criteria*), ‰;

η_e – ефективний ККД ПДВЗ (*effective efficiency coefficient of RICE*);

η_i – індикаторний ККД ПДВЗ (*indicator efficiency coefficient of RICE*);

η_m – механічний ККД ПДВЗ (*mechanical efficiency coefficient of RICE*);

β – коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних грошових витрат (*coefficient of relative exploitation ecological monetary expenses*);

Z_e – грошові витрати на відшкодування екологічної шкоди (*monetary costs of repayment of ecological damage*), \$/(кВт·год);

Z_f – грошові витрати на паливо (*monetary costs of motor fuel*), \$/(кВт·год);

g_e – масові питомі ефективні витрати палива ПДВЗ (*effective specific mass hourly fuel, air and EG consumption of RICE*), кг/(кВт·год);

g_i – масові питомі індикаторні витрати палива ПДВЗ (*indicator specific mass hourly fuel, air and EG consumption of RICE*), кг/(кВт·год);

δ – безрозмірний показник відносної небезпеки забруднення на різних територіях (*dimensionless indicator of relative danger of pollution for different territories*);

f – безрозмірний коефіцієнт, що враховує характер розсіювання ВГ в атмосфері (*dimensionless coefficient which takes into account character of scattering of EG flow in atmosphere*);

H_u – нижча теплота згоряння моторного палива (*lower heat of combustion of motor fuel*), МДж/кг;

P_f – ціна одиниці ваги моторного палива (*price of unit of weight of motor fuel*), \$/кг;

h – загальна кількість законодавчо нормованих забруднюючих компонентів у ВГ ПДВЗ (*total amount of legislative normalized pollutants in RICE EG flow*);

A_k – безрозмірний показник відносної агресивності k -го забруднюючого компоненту ВГ ПДВЗ (*dimensionless indicator of relative aggressiveness of k^{th} legislative normalized pollutants in RICE EG flow*);

WF – відносно дільове напрацювання ПДВЗ на i -ому полігоні моделі експлуатації або ваговий фактор (*relative fractional work-up of RICE on the i^{th} field of operation model or weight factor*);

N_e – ефективна потужність ПДВЗ (*effective power of RICE*), кВт;

N_i – індикаторна потужність ПДВЗ (*indicator power of RICE*), кВт;

$N_{МП}$ – потужність насосних втрат ПДВЗ (*power of pump loses of RICE*), кВт;
 G_{fuel} – масова годинна витрата палива ПДВЗ (*mass hourly fuel consumption of RICE*), кг/год;
 G_k – масовий годинний викид k -го забруднюючого компонента ВГ ПДВЗ (*mass hourly emissions of k^{th} legislative normalized pollutant*), кг/год;
 $M_{кр}$ – крутний момент ПДВЗ (*torque of RICE*), Н·м;
 $n_{кв}$ – частота обертання колінчастого валу ПДВЗ (*crankshaft rotational speed of RICE*), хв⁻¹;
 U_e – вартісне відшкодування екологічної шкоди (*cost reimbursement of environmental damage*), \$/кг;
 g_{pr} – питомий приведений викид шкідливих речовин з ВГ ПДВЗ (*specific reduced emissions of k^{th} legislative normalized pollutants*);
 F_{NOx} і F_{CO} – поправочні коефіцієнти на вологість повітря лабораторії (*correction factors for laboratory air humidity*);
 d – вміст водяної пари у повітрі НПС (*content of water vapor in the environmental air*), г/кг;
 φ_0 – відносна вологість повітря НПС (*relative humidity of environmental air*), %;
 B_0 – барометричний тиск (*barometrical pressure*), гПа;
 P_s – тиск насичених парів води (*pressure of saturated water vapor in environmental air*), гПа;
 t_0 – температура повітря НПС (*temperature of environmental air*), °С.

8. Узагальнена функція бажаності (*Generalized desirability function*):

D – узагальнена функція бажаності, що відповідає усім n критеріям якості (*generalized desirability function that corresponds to all of n quality criterias*);
 d_k – часткова функція бажаності, що відповідає k -му критерію якості (*partial desirability function that corresponds to k^{th} quality criteria*);
 u_k – коефіцієнт вагомості k -го критерію якості (*ponderability coefficient of k^{th} quality criteria*).

ПЕРЕДМОВА

Монографію присвячено питанням здійснення математичного моделювання процесів у фільтрувальному елементі (ФЕ) фільтра твердих частинок (ФТЧ) дизельного поршневого двигуна внутрішнього згорання (ПДВЗ), фізичного моделювання вказаних процесів на безмоторній дослідницькій установці (БДУ) та експериментальної верифікації результатів такого моделювання на моторному випробувальному стенді (МВС) з автотракторним дизелем 2Ч10,5/12, а також аспектам практичного застосування розрахункового критеріального оцінювання показників рівня екологічної безпеки (ЕкБ) процесу безаварійної експлуатації енергоустановок (ЕУ) з ПДВЗ на основі вдосконаленого математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова (НТУ «ХПІ») та його формули перерахунку для потоку відпрацьованих газів (ВГ).

Монографія поєднує в собі **чотири** глави, які сформували **двадцять два** розділи.

Перша глава монографії має назву «**Фізичне моделювання процесів у фільтрі твердих частинок дизельного поршневого ДВЗ**» і містить **чотири** розділи.

У **розділі 1.1** монографії «*Пропонована конструкція фільтруючого елемента ФТЧ дизеля як об'єкт фізичного і математичного моделювання*» наведено загальні міркування щодо вибору раціональної конструкції ФЕ ФТЧ дизельного ПДВЗ з-поміж декількох відомих альтернативних. Надано визначення та характеристики фізичним процесам, покладеним в основу принципів роботи, комбінація яких зумовлює пропоновану конструкцію фільтра. Наведено докладний опис варіантів конструкції як самого ФТЧ, так і його ФЕ модульної конструкції та окремого модуля як об'єктів фізичного моделювання та експериментальних досліджень (випробувань). Обрано конструкційні матеріали для виготовлення деталей модуля ФЕ та описано їх властивості.

В **розділі 1.2** монографії «*Безмоторна дослідницька установка*» викладено результати проектування та виготовлення безмоторної дослідницької установки (БДУ) для холодної продувки повітрям прозорого макету модуля (ПММ) ФЕ різноманітних варіантів конструкції. Викладено методику здійснення експериментальних досліджень на БДУ, склад та характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на ній та методику й результати оцінювання похибок прямих та непрямих одноразових вимірювань на БДУ.

Розділ 1.3 монографії «*Результати фізичного моделювання процесу руху текучого середовища для прозорого макету модуля ФТЧ, зразків сталевітканої сітки, насипання з природного цеоліту*» містить докладне описання особливостей варіантів конструкції ПММ як об'єктів експериментальних досліджень на БДУ. Наведено, проілюстровано та описано поліномами методом найменших квадратів та піддано інтерпретації й аналізу результати таких досліджень – витратні характеристики – залежності значень гідравлічного опору (ГО) об'єктів експерименту від значень питомої масової секундної витрати текучого середовища (ТС) крізь характерний живий переріз. Викладено такі результати для зразків пакетів сталевітканої нержавіючої сітки (СНТС), а також насипання з природного середньо фракційного цеоліту (ПЦ)

Розділ 1.4 монографії «*Метрологічні особливості досліджень на моторному випробувальному стенді*» присвячено питанням описання будови моторного випробувального стенду (МВС) з автотракторним дизелем Д21А1 (2Ч10,5/12), переліку фізичних величин, що вимірюються у ході експериментальних досліджень на ньому, методик здійснення таких випробувань, складу комплексу його ЗВТ. Наведено методику й результати оцінювання похибок прямих та непрямих одноразових вимірювань на МВС.

Друга глава монографії носить назву «*Математичне моделювання процесів у фільтрі твердих частинок дизельного поршневого ДВЗ*» та включає три розділи.

Розділ 2.1 монографії «*Вибір програмного комплексу для математичного моделювання процесів у ФТЧ*» описує результати порівняльного аналізу даних офіційних релізів та досліджень інших авторів – спеціалістів у галузі CFD (Computational Fluid Dynamics) – щодо можливостей основних альтернативних програмних комплексів для моделювання процесу руху текучих середовищ, у тому числі й аерозолів (на момент здійснення моделювання).

Розділ 2.2 монографії «*Адаптація математичного апарату програмного комплексу до досліджуваного об'єкту*» формують дані щодо особливостей застосовуваного математичного апарату обраного програмного комплексу, у ліцензійній учбовій версії якого виконано математичне моделювання процесу руху текучого середовища у проточній частині модуля ФЕ. Наведено результати вирішення тестової задачі на геометричній моделі різних варіантів конструкції модуля ФЕ, що відповідають таким варіантам конструкції ПММ. Викладено особливості геометричної моделі ФТЧ як такого та розрахункової моделі модуля ФЕ, особливості

моделювання процесів у поруватих твердих тілах, результати доповнення «Інженерної бази даних» вказаного програмного комплексу даними щодо властивостей текучого середовища (аерозолі «ВГ дизеля – ТЧ») та конструкційних матеріалів деталей модуля ФЕ (поруватих тіл, насипання з ПЦ, СНТС, сталевого опіскострумленого прокату), завдання крайових умов. Наведено, проілюстровано та описано поліномами методом найменших квадратів результати моделювання процесу руху аерозолі «ВГ дизеля – ТЧ» у місцях встановлення експериментальних зразків на БДУ та МВС.

Розділ 2.3 монографії «*Розрахункове дослідження процесу руху потоку відпрацьованих газів у проточній частині діючих зразків ФТЧ дизельного ПДВЗ*» складають результати математичного моделювання вказаного процесу, зокрема ГО усіх складових модуля ФЕ обраної конструкції, які проілюстровано картинами течії аерозолі «ВГ дизеля – ТЧ» у проточній частині модуля ФЕ, витратними характеристиками та діаграмами. Такі дані верифіковано шляхом порівняння з результатами фізичного моделювання газодинамічних процесів у ПММ ФЕ на БДУ та результатами моторних випробувань діючих макетів ФЕ на МВС. Надано пояснення розбіжності у результатах фізичного та математичного моделювання процесів руху текучого середовища у касеті модуля ФЕ, заповненій насипанням з ПЦ. Отримано картини течії дисперсної фази аерозолі «ВГ дизеля – ТЧ» у проточній частині модуля ФЕ.

Третя глава монографії називається «**Експериментальна верифікація результатів моделювання та отримання набору вихідних даних для критеріального оцінювання**» та налічує сім розділів.

Розділ 3.1 монографії «*Модернізація випускної системи і системи відбору проб відпрацьованих газів моторного випробувального стенду*» складають дані щодо модернізації випускної системи МВС шляхом доповнення її місцем встановлення діючих макетних зразків ФЕ ФТЧ, місць відбору проб ВГ на токсичність і димність та інших додаткових складових системи ЗВТ стенду.

До складу **розділу 3.2** монографії «*Техніко-економічні та екологічні характеристики роботи дизеля 2Ч10,5/12*» увійшли дані щодо описання конструкції та технічної характеристики автотракторного дизеля Д21А1 (2Ч10,5/12), а також результати обробки даних стендових моторних випробувань цього ПДВЗ, не обладнаного ФТЧ, на МВС, котрі проілюстровано графіками та описано поліномами методом найменших квадратів.

Вміст **розділу 3.3** монографії «Перший етап стендових моторних досліджень – порівняльне дослідження двох варіантів конструкції діючих макетів модуля фільтруючого елемента ФТЧ» формує інформація про результати порівняльного експериментального дослідження двох альтернативних варіантів конструкції діючих зразків ФЕ на МВС. Описано їх конструкцію «у металі», наведено стан їх конструктивних елементів після циклу випробувань, їх робочі характеристики проілюстровано графіками та описано поліномами методом найменших квадратів. Обрано для подальших досліджень варіант з насипанням за ПЦ у сітчастих касетах. Запропоновано та визначено настроювальний коефіцієнт математичних моделей ГО та ефективності роботи ФТЧ.

У складі **розділу 3.4** монографії «Другий етап стендових моторних досліджень – дослідження залежності робочих характеристик діючого макету фільтруючого елемента від температури відпрацьованих газів дизеля» міститься інформація щодо визначення раціонального місця розміщення діючого макету ФТЧ вздовж випускного тракту МВС відповідно до результатів експериментального визначення залежності робочих характеристик досліджуваного об'єкту від значення температури текучого середовища на вході у його корпус, котру визначає вплив того ж фактора на процеси термодинамічні параметри дисперсного середовища аерозолі «ВГ дизеля – ТЧ» та ступінь завершеності у ньому процесів формування дисперсної фази. Такі залежності проілюстровано графіками та описано поліномами методом найменших квадратів. Запропоновано та визначено температурний та компонувальний коефіцієнти математичних моделей ГО та ефективності роботи ФТЧ.

У **розділі 3.5** монографії «Третій етап стендових моторних досліджень – дослідження робочих характеристик діючого макету фільтруючого елемента в складі випускної системи дизеля 2410,5/12 при випробуваннях за стандартизованими стаціонарними циклами» наведено дані щодо експериментально отриманих розподілів робочих характеристик діючого зразка ФТЧ, встановленого у раціональному місці випускного тракту МВС, по режимах 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу. Проміжні результати проілюстровано графіками та описано поліномами методом найменших квадратів.

В **розділі 3.6** монографії «Четвертий етап стендових моторних досліджень – дослідження впливу часу роботи дизеля 2410,5/12 на режимі максимального крутного моменту на робочі характеристики діючого макету фільтруючого елемента» містяться дані щодо експериментального визначення залежностей робочих характеристик діючого зразка ФТЧ, встановленого у раціональному місці випускного тракту МВС, від часу роботи дизеля на стаціонарному режимі, тобто від динамі-

ки засмічення його ФЕ ТЧ впродовж його міжрегенераційного періоду. Такі залежності проілюстровано графіками та описано поліномами методом найменших квадратів. Запропоновано та визначено часовий коефіцієнт математичних моделей ГО та ефективності роботи ФТЧ.

Наведена у **розділі 3.7** монографії «*Виставковий зразок розробленого ФТЧ та його апробація*» інформація висвітлює результати проектування і виготовлення виставкового зразка розробленого ФТЧ та участі у конкурсі «Найкращий науковий експонат НУЦЗ України – 2016» та XV Міжнародному виставковому форумі «Технології захисту/ПожТех–2016» (м. Київ, ІДУСЦЗ).

Четверта глава монографії іменується «**Практичне застосування вдосконаленого математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І. В. Парсаданова**» і об'єднує у собі **вісім** розділів.

У **розділі 4.1** монографії «*Аналіз співвідношення коефіцієнтів ефективності роботи ФТЧ за різними полютантами з використанням формули перерахунку проф. І.В. Парсаданова*», як і у всіх наступних семи її розділах, описано результати розрахункового дослідження, метою якого було висвітлити аспекти практичного застосування математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І. В. Парсаданова та його формули перерахунку. Зокрема, у цьому розділі розвинуто результати попереднього дослідження співвідношення коефіцієнтів ефективності роботи ФТЧ за різними полютантами з використанням вказаної формули перерахунку для всього діапазону зміни значень враховуваних нею впливаючих факторів.

Контент **розділу 4.2** монографії «*Вдосконалена методика визначення впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизельного ДВЗ та результати її застосування*» являє собою дані про результати розробки та застосування вдосконаленої методики визначення впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизельного ДВЗ, що враховує наразі не лише основні положення дисципліни «Теорія поршневих ДВЗ», а й дисципліни «Метрологія», та дає краще узгодження з результатами експериментальних досліджень.

У **розділі 4.3** монографії «*Отримання розподілів значень техніко-економічних і екологічних показників роботи дизеля 2Ч10,5/12 та комплексного паливно-екологічного критерію по полю його робочих режимів*» йдеться про результати розрахункового визначення значень вказаних показників роботи й критерію для означеного технічного об'єкту для усіх можливих режимів його роботи.

Дані у **розділі 4.4** монографії «Оцінювання ефективності застосування ФТЧ для автотракторного дизельного ПДВЗ впродовж міжрегенерацийного періоду з урахуванням його гідравлічного опору», описують результати отримання показників паливно-екологічної ефективності застосування розробленого та випробуваного ФТЧ для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 з урахуванням показників його ефективності роботи та впливу його ГО на паливну економічність двигуна для всього міжрегенерацийного періоду роботи фільтра для різних налаштувань обраного критеріального математичного апарату. Результати розрахунків проілюстровано графіками та описано поліномами методом найменших квадратів. Сформульовано перелік рекомендацій щодо забезпечення ЕкБ аварійно-рятувальної техніки ДСНС України.

Розділ 4.5 монографії «Визначення раціональної кількості режимів при стендових випробуваннях дизельного ДВЗ з урахуванням собівартості здійснення випробувань» складають дані про результати розрахункового обґрунтування раціонального значення вказаного параметру щільності розрахункової сітки на полі робочих режимів поршневого ДВЗ для наперед завданого граничного рівня методичної похибки експериментального отримання показників рівня ЕкБ процесу його експлуатації при можливості застосувати будь-яку з відомих чи новостворених стаціонарних моделей експлуатації. Результати розрахунків проілюстровано графіками та описано поліномами методом найменших квадратів.

В **розділі 4.6** монографії «Вибір раціональної структури моделі експлуатації аварійно-рятувального транспортного засобу з дизельним ДВЗ» міститься інформація про практичне застосування математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію для побудови нової моделі експлуатації ПДВЗ аварійно-рятувального транспортного засобу на основі діаграми розподілу часу оперативного чергування його екіпажу, статутних вимог та відомих моделей експлуатації. Для раціоналізації структури вказаної моделі використано не лише значення критерію, а й його вартісних складових та запропонованих їх різновидів. На основі аналізу результатів дослідження сформульовано перелік рекомендацій щодо забезпечення щонайвищого рівня ЕкБ процесу безаварійної експлуатації аварійно-рятувальної техніки з ПДВЗ ДСНС України.

У **розділі 4.7** монографії «Оцінювання паливно-екологічної ефективності переведення поршневого ДВЗ електромобіля на споживання біопалива» наведена інформація про практичне застосування математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію для оцінювання ефективності переведення ПДВЗ гібридного АТЗ на споживання чистого палива біологічного походження. Виконано дослідження аспектів кризи видобутку нафти як сировини для виготовлення традиційного мо-

торного палива, динаміку розвитку гібридних АТЗ та інфраструктури з їх обслуговування, динаміку цін на сиру нафту та різні види рідкого моторного палива. Здійснено порівняльне дослідження показників роботи ПДВЗ, обраного критерію та його складових за відомими моделями експлуатації для усіх досліджуваних способів приводу рушія АТЗ поршневим двигуном – як електричної, так і механічної трансмісії. Проаналізовано дані інших дослідників щодо відмінностей у фізико-хімічних властивостях дизельних палив біологічного й мінерального походження, а також впливу кількості біопалива у його суміші з мінеральним на техніко-економічні й екологічні показники роботи дизеля. Ранжовано основні стандартизовані стаціонарні випробувальні цикли для дизель-генераторів у функції як паливно-екологічної ефективності для випадку застосування традиційного палива, так і такого ефекту від переведення на споживання чистого альтернативного палива.

Нарешті, **розділ 4.8** монографії «Оцінювання екологічної ефективності переведення дизель-генератора на споживання палива біологічного походження за розробленими моделями експлуатації», завершальний у її структурі, описує результати розробки стаціонарних моделей експлуатації дизель-генератора для добового безперервного електропостачання промислового підприємства та приватного домогосподарства, побудовані на графіку розподілу ефективної потужності дизель-генераторної впродовж доби. Оцінено як показники паливно-екологічної ефективності роботи електрогенеруючої ЕУ з дизелем як для випадку застосування традиційного палива, так і такого ефекту від переведення на споживання чистого альтернативного палива.

За результатами досліджень, що описані у монографії, формовано перелік рекомендацій щодо забезпечення необхідного рівня ЕкБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, особливо одиниць аварійно-рятувальної техніки, що перебуває на оперативному чергуванні підрозділів ДСНС України.

Виконано SWOT-аналіз результатів досліджень.

Намічено напрямки подальших досліджень згідно до сформованих стратегій SWOT-аналізу.

У **Додатку А** «Побудова технології захисту навколишнього середовища від негативного впливу ПЗВЗ та місце у ній ФТЧ» запропоновано підхід до побудови ТЗНС від негативного впливу ПДВЗ у складі ЕУ. На основі запропонованого підходу таку ТЗНС побудовано, проілюстровано та описано її структуру, її ланцюги та ланки. Визначено місце такої ТЗНС у структурі СУЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ як частини ЖЦ

такого технічного об'єкту та місце ФТЧ та критеріального математичного апарату в такій СУЕкБ.

У **Додатку В** наведено рецензії на монографію, дані про авторів та рецензентів – у відповідних розділах. Також у Додатку В наведено рецензію на монографію О.М. Кондратенка «*Метрологічні аспекти комплексного критеріального оцінювання рівня екологічної безпеки експлуатації поршневих двигунів енергетичних установок*» доктора фіз.-мат. наук, професора О.В. Прокопова, заступника генерального директора з науково-метрологічної роботи Національного наукового центру «Інститут метрології» (м. Харків).

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».

*Рукопис монографії закінчено 25 березня 2020 р.
Рукопис доповнено побудованою ТЗНС 15 вересня 2020 р.*

PREAMBLE

The monograph is devoted to the issues of mathematical modeling of processes in a filter element (FE) of a particulate matter filter (DPF) of diesel reciprocating internal combustion engine (RICE), physical modeling of these processes on a engineless research plant (ERP) and experimental verification of such modeling on engine testing bench (ETB) with 2Ch10.5/12 auto-tractor diesel engine, as well as aspects of practical application of the calculated criteria-based assessment of ecological safety (ES) of accident-free exploitation process of power plants (PP) with RICE based on improved mathematical apparatus of complex fuel and ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov (NTU «KhPI») and its conversion formula for the exhaust gas (EG) flow.

The monograph combines **four** Sections that have formed **twenty-two** Chapters.

The ***First Section*** of the monograph is entitled «***Physical modeling of processes in particulate matter filter of diesel reciprocating ICE***» and contains **four** Chapters.

Chapter 1.1 of the monograph «*Proposed construction of filter element of the DPF of diesel engine as the object of physical and mathematical modeling*» provides general considerations for choosing a rational constructions of FE of DPF for diesel RICE among several known alternatives. The definitions and characteristics of the physical processes that underlie the principles of operation, the combination of which determines the proposed filter design, are given. A detailed description of the variants of the construction of the DPF itself, as well as its FE of modular design and a separate module as objects of physical modeling and experimental studies (i.e. tests). The structural materials for manufacturing the details of the FE module are selected and their properties are described.

Chapter 1.2 of the monograph «*Engineless research plant*» describes the results of designing and manufacturing of the ERP for cold air purging of the transparent module layout (TML) of various design variants. The methodica of carrying out of experimental studies on ERP, the composition and characteristics of measuring equipment system (MES) on it and the methodica and results of estimation of errors of direct and indirect one time measurements on ERP are outlined.

Chapter 1.3 of the monograph «*Results of physical modeling of movement processes of fluid for transparent layout of DPF module, stainless steel*

woven mesh samples and natural zeolite filling» contains a detailed description of the features of TML design as objects of experimental research on ERP. The results of such studies – consumption characteristics of DPF module – dependences of the magnitudes of hydraulic resistance (HR) of objects of the experiment on the magnitudes of specific mass per second consumption of fluid flow through the characteristic live section are presented, illustrated and described by polynomials of the least squares method, subjected to interpretation and analysis. The same results also are presented for samples of packages of stainless steel woven mesh (SSWM), as well as bulk from natural medium fractional zeolite (NZ).

Chapter 1.4 of the monograph «*Metrological features of studies on engine test bench*» is devoted to the questions of describing the structure of the ETB with D21A1 (2Ch10.5/12) autotractor diesel engine, a list of physical quantities measured on the ETB in the course of experimental studies implementation of such experimental studies tests, composition of its MES. Methods and results of estimation of errors of direct and indirect one time measurements of the ETB are presented.

The **Second Section** of the monograph is entitled «*Mathematical modeling of processes in particulate matter filter of diesel reciprocating ICE*» and includes **three** Chapters.

Chapter 2.1 of the monograph «*Selection of program complex for mathematical modeling of processes in DPF*» describes the results of a comparative analysis of official releases and research by other authors which are the specialists in CFD (Computational Fluid Dynamics) field, on the capabilities and features of major alternative software complexes for fluid motion modeling, including aerosols (at the time of modeling).

Chapter 2.2 of the monograph «*Adaptation of mathematical apparatus of program complex to studied object*» forms by data on the features of the applied mathematical apparatus of the selected software complex, in the licensed educational version of which, on the basis of the Computing center «Tensor» of NTU «KhPI», mathematical modeling of the fluid motion process in the flowing part of the FE module. The results of the solution of the test task on the geometric model of different variants of the FE module design corresponding to such variants of the TML design are presented. The features of the geometric model of the DPF as such and the calculated model of the FE module, the features of modeling of processes in porous solids, the results of supplementing the «Engineering database» of the specified software with data on the properties of the fluid (aerosol «Diesel EG – PM») and structural materials of details of the FE module (porous bodies, filling of NZ,

SSWM, steel sandblasted rolled metal), and assignment of boundary conditions. The results of simulation of the motion process of aerosol «Diesel EG – PM» in the places of installation of DPF experimental samples on ETB and ERP are presented, illustrated and described by polynomials by the method of least squares.

Chapter 2.3 of the monograph «*Calculated study of movement process of exhaust gases flow in flowing parts of working layouts of DPF of diesel engine*» presents the results of mathematical modeling of the said above process, in particular, the HR of all components of the FE module of the chosen design, which are illustrated by the flow patterns of the aerosol «Diesel EG – PM» in the flowing part of the FE module, consumption characteristics and diagrams. Such data are verified by comparison with the results of physical modeling of gas-dynamic processes in TML of FE on the ERP and the results of motor tests of working layouts of FE on the ETB. The discrepancies in the results of physical and mathematical modeling of fluid flow processes in the cassette of the FE module filled with NZ are given. Flow patterns of the dispersed phase of aerosol «Diesel EG – PM» in the flowing part of the FE module were obtained.

The ***Third Section*** of the monograph is entitled «***Experimental verification of results of modeling and obtaining of initial data set for criteria-based assessment***» and consists of **seven** sections.

Chapter 3.1 of the monograph «*Modernization of exhaust system and system of sampling of exhaust gases of engine test bench*» presents data on the modernization of the exhaust system of the MTB by supplementing it with the place of establishment of working layouts of FE of the DPF, sampling points for EG toxicity and opacity and other additional components of the MES.

Chapter 3.2 of the monograph «*Technical, economical and ecological characteristics of 2Ch10.5/12 diesel engine operation process*» included data on the description of the design and technical characteristics of the D21A1 (2Ch10.5/12) autotractor diesel engine, as well as the results of the bench motor test data processing of the RICE, not equipped with DPF, on the ETB, which is illustrated by graphs and described by polynomials using the least squares method.

Contents of **Chapter 3.3** of the monograph «*First stage of bench engine studies – comparative study of two variants of construction of working layouts of module of filter element of DPF*» forms by information about the results of a comparative experimental study of two alternative variants of the design of the working layouts of FE on the ETB. Their design «in metal» is described, the state of their structural elements after the test cycle, their operational cha-

acteristics is illustrated by graphs and described by polynomials using the least squares method. The variant of the FE module with NZ filling in mesh cassettes was selected for further studies. The tuning coefficient of mathematical models of HR and the efficiency of the DPF is proposed and determined.

Chapter 3.4 of the monograph «*Second stage of bench engine studies – study of dependences of operation characteristics of working layouts of filter element from temperature of exhaust gases of diesel engine*» contains information on determining the rational location of the working layout of the DPF along the exhaust tract of the ETB according to the results of experimental determination of dependence of operational characteristics of studied object from the magnitude of the fluid temperature at the entrance to its housing, which determines by the impact of the same factor on the thermodynamic parameters of dispersion medium of aerosol «Diesel EG – PM» and its stage of completion of the formation of its dispersed phase. Such dependencies are illustrated by graphs and described by polynomials using the least squares method. The temperature and layout coefficients of mathematical models of HR and efficiency of the DPF are proposed and determined.

Chapter 3.5 of the monograph «*Third stage of bench engine studies – study of operation characteristics of working layouts of filter element as element of exhaust system of 2Ch10.5/12 diesel engine for standardized steady testing cycles*» provides data on the experimentally obtained distributions of operating characteristics of the DPF working layout that installed on rational position of ETB exhaust tract, according to the regimes of the 13-mode standardized steady testing cycle. The intermediate results are illustrated by graphs and described by polynomials using the least squares method.

Chapter 3.6 of the monograph «*Fourth stage of bench engine studies – study of influence of duration of operation process of 2Ch10.5/12 diesel engine on maximal torque regime*» contains data on the experimental determination of the dependence of the operational characteristics of the working layout of the DPF installed on rational position of ETB exhaust tract, from the time of operation of the diesel engine at a steady regime, that is, from the dynamics of clogging of its FE by PM during its inter-regeneration period. Such dependencies are illustrated by graphs and described by polynomials using the least squares method. The time coefficient of the mathematical models of HR and efficiency of the DPF is proposed and determined.

Cited in **Chapter 3.7** of the monograph «*Exhibition sample of DPF and its approbation*» the information covers the results of designing and production of the exhibition sample of the developed DPF and participation in the competition «The best scientific exhibit of NUCD of Ukraine – 2016» and the XV International Exhibition Forum «Technologies of protection/FireTech–2016» (Kyiv, ISMSCD).

The ***Fourth Section*** of the monograph is entitled «***Practical application of improved mathematical apparatus of complex fuel and ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov***» and combines **eight** Chapters.

In ***Chapter 4.1*** of the monograph «*Analysis of ration between coefficients of cleaning efficiency of operation process of DPF for different pollutants with using of conversion formula of Prof. Igor Parsadanov*», as in all the following seven Chapters, describes the results of a computational study, which aimed to clarify the aspects of the practical application of the mathematical apparatus of the complex fuel and ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov and his conversion formula. In particular, this section develops the results of a preliminary study of the ratio between the magnitudes of efficiency coefficients of the DPF by different pollutants, using the specified conversion formula for the whole range of changes in the magnitudes of its influencing factors.

The content of ***Chapter 4.2*** of the monograph «*Improved methodica for determination of influence of hydraulic resistance of DPF on fuel efficiency of diesel engine and results of its application*» presents data on the results of the development and application of the improved methodica for determining the effect of the hydraulic resistance of the DPF on the fuel efficiency of the diesel engine, taking into account main provisions of the scientific discipline «Theory of RICE», but also the discipline «Metrology», and gives better agreement with the results of experimental studies.

Chapter 4.3 of the monograph «*Obtaining of distributions of magnitudes of technical, economical and ecological characteristics of 2Ch10.5/12 diesel engine operation process and complex fuel and ecological criterion on the its operational regimes field*» refers to the results of the calculation of the values of the specified performance indicators and the criterion for the specified technical object for all possible modes of its operation.

The data in ***Chapter 4.4*** of the monograph «*Assessment of efficiency of application of DPF for autotractor diesel engine during its inter-regeneration period with taking into account of its hydraulic resistance*», describes the results of obtaining of indicators of fuel and ecological efficiency of the application of the developed and tested DPF for 2Ch10.5/12 autotractor diesel with taking into account of its efficiency of operation and influence of its HR on the fuel efficiency of the engine for the entire inter-regeneration period of the filter for various settings of the selected criterion mathematical apparatus. The results of the calculations are illustrated by graphs and described by polynomials using the least squares method. The list of recommendations for providing ES level of emergency rescue equipment of the SES of Ukraine is formulated.

Chapter 4.5 of the monograph «*Determination of rational number of regimes in bench tests of diesel engine with taking account of prime cost of experimental study*» presents data on the results of the calculation of the rational value of the specified parameter of the calculation mash density in the field of operational regimes of the RICE for the for a predetermined limit level of methodical error of experimental obtaining of indicators of the ES level of the process of its operation with providing the ability to apply any of the known or newly developed fixed exploitation models. The results of the calculations are illustrated by graphs and described by polynomials using the least squares method.

Chapter 4.6 of the monograph «*Selection of rational structure of model of exploitation of emergency and rescue vehicle with diesel engine*» contains information on the practical application of a mathematical apparatus of a complex fuel and ecological criterion for the developing of a new exploitation model of the emergency rescue vehicle on the basis of its crew operational duty time chart, statutory requirements and known exploitation models. Not only the value of the criterion but also its value components and their proposed varieties were used to rationalize the structure of the model. On the basis of analysis of results of the research, a list of recommendations for ensuring the highest level of ES in the process of accident-free exploitation of the emergency and rescue equipment with RICE of departments of the SES of Ukraine was formulated.

Chapter 4.7 of the monograph «*Assessment of fuel and ecological efficiency of transfer of reciprocation ICE of electric vehicle on consumption of biofuel*» provides information on the practical application of a mathematical apparatus of a complex fuel and ecological criterion for evaluating the efficiency of transfer of hybrid vehicle to the consumption of pure biofuel fuel consumption. The aspects of the crisis of crude oil production as raw materials for the production of traditional motor fuel, the dynamics of the development of hybrid vehicles and the infrastructure for their maintenance, the dynamics of prices for crude oil and various types of liquid motor fuel have been performed. A comparative study of the performance of the RICE, the selected criterion and its components according to known exploitation models for all investigated methods of driving the vehicle by RICE – both electric and mechanical transmission. The data of other researchers on the differences in the physical and chemical properties of biological and mineral diesel fuels, as well as the influence of the amount of biofuels in its mixture with mineral on the technical, economic and environmental performance of diesel engine, have been analyzed. The main standardized steady test cycles for diesel generators are ranked as a function of both fuel and ecological efficiency for the use of traditional fuels and the effect of converting to consumption of pure alternative fuel.

Finally, **Chapter 4.8** of the monograph «*Assessment of ecological efficiency of transfer of diesel-generator on consumption of fuel of biological origin for developed exploitation models*», the final in its structure, describes the results of the development of steady exploitation models of the diesel generator for daily uninterrupted power supply industrial enterprise and private households on the basis of graph of the distribution of the effective power of the diesel generator during the day. Both the fuel and ecological efficiency of the power generating PP with diesel engine have been evaluated both for the use of traditional fuels and for such an effect on the conversion to pure alternative fuel consumption.

According to the results of the studies described in the monograph, a list of recommendations on ensuring the required ES level of the accident-free exploitation process of PP with RICE, especially units of emergency and rescue equipment which are on the operational duty of the units of SES of Ukraine, was formulated.

SWOT-analysis of the research results was performed.

The directions of further research are outlined in accordance with the formed strategies of SWOT-analysis.

Appendix A «*Developing of environment protection technology from harmful impact of RICE and place of DPF in it*» proposes the approach to the developing of EPT from the negative impact of the RICE in PP. Based on the proposed approach, such EPT was developed, illustrated and described its structure, its chains and links. The place of such EPT in the structure of ESMS of the exploitation process of the PP with RICE as a part of LC of such technical object and the place of DPF and criterial mathematical apparatus in such ESMS was determined.

Appendix B contains reviews of the monograph, data on authors and reviewers – in the relevant sections. Also in Appendix B is a review of the monograph of O.M. Kondratenko «*Metrological aspects of a complex criteria-based assessing of ecological safety level of exploitation of piston engines of power plants*» by Dr. Phys.-Math. Sciences, Professor O.V. Prokopov, Deputy General Director for Scientific and Metrological Work of the National Research Center «Institute of Metrology» (Kharkiv).

The monograph will be useful for scientific and engineering workers, graduate students, students and cadets who study in the fields of «Automotive transport», «Internal combustion engines», «Ecology» and «Environmental protection technologies».

*Monograph manuscript completed on March 25, 2020.
Monograph manuscript supplemented by developed EPT
on September 15, 2020.*

ВСТУП

Актуальність дослідження. Як вказано у передмові, монографію присвячено питанням здійснення математичного моделювання процесів у фільтрувальному елементі (ФЕ) фільтра твердих частинок (ФТЧ) дизельного поршневого двигуна внутрішнього згорання (ПДВЗ), фізичного моделювання вказаних процесів на безмоторній дослідницькій установці (БДУ) та експериментальної верифікації результатів такого моделювання на моторному випробувальному стенді (МВС) з автотракторним дизелем 2Ч10,5/12, а також аспектам практичного застосування розрахункового критеріального оцінювання показників рівня екологічної безпеки (ЕкБ) процесу безаварійної експлуатації енергоустановок (ЕУ) з ПДВЗ на основі вдосконаленого математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова (НТУ «ХПІ») та його формули перерахунку для потоку відпрацьованих газів (ВГ).

Актуальність тематики досліджень, висвітлених у цій монографії зумовлена результатами аналізу її відповідності змісту стандарту вищої освіти у галузі знань 18 «Виробництво та технології» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» для здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового, доктор філософії) та другого (бакалаврського) рівнів, результати якого наведено нижче.

Стандарт вищої освіти, згаданий вище, для здобувачів вищої освіти другого (бакалаврського) рівня затверджено Наказом МОН України № 1241 від 13.11.2018 р., а для третього (освітньо-наукового, доктор філософії) рівня наразі у наявності лише проект, який розглянуто Міністерством екології та природних ресурсів України та Федерацією роботодавців України, на засіданні сектору вищої освіти Науково-методичної ради Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 27.09.2016 р.), розглянуто та схвалено на засіданні підкомісії зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» Науково-методичної комісії № 10 з будівництва та технологій Науково-методичної ради Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 24.04.2018 р.).

Згідно до означеного стандарту *предметна область* спеціальності визначається як «Технології захисту навколишнього середовища та наукове вирішення природоохоронних завдань і проблем. Захист навколишнього середовища (схеми, засоби, технології захисту атмосфери та агро-сфери, водних об'єктів, рекультивації деградованих земель, кар'єрів, териконів та інших техногенних об'єктів)», *об'єкт вивчення* як «Технології захисту навколишнього середовища», *цілі навчання* як «Формування професійних компетентностей, необхідних для інноваційної науково-дослідної діяльності та впровадження сучасних технологій захисту навколишнього середовища», *теоретичний зміст предметної області спеціальності* як «Фундаментальні та прикладні наукові дослідження із розробкою технологій захисту компонентів навколишнього середовища від негативного антропогенного та техногенного впливу», *методи, методи-*

ки та технології навчання як «Методики польових і лабораторних досліджень компонентів навколишнього середовища з використанням хімічних, фізичних, фізико-хімічних, біологічних методів та ГІС технологій; збирання, обробки та інтерпретації результатів досліджень у природоохоронній сфері; методи науково-виробничої, проектної, організаційної та управлінської діяльності», інструменти та обладнання для навчання як «Сучасне технологічне і лабораторне обладнання та прилади, комп'ютерна техніка та програмне забезпечення, прилади контролю стану довкілля, природоочисне обладнання».

Таким чином, науково-технічні питання створення теоретичного та матеріального базису для послідовної комплексної розробки ФТЧ ПДВЗ як виконавчих органів технологій захисту навколишнього середовища від законодавчо нормованих полютантів у складі потоку їх ВГ та складових СУЕкБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, прогнозування й отримання їх робочих характеристик та, в решті решт, оцінювання ефекту від застосування таких пристроїв, на глибоке переконання авторів, повністю відповідає паспорту спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Поліпшення екологічних показників ПДВЗ є однією з основних задач, що стоять перед провідними фахівцями в галузі двигунобудування в усіх розвинених країнах світу. Вимоги до екологічних показників ПДВЗ є загальнообов'язковими, оскільки закріплені на законодавчому рівні – в країнах ЄС для автотракторних засобів на даний момент діють Правила ЄЕК ООН R-49 рівня EURO V, згідно з якими середньоексплуатаційний викид ТЧ з ВГ дизелів, визначений у ході стендових випробувань за стаціонарним стандартизованим випробувальним циклом ESC, не повинен перевищувати 0,02 г/(кВт·год) [1]. При цьому приведення технічного рівня дизеля в відповідність наступному рівня цих норм підвищує його собівартість на 40 %. На ТЧ припадає 20 – 45 % сумарної еквівалентної токсичності ВГ дизелів, оскільки в них містяться канцерогенні і мутагенні речовини [8].

З іншого боку, значний внесок у забруднення НПС викидом ТЧ обумовлений великою кількістю об'єктів в структурі парку АТЗ нашої країни, оснащених дизелями, що знаходяться в експлуатації понад 15 років і не мали з моменту початку експлуатації засобів зниження токсичності ВГ їх ПДВЗ, або втратили їх в силу різних обставин. Дизелізація світового парку АТЗ і широке поширення в їх конструкції систем рециркуляції ВГ, які вимагають їх обов'язкового очищення, формують потребу в розробці й впровадженні таких засобів. Особливо гостро ця проблема стає для АТЗ, що працюють в умовах обмеженого повітрообміну і в місцях скупчення людей – це маневрові тепловози, складські, кар'єрні, будівельні й шахтні машини, судна, що працюють в акваторії курортних міст, аварійно-рятувальна та військова техніка.

Провідне місце в структурі методів і засобів зниження токсичності ВГ дизелів і підготовки ВГ для рециркуляції займають різноманітні за

принципом дії системи, які очищають потік ВГ від законодавчо нормованих шкідливих речовин. Такі системи найчастіше містять ФТЧ, що видаляють ТЧ з потоку ВГ, накопичують і утримують їх в своєму ФЕ до моменту очищення самих фільтрів (регенерації). Однак, таких пристроїв притаманний ряд недоліків, таких як: висока собівартість (близько 900 \$ за ФЕ і 1200 \$ за ФТЧ), низькі показники технологічності (вимагають високої культури виробництва і експлуатації, містять складні і прецизійні конструктивні елементи і каталітичні покриття) і надійності в експлуатації (схильні до термошокового руйнування і абразивного зносу, чутливі до використання неякісних дизельних палив і моторних масел, їх ресурс складає 100 – 150 тис. км. пробігу АТЗ), а також створення порівняно високого ГО в випускній системі дизеля (3,5 – 25 кПа), періодична потреба у витратах енергії (а значить і палива) для відновлення робочих якостей (до 10 % середньоексплуатаційної питомої ефективної витрати палива дизелем). У той час як останні два недоліки є принциповими, перші три можливо подолати або зменшити шляхом розробки нових конструкцій ФТЧ і використання для їх виготовлення недефіцитних матеріалів вітчизняного походження.

Відомі зі спеціалізованої літератури підходи до проектування пристроїв для очищення аерозолів від їх дисперсних фаз, а також методи прогнозування і визначення їх робочих характеристик не враховують специфіки роботи в умовах системи випуску дизеля. Сутність спеціальних методів, за допомогою яких таку специфіку можливо врахувати, становить комерційну таємницю фірм-виробників ФТЧ.

Таким чином, рішення проблеми зменшення викиду ТЧ з потоком ВГ дизелів (нових і, особливо таких, що перебувають в експлуатації), за рахунок застосування ФТЧ вітчизняного виробництва, який не містить каталітичних покриттів, має високі показники ефективності очищення, універсальності, технологічності виготовлення та експлуатаційної надійності, і разом з тим невисокий ГО, собівартість і масогабаритні показники, є актуальним завданням, що має науковий і практичний інтерес.

Власне, вищенаведеними міркуваннями й зумовлюється в решті решт **актуальність** тематики цієї монографії.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дане наукове дослідження відображає основні результати:

– завершених держбюджетних НДР ІПМаш ім. А.М. Підгорного НАН України за темами:

«Разработка малозатратной технологии и автоматизированной системы очистки отработавших газов дизеля от твердых частиц» (№ ДР 0111U001762, 2011 – 2012 рр., **виконавець**);

«Научно-технические основы повышения уровня экономических и экологических показателей энергоустановок с ДВС за счет разработки новых структурных схем и совер-

шенствования методов использования альтернативных моторных топлив» (№ ДР 0110U002660, 2010 – 2013 рр., **виконавець**);

«Розробка наукових засад та створення методів, засобів і пристроїв ефективної адаптації транспортних ДВЗ до альтернативних палив біологічного походження» (№ ДР 0114U001438, 2014 – 2018 рр., **виконавець**);

– завершених госпрозрахункових НДР ІПМаш ім. А.М. Підгорного НАН України за темами:

«Визначення енергоекологічних характеристик етилових естерів кукурудзяної олії» (№ ДР 0114U004211, 2014 р., **виконавець**);

«Науково-технічні засади застосування у транспортних двигунах біоетанолу та біодизеля, отриманих за новітніми технологіями. Етап 2: Розрахунково-експериментальні дослідження шляхів порашення екологічних характеристик дизеля, що працює на сумішевому біодизельному паливі» (№ ДР 0113U003754, 2013 – 2014 рр., **виконавець**);

– завершених ініціативних НДР НУЦЗ України за темами:

«Теоретичні дослідження і розробка пристроїв для підвищення безпеки експлуатації енергетичних установок на базі дизельних двигунів» (№ ДР 0115U002040, 2015 – 2016 рр., **відповідальний виконавець**);

«Методологічне забезпечення критеріального оцінювання ефективності функціонування системи управління екологічною безпекою процесу експлуатації енергетичних установок аварійно-рятувальної техніки» (№ ДР 0117U002002, 2017 – 2018 рр., **відповідальний виконавець**),

– виконуваної ініціативної НДР НУЦЗ України за темою:

«Використання апарату нечіткої логіки та психофізичних шкал у критеріальному оцінюванні рівня екологічної безпеки» (№ ДР 0119U001001, 2019 – 2021 рр., **керівник**).

Тематика дослідження, відображеного у монографії, повністю узгоджується з основними пунктами *«Стратегії сталого розвитку «Україна – 2020»*, схваленої Указом Президента України № 5/2015 від 12.01.2015 року, *«Положення про організацію екологічного забезпечення ДСНС України»*, затвердженого наказом № 618 (з основної діяльності) від 20.09.2013 року, а також *«Типового положення про регіональну та місцеву комісію з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій»*, затвердженого Постановою Кабінету міністрів України № 409 від 17.06.2015 року.

Методами дослідження є аналіз науково-технічної, нормативної, довідникової та патентної літератури; аналіз систем управління екологічною безпекою; принципи системного підходу, багаторівневої декомпози-

ції, аналізу ієрархічних структур, десятичного поділу; методики аналізу даних стендових моторних випробувань, розрахунку середньоексплуатаційних значень техніко-економічних і екологічних показників роботи ПДВЗ за стандартизованими стаціонарними випробувальними циклами; математичні моделі гідравлічного опору ФТЧ та ефективності роботи ФТЧ; методика розрахункової оцінки впливу гідравлічного опору елементів випускної системи ПДВЗ на його паливну економічність; вдосконалена методика застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. Ігоря Парсаданова; метод найменших квадратів; методи кінцевих об'ємів, розщеплення операторів, фіктивних областей та вза'ємопроникних континуумів при математичному моделюванні руху реального газоподібного аерозольного текучого середовища системою рівнянь Нав'є-Стокса; метод холодної продувки при фізичному моделюванні газодинамічних процесів; проектування та виготовлення експериментальних діючих зразків, лабораторного обладнання та виставкових експонатів, положення наукових дисциплін «Теорія ПДВЗ», «Метрологія», «Системи управління екологічною безпекою», «Технології захисту навколишнього середовища».

Метою даного дослідження є створення методологічних та матеріальних основ послідовної комплексної розробки агрегатів системи нейтралізації законодавчо нормованих поллютантів у потоці ВГ ЕУ з ПДВЗ як виконавчих органів технології захисту навколишнього середовища та реалізація такого алгоритму на прикладі ФТЧ автотракторного дизеля.

Об'єктом даного дослідження є ФТЧ дизельного ПДВЗ як виконавчий орган технології захисту навколишнього середовища від законодавчо нормованих поллютантів у складі аерозольних викидів ЕУ.

Предметом даного дослідження є особливості конструкції та процеси, що мають місце у об'єкті дослідження.

Завданням даного дослідження є втілення ідеї нової конструкції ФТЧ, сформульованої за результатами аналізу спеціалізованої літератури та у відповідності до розробленої системи управління екологічною безпекою й розроблених ієрархічних класифікаторів таких пристроїв, у декількох варіантах конструкції діючих макетних зразків, перебіг та особливості процесів у яких піддати фізичному та математичному моделюванню на створеному лабораторному обладнанні та адаптованому програмному CFD-комплексі, результати яких ідентифікувати й верифікувати у ході стендових моторних досліджень на модернізованому лабораторному обладнанні, та оцінювання отриманого ефекту від застосування означеного виконавчого органу технології захисту навколишнього середовища шляхом здійснення комплексного критеріального розрахункового порівняльного оцінювання модернізованим математичним апаратом, побудова виставкового зразка такого ФТЧ, котрий для апробації та впровадження у навчальний процес, підготовка комплексу документів для подачі заявки на патент України на корисну модель.

Задачами даного дослідження є наступні пункти.

1. Аналіз науково-технічної, довідникової, нормативної та патентної літератури за темою дослідження, СУЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ, ієрархічних класифікаторів факторів ЕкБ, джерелом яких є ПДВЗ, способів та засобів очищення потоку ВГ ПДВЗ від законодавчо нормативних полютантів, способів та засобів здійснення регенерації агрегатів системи нейтралізації таких полютантів у потоці ВГ.

2. Планування, підготовка і здійснення фізичного моделювання процесу руху реального аерозольного текучого середовища у проточній частині модуля ФТЧ дизельного ПДВЗ – на безмоторній дослідницькій установці, та аналіз його результатів.

3. Планування, підготовка і здійснення математичного моделювання процесу руху реального аерозольного текучого середовища у проточній частині модуля ФТЧ дизельного ПДВЗ та аналіз його результатів.

4. Планування, підготовка і здійснення поетапного експериментального дослідження робочих характеристик розробленого ФТЧ в умовах експлуатації, наближених до реальних, – на моторному випробувальному стенді з автотракторним дизелем 2Ч10,5/12, верифікація й ідентифікація результатів математичного моделювання, аналіз його результатів.

5. Планування, підготовка і здійснення оцінювання ефективності застосування розробленого ФТЧ як виконавчого органу технології захисту навколишнього середовища шляхом виконання розрахункового порівняльного критеріального дослідження.

6. Планування, підготовка і здійснення досліджень щодо практичного застосування вдосконаленого математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію проф. Ігоря Парсаданова у напрямку забезпечення певного рівня ЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

7. Виконання SWOT-аналізу результатів дослідження.

8. Побудова та описання схеми ТЗНС від негативного впливу ПДВЗ у складі ЕУ. Визначення місця такої ТЗНС у структурі СУЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ як частини ЖЦ такого технічного об'єкту, а також місця ФТЧ та критеріального математичного апарату в такій СУЕкБ.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому.

1. Запропоновано вдосконалену конструкцію ФТЧ дизельного ПДВЗ з модульним рознімним ФЕ зі сталевого листового прокату з насипанням з природного сорбенту у сітчастих касетах без каталітичного покриття, котрий реалізує комбінований спосіб очищення потоку ВГ від ТЧ, що полягає у комплексному використанні ефекту інерційного впливу на ТЧ, процесів фільтрації та адсорбції.

2. Вдосконалено комплекс методик та матеріальних засобів для комплексного та послідовного фізичного моделювання процесів у ФТЧ та випробувань ФТЧ у реальних умовах експлуатації.

3. Вдосконалено математичну модель руху аерозолю «ВГ дизеля – ТЧ» у проточній частині модуля ФЕ ФТЧ шляхом адаптації до об'єкту мо-

делювання й отримання граничних умов за результатами фізичного моделювання, ідентифікація та верифікація якої здійснюється за результатами фізичного моделювання такого процесу та стендових моторних випробувань.

4. Вдосконалено комплекс математичних моделей гідравлічного опору та ефективності роботи ФТЧ, а також методик визначення впливу ФТЧ на паливну економічність дизельного ПДВЗ та співвідношення показників його ефективності роботи.

5. Вперше оцінено паливно-екологічну ефективність застосування ФТЧ для дизельного ПДВЗ як виконавчого органу технології захисту навколишнього середовища від викидів законодавчо нормованих поллютантів з урахуванням його показників роботи впродовж міжрегенераційного періоду.

6. Вперше оцінено раціональну щільність розрахункової сітки при стендових моторних дослідженнях показників рівня ЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ.

7. Вперше запропоновано раціональні структури моделей експлуатації ПДВЗ аварійно-рятувального транспортного засобу та дизель-генератора для безперервного цілодобового енергопостачання.

8. Вперше оцінено паливно-екологічну ефективність переведення ПДВЗ гібридного АТЗ та дизель-генератора для безперервного цілодобового енергопостачання на споживання моторного палива біологічного походження.

9. Вперше запропоновано підхід до побудови ТЗНС від негативного впливу ПДВЗ у складі ЕУ. Вперше визначено місце такої ТЗНС у структурі СУЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ як частини ЖЦ такого технічного об'єкту, а також місце ФТЧ та критеріального математичного апарату в такій СУЕкБ.

Практична цінність отриманих результатів полягає у такому.

1. Запропонована вдосконалена конструкцію ФТЧ дизельного ПДВЗ з модульним рознімним ФЕ зі сталевого листового прокату з насипанням з природного сорбенту у сітчастих касетах, котрий реалізує комбінований спосіб очищення потоку ВГ від ТЧ, *придатна* для побудови на її основі типорозмірного ряду таких виконавчих пристроїв технології захисту навколишнього середовища для ПДВЗ різних типів та потужності, а також систем рециркуляції ВГ, що особливо актуально для ПДВЗ, що вже перебувають в експлуатації тривалий час.

2. Вдосконалений комплекс методик та матеріальних засобів для фізичного моделювання процесів у ФТЧ та випробувань ФТЧ у реальних умовах експлуатації, а також вдосконалена математична модель руху аерозолі «ВГ дизеля – ТЧ» у проточній частині модуля ФЕ ФТЧ *придатні* для здійснення подальших досліджень процесів та характеристик ФТЧ як запропонованої (оптимізація, доводка тощо), так і нових альтернативних перспективних конструкцій.

3. Вдосконалений комплекс математичних моделей гідравлічного опору та ефективності роботи ФТЧ, а також методик визначення впливу ФТЧ на паливну економічність дизельного ПДВЗ та співвідношення показників його ефективності роботи *придатний* для отримання набору вихідних даних при здійсненні комплексного розрахункового критеріально-го оцінювання рівня значень показників ЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ у випадку обладнання його випускної системи ФТЧ.

4. Результати оцінювання паливно-екологічної ефективності застосування ФТЧ для дизельного ПДВЗ як виконавчого органу технології захисту навколишнього середовища від викидів законодавчо нормованих поллютантів *придатні* для того, щоб виступити обґрунтуванням розширення й вдосконалення екологічного законодавства у транспортній галузі.

5. Результати оцінювання раціональної щільності розрахункової сітки при стендових моторних дослідженнях показників рівня ЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ *придатні* для розробки рекомендацій щодо зниження собівартості, працезатрат та витрат часу при здійсненні таких експериментальних досліджень при встановленому рівні значення відповідної частини методичної складової повної результуючої похибки.

6. Запропоновані раціональні структури моделей експлуатації ПДВЗ аварійно-рятувального транспортного засобу та дизель-генератора для безперервного цілодобового енергопостачання *придатні* для розробки рекомендацій щодо планування діяльності та прийняття керуючих рішень у сфері цивільного захисту.

7. Результати оцінювання паливно-екологічної ефективності переведення ПДВЗ гібридного АТЗ та дизель-генератора для безперервного цілодобового енергопостачання на споживання моторного палива біологічного походження *придатні* для того, щоб виступити обґрунтуванням доцільності розбудови альтернативної енергетики, зокрема виробництва та дистрибуції відновлюваних джерел енергії.

8. Сформульований за результатами SWOT-аналізу перелік рекомендацій і стратегій щодо практичного застосування результатів дослідження *придатний* для розробки заходів щодо підвищення рівня ЕкБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, зокрема одиниць аварійно-рятувальної техніки підрозділів ДСНС України.

9. Запропонований підхід до побудови ТЗНС від негативного впливу ПДВЗ у складі ЕУ *придатний* для застосування до широкого спектру видів ЕУ з ПДВЗ будь-якого типу. Інформація щодо місця такої ТЗНС у структурі СУЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ як частини ЖЦ такого технічного об'єкту *придатна* для подальшого використання при розбудові теоретичних та методологічних основ ЕкБ та ТЗНС. Інформація щодо місця ФТЧ та критеріального математичного апарату в такій СУЕкБ *придатна* для подальшого використання при розбудові теоретичних основ розробки виконавчих пристроїв ТЗНС.

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

- у практиці виробничої діяльності ПП «АВТОТРАНС–Т» (м. Балаклея) (акт про впровадження);
- в науково-дослідній роботі та навчальному процесі (при підготовці аспірантів за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки) відділу водневої енергетики (до 2016 р. – відділу поршневих енергоустановок) Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України (м. Харків) (акт про впровадження та 6 довідки про використання);
- у навчальному процесі кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків) (акт про впровадження);
- у практиці виробничої діяльності управління з модернізації та ремонту вертолітної техніки АТ «МОТОР СІЧ» (м. Запоріжжя) (акт про впровадження);
- у навчальному процесі кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища (до 15.10.2018 р. – кафедри прикладної механіки) факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України (м. Харків) (при підготовці здобувачів вищої освіти за першим (бакалаврським), другим (магістерським) та третім (доктор філософії) рівнями за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища» та ад'юнкта за спец. 21.06.01 – екологічна безпека) (2 акти про впровадження та 3 довідки про використання).
- у практиці виробничої діяльності авто-тракторного парку ПрАТ «Зміївська овочева фабрика» (м. Зміїв) (довідка про використання);
- у практиці виробничої діяльності ТОВ «НВП АСТЕРА» (м. Харків) (акт про впровадження);
- у практиці виробничої діяльності ПП «Автотранс М» (м. Балаклея) (довідка про використання);
- у практиці виробничої діяльності ТОВ «ПМК 1» (м. Балаклея) (довідка про використання);
- у практиці господарської діяльності ТОВ «Торгівельна фірма «ФЕНІКС – С» (м. Харків) (довідка про використання).

Матеріали дослідження опубліковано у 260 працях, а саме: 4 монографіях (з яких 1 іноземною мовою, 1 видана у країні Європейської Спільноти – Республіці Польщі, 1 – одноосібно), 83 статтях (з яких 19 у закордонних виданнях (Російська Федерація, Республіка Білорусь, Республіка Казахстан, Республіка Польща), 26 іноземною мовою, 4 індексованих у наукометричній базі Scopus, 4 у електронних виданнях), 1 рукописі дисертації, 1 авторефераті, 8 звітах про НДР, тезах 156 доповідей (з яких 10 у матеріалах закордонних конференцій, 60 іноземною мовою, 40 у матеріалах міжнародних конференцій), 27 конкурсних наукових робіт студентів та курсантів, 7 з яких посіли призові місця на всеукраїнських та міжнародних конкурсах, 1 рукописі конкурсної наукової роботи молодого вченого (див. додаток Б).

Матеріали дослідження пройшли апробацію на 101 науково-технічних, науково-практичних і науково-методичних конференціях, 12 підсумкових конференціях конкурсів студентських наукових робіт та 12 конгресах, 1 симпозиумі, 1 виставковому форумі (всього – 126 заходів), а саме: 20 закордонних (Російська Федерація, Республіка Білорусь, Республіка Казахстан, Республіка Польща), 82 міжнародного рівня і 30 загальнодержавного рівня (див. додаток Б).

За результатами здійснених досліджень підготовлено 27 наукових робіт членів науково-технічного товариства курсантів, студентів та молодих вчених кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища НУЦЗ України, з яких: 25 для участі у Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук, 1 для участі у Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт та 1 для участі у обласному конкурсі «Найкращий молодий науковець Харківщини». Серед них: 27 робіт перемогли у I турі та 6 робіт посіли призові місця у II турі Всеукраїнського конкурсу; 1 робота посіла призове місце у Міжнародному конкурсі (див. додаток Б).

За результатами здійснених досліджень троє членів науково-технічного товариства курсантів, студентів та молодих вчених кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища НУЦЗ України висунуто на здобуття й удостоєно іменних стипендій: курсант Єжелій 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 522 стор., з яких 415 стор. основного тексту, містить список умовних позначень та скорочень на 4 стор., передмову на 16 стор., вступ на 22 стор., чотири глави, 22 розділи, загальні висновки на 14 стор., список з 140 джерел посилання на 10 стор., три додатки на 50 стор., відомості про авторів та рецензентів на 8 стор. У тексті монографії присутні 256 рисунків, 64 таблиць, 155 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 *А. П. Марченку* (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»), д. т. н., професору *В. А. Андронову* (Національний університет цивільного захисту України), 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. Левтерову* (Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України), к. т. н., с. н. с. *А. М. Авраменку* (Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України), к. т. н., доценту *І. П. Васильєву* (Східноукра-

їнський національний університет ім. В. Даля), провідному інженеру *В. М. Семикіну* (Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України), викладачу вищої категорії *Л. І. Ровенському* (Харківський механічний технікум ім. О. О. Морозова), к.т.н., доценту *І. В. Міщенку* та викладачу *В. П. Щербакову* (Харківське вище професійне училище № 6).

Структура даного дослідження, що також являє собою його алгоритм і включає в себе 12 послідовних кроків, представлена на рис. В.1.

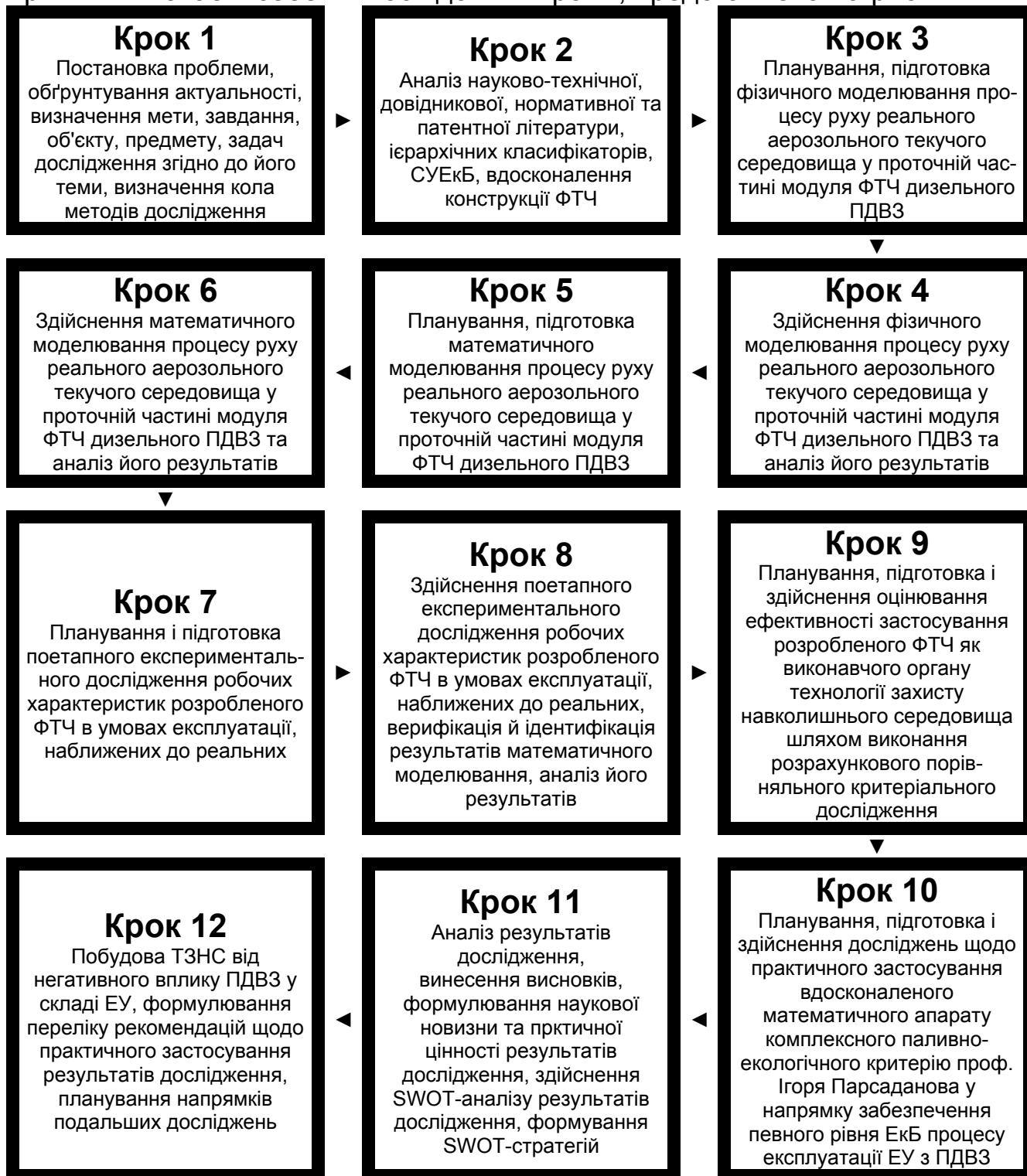


Рис. В.1 – Структура дослідження

INTRODUCTION

Relevance of the study. As mentioned in the Preamble, the monograph is devoted to the issues of mathematical modeling of processes in the filter element (FE) of a particulate matter filter (DPF) for diesel reciprocating internal combustion engine (RICE), physical modeling of these processes on the engineless research plant (ERP) and on the engine test bench (ETB) with the 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine, as well as aspects of practical application of the calculated criteria-based assessment of the ecological safety (ES) level of the accident-free exploitation process of power plants (PP) with RICE on the basis of improved mathematical apparatus of complex fuel-ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov (NTU «KhPI») and its conversion formula for the exhaust gas (EG) flow.

The relevance of the study topic covered in this monograph is due to the results of the analysis of its compliance to the content of the higher education standard in the field of knowledge 18 «Production and technology» specialty 183 «Environmental protection technologies» for the third level of higher education students (PhD) and for the second level (bachelor), the results of which are given below.

The higher education standard mentioned above is approved for the second (bachelor) level of higher education applicants by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1241 of 13.11.2018, and the standard for the third (PhD) level is currently available only in form of the project considered by the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine and the Federation of Employers of Ukraine, at the meeting of the Higher Education Sector of the Scientific and Methodological Council of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Protocol № 7 of 27.09.2016), was considered and approved at the meeting of the Subcommittee on specialty 183 «Environmental protection technologies» of Scientific and technical committee № 10 in construction and technology of Scientific and Methodological Council of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Protocol № 7 of 24.04.2018).

According to the standards for defined education level, the *subject area of the specialty* is defined as «Technologies for environmental protection and scientific solution of environmental problems and problems. Environmental protection (schemes, facilities, technologies for protection of the atmosphere and agrosphere, water bodies, reclamation of degraded lands, quarries, waste heaps and other man-made objects)», *object of study* as «Environmental protection technologies», *objectives training* as «Formation of professional competences necessary for innovative research activity and introduction of modern technologies of environmental protection», *theoretical content of the subject area of specialty* as «Fundamental and applied scientific researches on development of technologies of protection of environment components from negative anthropogenic and technogenic influence», *methods, methods and technologies of training* as «Methods of field and laboratory researches of components of environment using chemical, physical, physical-chemical,

biological methods and GIS technologies; collecting, processing and interpreting research findings in the environmental field; methods of scientific-production, design, organizational and management activity», *tools and equipment for training* as «Modern technological and laboratory equipment and devices, computer equipment and software, environmental control devices, environment cleaning equipment».

Thus, the scientific and technical questions of creation of theoretical and material basis for the sequentially complex development of the DPF for RICE as the executing devices of environmental protection technologies from the legislative normalized pollutants in their EG flow and the components of the ESMS of process of accident-free exploitation process of PP with RICE, predicting and obtaining their performance characteristics and, ultimately, assessment of effect from application of such devices, on the authors' deep conviction, fully complies with the passport of specialty 183 «Environmental protection technologies».

Improving the ecological performance of RICE is one of the main tasks for leading engineers in all developed countries. Requirements for ecological indicators of RICE are mandatory, as they are legislative normalized – in EU countries, currently, the UNECE R-49 EURO V Regulations are in force for motor vehicles, according to which the middle exploitation emission of PM from EG of diesel engine is determined during tests on the standardized steady testing cycle ESC shall not exceed 0.02 g/(kW·h) [1]. In this case, bringing the technical level of the diesel engine to the next level of these standards increases its cost by 40 %. On PM fraction accounts for 20 – 45 % of the total equivalent toxicity of EG of diesel engine, since they contain carcinogenic and mutagenic substances [8].

On the other hand, a significant contribution to the pollution of environment by PM emissions is due to the large number of objects in the structure of our vehicle fleet, equipped with diesel engines, which have been in exploitation for more than 15 years and have not had any means of reducing the toxicity of their EG since the beginning of exploitation or lost their due to different circumstances. The dieselation process of the vehicle's World Park and the widespread use of EG recirculation systems in their construction, which require their mandatory cleaning, form the need for the development and implementation of such devices. Particularly acute this problem becomes for vehicles that operating in conditions of limited air exchange and in places of congestion of people – these are shunting locomotives, warehouses, quarrises, construction and mine machines, ships working in the water area of resort cities, emergency, rescue and military equipment.

The leading role in the structure of methods and means of reducing the toxicity of diesel engine EG and preparation of EG for recycling are occupied by various principles of operation of the system, which purify the EG flow from legislative normalized harmful substances. Such systems most often contain DPF that remove PM from the EG flow, accumulate and retain them in their FE until the filters are cleaned by themselves (regeneration process). Howe-

ver, such devices have a number of disadvantages, such as: high cost (about \$ 900 per FE and \$ 1200 per DPF), low manufacturability (requiring a high culture of production and exploitation, containing complex and precision structural elements and catalytic coatings) and low reliability in exploitation (prone to shock destruction and abrasive wear, sensitive to the use of low-quality diesel fuels and motor oils, their resource is 100 – 150 thousand km of vehicle run), as well as the creation of a relatively high HR in the diesel exhaust system (3.5 – 25 kPa), recurrent needs for energy consumption (and hence – motor fuel) to restore the operation state (10 % of middle exploitation specific effective mass hourly fuel consumption). While the last two drawbacks are fundamental, the first three can be overcome or reduced by developing new DPF designs and using them to produce non-deficient materials of domestic origin.

Known approaches from the specialized literature to the designing of devices for purification of aerosols from their dispersed phases, as well as methods for prediction and determination of their performance do not take into account the specifics of operation in the conditions in the diesel exhaust system. The essence of the special methods by which such specificity can be taken into account is the trade secret of the manufacturers of the DPF.

Thus, the solution of the problem of reducing the emission of PM with the EG flow of diesel engines (new and, especially, which are in exploitation) due to the use of domestic-made DPF, which does not contain catalytic coatings, has high rates of cleaning efficiency, versatility, manufacturability and operational reliability, and at the same time low HR, cost and weight-size indicators, is an urgent task that has scientific and practical interest.

So, the worded above considerations determine the **relevance** of the topic of this monograph.

Communication with scientific programs, plans, topics. This scientific study reflects the main results of following scientific research works:

– completed state budget SRWs of A.M. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine by topics:

*«Development of low-cost technology and an automated system for cleaning of diesel exhaust gases from particulate matters» (SR № 0111U001762, 2011 – 2012, **performer**);*

*«Scientific and technical foundations for increasing the level of economic and environmental indicators of power plants with internal combustion engines by developing new structural schemes and improving methods for using alternative motor fuels» (SR № 0110U002660, 2010 – 2013, **performer**);*

*«Development of science ambushes and methods, the need for efficient adaptation of transport ICE to alternative fuels of biological expedition» (SR № 0114U001438, 2014 – 2018, **performer**);*

– completed self-supporting SRWs of A.M. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine by topics:

«*Determination of energy-ecological characteristics of corn oil ethyl esters*» (SR № 0114U004211, 2014, **performer**);

«*Scientific and technical principles of application in the transport engines of bioethanol and biodiesel obtained by the latest technologies. Stage 2: Design and experimental studies of ways of increasing the environmental performance of diesel powered by mixed biodiesel fuel*» (SR № 0113U003754, 2013 – 2014, **performer**);

– completed initiative SRWs of the National University of Civil Defence of Ukraine on the following topics:

«*Theoretical research and development of devices for increasing the safety of operation of power plants based on diesel engines*» (SR № 0115U002040, 2015 – 2016, **responsible performer**);

«*Methodological support for the criteria-based assessment of efficiency of functioning of the system of ecological safety management of the process of exploitation of power plants of emergency and rescue equipment*» (SR № 0117U002002, 2017 – 2018, **responsible executor**),

– performed initiative SRW of the National University of Civil Defence of Ukraine on the following topic:

«*Using of fuzzy logic apparatus and psychophysical scales in the criteria-based assessment of ecological safety level*» (SR № 0119U001001, 2019 – 2021, **head**).

Topic of the study reflected in the monograph is fully consistent with the main points of the «Strategy for Sustainable Development «Ukraine – 2020», approved by Presidential Decree № 5/2015 of 12.01.2015, «Regulation on the Organization of Environmental Support of the SES of Ukraine», approved by Order № 618 (from main activity) of 20.09.2013, as well as «Typical Regulations on Regional and Local Commission on Technogenic and Ecological Safety and Emergency Situations», approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 409 of 17.06.2015.

Methods of the study are the followings: analysis of scientific, technical, regulatory, reference and patent literature; analysis of ecological safety management systems; principles of systematic approach, multilevel decomposition, analysis of hierarchical structures, tenth division; methods of analysis of bench motor test data, calculation of middle exploitation values of technical, economic and ecological performance of RICE on standardized steady testing cycles; mathematical models of HR of DPF and the efficiency of PDF; the method of calculation of the influence of HR of the elements of the exhaust system of diesel engine fuel economy; improved methodica of application of complex fuel and ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov; least squa-

res method; methods of finite volumes, splitting of operators, dummy regions and interpenetrating continuums in mathematical modeling of the motion of a real gaseous aerosol fluid by the Navier-Stokes equation; method of cold purging in the physical modeling of gas-dynamic processes; design and production of experimental working layouts, laboratory equipment and exhibit sample, provisions of scientific disciplines «Theory of RICE», «Metrology», «Ecological Safety Management Systems», «Environment Protection Technologies».

Purpose of the study is to create the methodological and material bases for the sequential complex development of the components of the system of neutralization of legislative normalized pollutants in the EG flow of PP with RICE as the executing devices of environmental protection technology and the implementation of such algorithm on the example of the DPF for autotractor diesel engine.

Object of the study is the DPF of diesel RICE as the executive device of environmental protection technology against legislative normalized pollutants in composition of PP with RICE aerosol emission.

Subject of the study is the constructive features and processes that take place in the object of the study.

Problem of the study is to implement the idea of a new design of the DPF, formulated as the results of the analysis of specialized literature and in accordance with the developed of ecological safety management system and developed hierarchical classifiers of such devices, in several variants of the design of the its working layouts, the flow and features of physical processes modeling on the created laboratory equipment and the adapted software CFD-complex, the results of which are identified and verified in the course of bench motor studies on the modernized laboratory equipment, and evaluation of the effect obtained from the use of the designated executive device of environmental protection technology by performing a complex calculated comparative criteria-based assessment using the modernized mathematical apparatus, the construction of an exhibition sample of such DPF, which preparation of a set of documents for applying for a patent of Ukraine for utility model.

Tasks of the study are in the following points.

1. Analysis of scientific and technical, reference, normative and patent literature on the topic of the study, ESMS of exploitation process of the PP with RICE, hierarchical classifiers of ES factors, the source of which is RICE, methods and means of purification of the EG flow of RICE from the legislative normalized pollutants and means for regeneration of aggregates of the system of neutralization of such pollutants in the EG flow.

2. Planning, preparation and implementation of physical modeling of the process of motion of a real aerosol fluid in the flowing part of the DPF module of the diesel RICE on a engineless research plant, and analysis of its results.

3. Planning, preparation and implementation of mathematical modeling

of the process of motion of a real aerosol fluid in the flowing part of the DPF module of diesel RICE and analysis of its results.

4. Planning, preparation and implementation of a step-by-step experimental study of the performance characteristics of the developed DPF under operating conditions, close to real ones, on a engine test bench with a 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine, verification and identification of mathematical modeling results, analysis of its results.

5. Planning, preparation and implementation of the evaluation of the efficiency of application of the developed DPF as the executive device of environmental protection technology by performing the calculated comparative criteria-based assessment.

6. Planning, preparation and implementation of studies on the practical application of the improved mathematical apparatus of the complex fuel and ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov in the direction of ensuring a certain ES level in the exploitation process of PP with RICE.

7. SWOT-analysis of the results of the study.

8. Developing and description of the scheme of EPT from the negative impact of the RICE in PP. Determining the place of such EPT in the structure of ESMS of the exploitation process of PP with RICE as a part of LC of such technical object, as well as the place of DPF and criterial mathematical apparatus in such ESMS.

Scientific novelty of results of the study is on following.

1. Improved construction of the DPF of diesel RICE with modular detachable FE of steel rolled sheet with natural sorbent filling in mesh cartridges without catalytic coating, which implements a combined method of cleaning the EG flow from PM, which is complex effects of inertial influence on PM, filtration and adsorption.

2. It was improved the complex of methods and material means for complex and consecutive physical modeling of the processes in the DPF and tests of the DPF under conditions of real exploitation.

3. It was improved the mathematical model of motion of aerosol «Diesel EG – PM» in the flowing part of the module of FE of DPF by adaptation to the object of modeling and obtaining boundary conditions by the results of physical modeling, the identification and verification of which is carried out as a result of physical simulation of such a process and bench motor tests.

4. It was improved the complex of mathematical models of hydraulic resistance and efficiency of the DPF, as well as the methods for determining the influence of the DPF on the fuel efficiency of diesel RICE and the ratio between DPF performance indicators.

5. For the first time, the fuel and ecological efficiency of the use of DPF for diesel RICE as an executing device of environmental protection technology against the emissions of legislative normalized pollutants was assessed with taking into account its performance during the inter-regeneration period.

6. For the first time, the rational density of the computational mash in

bench motor tests of the ES level indicators of exploitation process of PP with the RICE was evaluated.

7. For the first time, rational structures of exploitation models of the RICE of emergency and rescue vehicle and a diesel generator for continuous daily energy supply have been proposed.

8. For the first time, fuel and ecological efficiency of transfer of RICE of hybrid vehicle and diesel generator for continuous daily energy supply for the consumption of motor fuel of biological origin was evaluated.

9. For the first time, the approach to the developing of EPT from the negative impact of the RICE in PP was proposed. For the first time, the place of such EPT in the structure of ESMS of the exploitation process of PP with RICE as a part of LC of such technical object, as well as the place of DPF and criterial mathematical apparatus in such ESMS.

Practical value of results of the study is on following.

1. Improved construction of the DPF for diesel RICE with modular detachable FE of steel rolled sheet with filling of natural sorbent in mesh cassettes, which implements a combined method of cleaning the EG flow from PM, are *suitable* for designing of dimension-type series of such device for different types and effective power of RICE, as well as EG recirculation systems, which are in exploitation for a long time.

2. Improved complex of methods and material means for physical modeling of processes in the DPF and DPF tests under real exploitation conditions, as well as an improved mathematical model of the motion of aerosol «Diesel EG – PM» in the flow part of the DPF module are *suitable* for carrying out further studies of the processes and characteristics of DPF of both proposed (optimization, refinement, etc.) and new alternative perspective constructions.

3. Improved complex of mathematical models of hydraulic resistance and efficiency of the DPF, as well as methods of determining the influence of the DPF on the fuel efficiency of diesel RICE and the ratio between DPF efficiency indicators are *suitable* for obtaining a set of initial data for the implementation of a complex criteria-based calculation of the level of magnitudes of the ES of PP with RICE in case of equipment of its exhaust system by the DPF.

4. Results of assessment of fuel and ecological efficiency of application of DPF for diesel RICE as the executing device of environmental protection technology from legislative normalized pollutants are *suitable* to grounding the expansion and improvement of environmental legislation in the transport sector.

5. Results of the assessment of rational density of the calculation mash in bench motor studies of the ES level of exploitation process of PP with RICE are *suitable* for the development of list of recommendations for reducing the monetary cost, labor costs and time spent in carrying out of such experimental studies at the at the preset level of the magnitude of correspon-

ding part of the methodical component of the total error.

6. Proposed rational structures of exploitation models of emergency and rescue vehicle and diesel generator for continuous daily power supply are *suitable* for development of recommendations list on planning of activity and decision-making in the field of civil defence.

7. Results of assessment the fuel and ecological efficiency of transfer of RICE of hybrid vehicle and diesel generator for continuous daily energy supply for the consumption of motor fuel of biological origin are *suitable* for substantiation the developing of alternative energy, in particular the production and distribution of renewable energy sources.

8. List of recommendations and strategies for the practical application of the study results, formulated by the results of the SWOT-analysis, is *suitable* for the development of measures to increase the ES level of the process of accident-free exploitation process of PP with RICE, in particular units of emergency and rescue equipment of departments of the SES of Ukraine.

9. The proposed approach to the developing of EPT from the negative impact of the RICE in PP is *suitable* for application to a wide range of PP types with RICE of any type. Information on the place of such EPT in the structure of ESMS of the exploitation process of PP with RICE as part of the LC of such a technical object is *suitable* for further use in the development of theoretical and methodological foundations of ES and EPT. Information on the place of the DPF and the criterial mathematical apparatus in such ESMS is *suitable* for further use in the development of the theoretical foundations of the development of executive devices of EPT.

Results of the study included in the monograph have found the following **implementation**:

– in the practice of production activity of PE «AVTOTRANS-T» (Balakleya city) (act on implementation);

– in research work and educational process (for postgraduate students in the specialty 05.05.03 – engines and power plants) of the Department of Hydrogen Energy (until 2016 – Department of Piston Power Plants) of the A.M. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine (Kharkiv city) (act on implementation and 6 certificates of using);

– in the educational process of the Department of Internal Combustion Engines of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Kharkiv city) (act on implementation);

– in the practice of production activity of the Department for Modernization and Repair of Helicopter Equipment of JSC «MOTOR SICH» (Zaporizhzhia city) (act on implementation);

– in the educational process of the Department of Applied Mechanics and Environmental Protection Technologies (until 15.10.2018 – Department of Applied Mechanics) of the Faculty of Technogenic and Ecological Safety of the National University of Civil Defence of Ukraine (Kharkiv city), (for higher education applicants for the first (bachelor's), second (master's) and third

(Ph.D.) levels in the specialty 183 «Environmental technologies» and adjunct for specialty 21.06.01 – ecological safety) (2 acts on implementation and 3 certificates of using).

– in the practice of production activity of the auto-tractor park of PJSC «Zmiiv Vegetable Factory» (Zmiiv city) (certificate of using);

– in the practice of production activity of LLC «RPE ASTERA» (Kharkiv city) (act on implementation);

– in the practice of production activity of PE «Autotrans M» (Balakleya city) (certificate of using);

– in the practice of production activity of LLC «PMK 1» (Balakleya city) (certificate of using);

– in the practice of economic activity of LLC «Traiding firm «FENIKS – S» (Kharkiv city) (certificate of using).

Materials of the study were **published** in 260 papers, namely: 4 monographs (of which 1 in a foreign language, 1 published in the European Union country – the Republic of Poland, 1 – alone), 83 articles (19 of which were in foreign editions (Russian Federation, Republic of Belarus, Republic of Kazakhstan, Republic of Poland), 26 in foreign language, 4 indexed in Scopus scientific-metric database, 4 in electronic publications), 1 dissertation manuscript, 1 autoreferate, 8 reports on RSW, abstracts of 156 reports (10 of which in foreign conferences, 60 in foreign languages, 40 in materials of international conferences), 27 competitive scientific works of students and cadets, 7 of which won prizes at National and International competitions, 1 manuscript of competitive scientific work of a young scientist (see Appendix B).

Materials of the study were **approved** at 101 scientific-technical, scientific-practical and scientific-methodological conferences, 12 final conferences of competitions of student scientific works and 12 congresses, 1 symposium, 1 exhibition forum (total – 126 events), namely: 20 foreign (Russian Federation, Republic of Belarus, Republic of Kazakhstan, Republic of Poland), 82 of international level and 30 of national level (see Appendix B).

According to the results of the study, 27 scientific papers of the members of the Scientific and Technical Society of Cadets, Students and Young Scientists of the Department of Applied Mechanics and Environmental Protection Technologies of the National University of Civil Defence of Ukraine were prepared, of which: 25 for participation in the All-Ukrainian competition of student scientific works in natural, engineering and humanities sciences and 1 for participation in the International competition of student scientific works and 1 for participation in the regional competition «The best young scientist of Kharkiv region». Among them: 27 won the first round and 6 won the second round of the All-Ukrainian Competition; 1 work won a prize in the International Competition (see Appendix B).

According to the results of the studies, three members of the Scientific and Technical Society of Cadets, Students and Young Scientists of the Department of Applied Mechanics and Environmental Protection Technologies

of the National University of Civil Defence of Ukraine were nominated and awarded with scholarships: cadet Olexiy Ezheliy (2015), cadet Olga Polikanova (2017) – Scholarship to named after Olexandr Maselsky, cadet Maryna Achkasova (2017) – Kharkiv Mayor Scholarship «Gifted».

Structure and scope of work. The monograph is set out on 522 pages, of which 415 pages is the main text, contains a List of symbols and abbreviations on 4 pages, a Preamble on 16 pages, Introduction on 22 pages, 4 Sections, 22 Chapters, General conclusions on 14 pages, a List of 140 sources of reference on 10 pages, 3 Appendixes on 50 pages, Information about authors and reviewers on 8 pages. The text of the monograph contains 256 figures, 64 tables, 155 formulas.

Words of gratitude. The author's team is grateful for the advisory and practical assistance in obtaining the scientific data that formed the basis of the research, which is reflected in this monograph, to the following persons: Doctor of Science (Engineering), Professor, *Andriy Marchenko* (National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»), Doctor of Science (Engineering), Professor *Volodymyr Andronov* (National University of Civil Defense of Ukraine), Doctor of Science (Engineering), Professor *Igor Parsadanov* (National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»), Doctor of Science (Engineering), Professor *Olexandr Strokov* (Zaporizhzhia Classic Private University), Candidate of Science (Engineering), Senior Research Fellow *Anton Lievtierov* (A.M. Pidgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine), Candidate of Science (Engineering), Senior Research Fellow *Andriy Avramenko* (A.M. Pidgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine), Candidate of Science (Engineering), Docent *Igor Vasilyev* (V. Dahl East Ukrainian National University), Leading Engineer *Vitaliy Semykin* (A.M. Pidgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine), Lecturer of Highest Category *Leonid Rovensky* (O.O. Morozov Kharkiv Mechanical Technical School), Candidate of Science (Engineering), Docent *Igor Mishchenko* and Lecturer *Valeriy Shcherbakov* (Kharkiv Hugh Professional College № 6)

Structure of the study, which is also its algorithm and includes 12 consecutive steps, is presented in Fig. B.1.

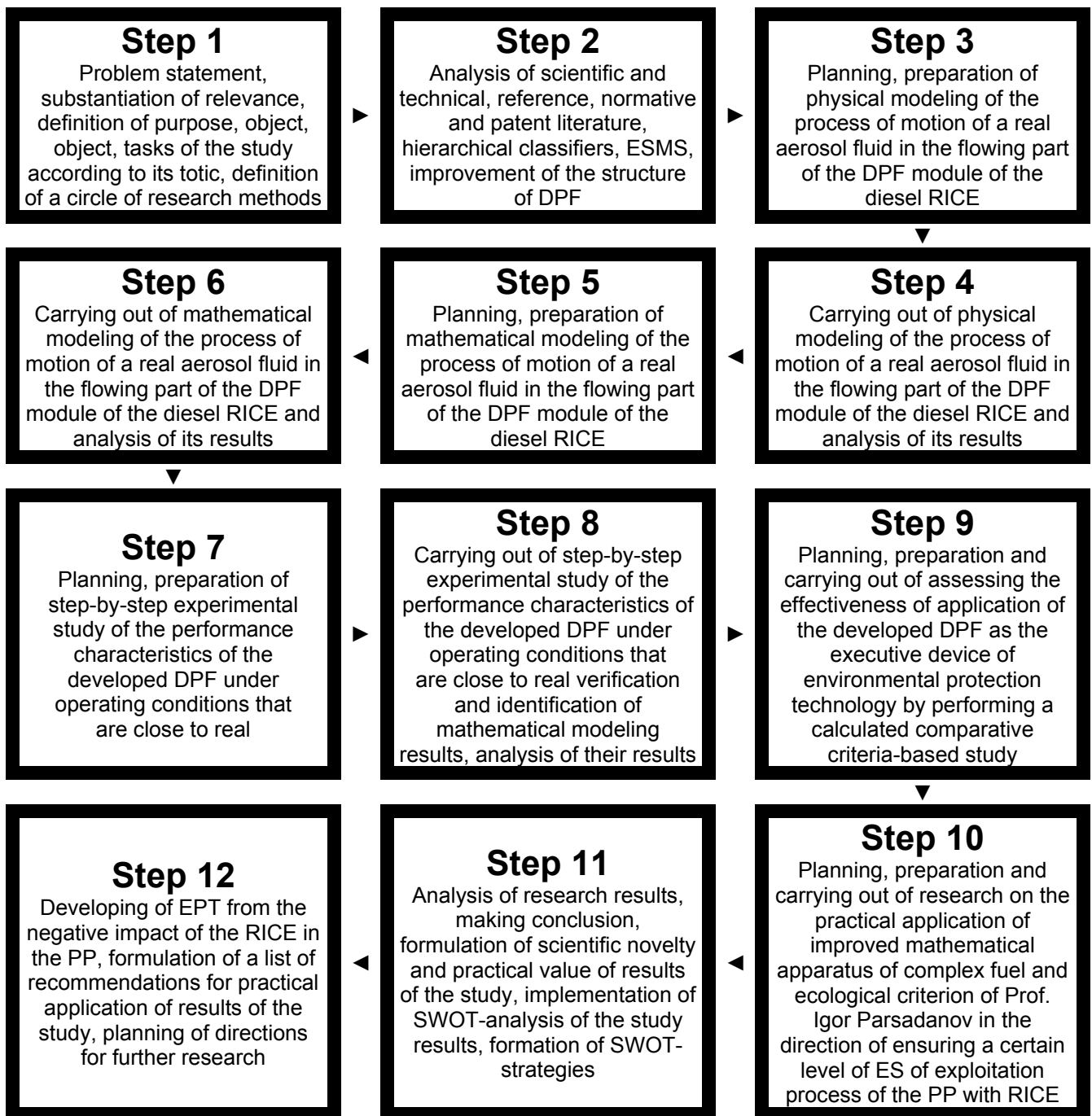


Figure B.1 – Structure of the study

ЗАГАЛЬНІ 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 **загальні висновки**.

У **Главі 1** отримано наступні результати.

1. Розроблено ФЕ модульної конструкції, що дозволяє побудову на його основі типоряду ФТЧ для транспортних дизелів різної потужності (як нових, так і що знаходяться в експлуатації), а також систем рециркуляції ВГ поршневих ДВЗ.

2. Розроблено безмоторну дослідницьку установку для експериментальних порівняльних досліджень гідравлічних характеристик різних варіантів конструкції макетів модуля ФЕ і елементів його конструкції.

Оцінено інструментальні складові результуючої систематичної похибки прямих та непрямих вимірювань на БДУ та на МВС за розробленими методиками.

3. Проведено порівняльні експериментальні дослідження гідравлічних характеристик макетних зразків модуля ФЕ і його структурних елементів на БДУ за розробленою методикою вибору раціональної конструкції модуля ФЕ, підготовки вихідних даних та отримання даних для адаптації та ідентифікації математичної моделі процесу руху аерозолу «ВГ дизеля – ТЧ» в модулі ФЕ.

У **Главі 2** отримано наступні результати.

1. Здійснено розрахункове дослідження процесу руху аерозолу «ВГ дизеля – ТЧ» в модулі ФЕ за допомогою математичної моделі руху ідеального газу програмного комплексу COSMOS FloWorks, адаптованою до об'єкта дослідження шляхом доповнення її даними про властивості аерозолу та матеріалів модуля, взятих з довідникової літератури та отриманих експериментально.

2. Запропоновано підхід до моделювання сталевих тканих сіток і насипок як пористих тіл, використання властивості симетрії конфігурації модуля, а також розрахунок гідравлічного опору модуля як адитивної величини, котрий дозволив зменшити час розрахунку.

3. За аналізом результатів розрахункового дослідження встановлено, що спостерігається задовільне узгодження з результатами експериментальних досліджень діючих макетних зразків ФЕ на БДУ та МВС, що дозволило виявити і описати особливості функціонування модуля, а також обґрунтувати вибір його раціональної конструкції.

У **Главі 3** отримано наступні результати.

1. Розроблені й виготовлені макетні діючі зразки ФЕ ФТЧ, що реалізують різні варіанти комбінованого способу очищення потоку ВГ від ТЧ з урахуванням даних, отриманих на БДУ і в ході математичного моделювання процесів в них.

2. Модернізовано випускную систему і систему відбору проб ВГ на токсичність і димність МВС з дизелем 2Ч10,5/12.

3. Проведено порівняльне експериментальне дослідження робочих характеристик діючого макетного зразків ФЕ раціональної конструкції на МВС згідно з розробленою методикою. Для обраного варіанту конструкції ФЕ експериментально отримані залежності значень його робочих характеристик від значень режимних і конструктивних параметрів дизеля 2Ч10,5/12 та особливостей його моделі експлуатації.

4. Запропоновано спосіб опису експериментально отриманих даних, який використовує також дані, отримані на БДУ, у формі вдосконалених математичних моделей ГО та ефективності очищення ФТЧ та методики оцінювання впливу ГО ФТЧ на показники паливної економічності дизеля.

5. Розроблено перелік рекомендацій щодо використання ФТЧ в реальних умовах експлуатації.

6. Створено виставковий макет ФТЧ, який для апробації результатів дослідження було представлено для участі у Міжнародному виставковому форумі «Технології захисту/ПожТех–2016» (м. Київ).

У **Главі 4** отримано наступні результати.

1. Здійснено розрахункове дослідження, метою якого було розвинути результати попереднього дослідження співвідношення коефіцієнтів ефективності роботи ФТЧ за різними полютантами з використанням вказаної формули перерахунку для всього діапазону зміни значень враховуваних нею впливаючих факторів.

2. Розроблено та застосовано вдосконалену методику визначення впливу гідравлічного опору ФТЧ на паливну економічність дизельного ПДВЗ, що враховує наразі не лише основні положення дисципліни «Теорія поршневих ДВЗ», а й дисципліни «Метрологія», та дає краще узгодження з результатами експериментальних досліджень.

3. Здійснено розрахункове визначення значень показників роботи розробленого ФТЧ з ФЕ модульної конструкції та комплексного паливно-екологічного критерію проф. Ігоря Парсаданова і його складових для означеного технічного об'єкту для всього поля робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12.

4. Отримано показники паливно-екологічної ефективності застосування розробленого та випробуваного ФТЧ для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 з урахуванням показників його ефективності роботи та впливу його ГО на паливну економічність двигуна для всього міжрегенераційного періоду роботи фільтра для різних налаштувань обраного критеріального математичного апарату.

5. Отримано результати практичного застосування математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію для розрахункового обґрунтування раціонального значення параметру щільності розрахункової сітки на полі робочих режимів ПДВЗ для наперед завданого граничного рівня відповідної методичної похибки.

6. Отримано результати практичного застосування математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію та його вартісних складових для побудови нової моделі експлуатації ПДВЗ аварійно-рятувального транспортного засобу на основі діаграми розподілу часу оперативного чергування його екіпажу, статутних вимог та відомих моделей експлуатації.

7. Отримано результати практичного застосування математичного апарату комплексного паливно-екологічного критерію для оцінювання ефективності переведення ПДВЗ гібридного АТЗ на споживання чистого палива біологічного походження за відомими моделями експлуатації для усіх відомих способів приводу рушія АТЗ поршнеvim двигуном, на основі чого ранжовано основні стандартизовані стаціонарні випробувальні цикли для дизель-генераторів.

8. Розроблено стаціонарні моделі експлуатації дизель-генератора для добового безперервного електропостачання промислового підприємства та приватного домогосподарства, побудовані на графіку розподілу ефективної потужності дизель-генераторної впродовж доби.

9. За результатами досліджень, що описані у монографії, формовано перелік рекомендацій щодо забезпечення необхідного рівня ЕкБ процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, особливо одиниць аварійно-рятувальної техніки, що перебуває на оперативному чергуванні підрозділів ДСНС України.

У Додатку А

Запропоновано підхід до побудови ТЗНС від негативного впливу ПДВЗ у складі ЕУ. На основі запропонованого підходу таку ТЗНС побудовано, проілюстровано та описано її структуру, її ланцюги та ланки. Визначено місце такої ТЗНС у структурі СУЕкБ процесу експлуатації ЕУ з ПДВЗ як частини ЖЦ такого технічного об'єкту та місце ФТЧ та критеріального математичного апарату в такій СУЕкБ.

Вищенаведене можливо систематизувати за допомогою логічного апарату SWOT-аналізу, результати застосування якого наведено далі.

Переваги (S – Strengths). Результати досліджень, послідовно викладених у цій монографії, вирізняються наступними перевагами.

Дослідження має комплексний та послідовний характер, а результати його окремих різнорідних за застосовуваними методами частин добре узгоджуються між собою.

Послідовність дослідження полягає у тому, що ідею нової конструкції ФТЧ, сформульовану за результатами аналізу спеціалізованої літератури та у відповідності до розробленої системи управління екологічною безпекою й розроблених ієрархічних класифікаторів таких пристроїв, втілено у декількох варіантах конструкції діючих макетних зразків, плин та особливості процесів у яких піддано фізичному та математичному моделюванню на створеному лабораторному обладнанні та адаптованому програмному CFD-комплексі, результати яких ідентифіковано й верифіковано у ході стендових моторних досліджень на модернізованому лабораторному обладнанні, оцінено отриманий ефект від застосування означеного виконавчого органу технології захисту навколишнього середовища шляхом здійснення комплексного критеріального розрахункового порівняльного оцінювання модернізованим математичним апаратом, побудовано виставковий макет такого ФТЧ, котрий апробовано та впроваджено у навчальний процес, підготовлено комплект документів для подачі заявки на патент України на корисну модель.

Комплексний характер дослідження зумовлюється різноманіттям використаних методів дослідження та складним характером контурів взаємозв'язків результатів та вихідних даних окремих його етапів.

Недоліки (W – Weaknesses). Результати цього дослідження вирізняються двома основними недоліками.

Перший – не запропоновано конкретну реалізацію способу регенерації розробленого ФТЧ з поміж наявних у створеному ієрархічному класифікаторі, не наведено результатів фізичного і математичного моделювання процесів у пристроях, котрі мають реалізовувати вказаний спосіб, відсутні результати натурних випробувань ФТЧ з означеними пристроями, у тому числі й контуру електронної системи керування з комплексом датчиків, блоку управління та виконавчих пристроїв.

Другий – не надано результатів оцінювання собівартості виготовлення запропонованого ФТЧ, обладнання ним АТЗ, що перебуває у експлуатації, експлуатаційних витрат з урахуванням змінного ГО, періодичного здійснення процесу його регенерації, а також економічного ефекту від його впровадження з урахуванням положень чинного та перспективного природоохоронного законодавства.

Можливості (O – Opportunities). Результати дослідження відкривають наступні можливості для подальшого їх практичного застосування, а також окреслюють коло напрямків подальших досліджень.

Це виражається у реалізації можливості застосувати використаний у цьому дослідженні алгоритм для розробки альтернативних принципів роботи і конструкцій ФТЧ чи інших агрегатів системи нейтралізації законодавчо нормованих полютантів у потоці ВГ АТЗ з ПДВЗ як технології захисту навколишнього середовища – від ідеї до готового до впровадження у виробництво технічного рішення, захищеного документом про право інтелектуальної власності.

З іншого боку результати комплексу досліджень, представлених у цій монографії, придатні для того, щоб виступити як теоретичною, так і практичною основою для суттєвого покращення техногенно-екологічної безпеки процесу безаварійної експлуатації ЕУ з ПДВЗ, аж до забезпечення відповідності показників роботи таких технічних об'єктів актуальним і перспективним законодавчо встановленим показникам рівня ЕкБ вказаного процесу.

Ризики (T – Threats). Результати, отримані у даному дослідженні, складаючи основу пунктів розробленого списку рекомендацій щодо практичного їх застосування, водночас є джерелом наступних ризиків.

Необов'язковість врахування результатів цього дослідження взагалі та впровадження розробленого ФТЧ нової модульної конструкції зокрема, через відсутність відповідної законодавчої основи.

Скорочення кола спеціалізованих науково-дослідницьких підрозділів у структурі НАН України, на лабораторно-експериментальній базі яких та у співпраці зі висококваліфікованими спеціалістами котрих можливим було б доведення повного комплексу дослідно-конструкторських робіт щодо доведення та оптимізації конструкції ФТЧ запропонованої чи інших перспективних конструкцій.

Катастрофічне звуження кола вітчизняних підприємств-виробників ПДВЗ, котрі потребували б обладнання своєї конкурентоспроможної та сертифікованої продукції такими агрегатами технологій захисту навколишнього середовища, або ж здійснювали модернізацію, конверсію, форсування чи ремонт ЕУ з ПДВЗ, що перебувають в експлуатації, та у зв'язку з чим вирішували завдання задоволення сучасним екологічним стандартам.

Намічено напрямки подальших досліджень згідно до сформованих стратегій SWOT-аналізу.

SO-стратегія, спрямована на подальше посилення *сильних* сторін за рахунок використання *можливостей*.

Полягає у реалізації подальших етапів процесу розробки пропонуваної чи будь-якої іншої альтернативної перспективної конструкції ФТЧ –

оптимізації, створення типорозмірного ряду для ПДВЗ різних типів та потужностей, розробки системи регенерації тощо – на створеній методологічній основі розроблених системи управління екологічною безпекою, ієрархічних класифікаторів, методиках розрахункових та експериментальних досліджень, а також на створеній матеріальній основі розробленого і вдосконаленого лабораторного обладнання, адаптованого програмного CFD-комплексу та вдосконаленого математичного критеріального апарату.

ST-стратегія, спрямована на усунення загроз шляхом використання *сильних сторін*.

Передбачає доведення конструкції пропонованого ФТЧ до стану, за якого розробка перетворюється на конкретний інтелектуальний продукт, повністю готовий до комерціалізації, тобто до реалізації «в металі», та презентація такої розробки як матеріальної основи технології захисту навколишнього середовища від викидів поллютантів ПДВЗ та, головне, обґрунтування громадянської ініціативи щодо закріплення процедур перевірки відповідності технічного стану ПДВЗ за показниками екологічності законодавчо встановленим нормативам про ввезенні ЕУ з ними на територію держави, щорічного технічного огляду, зміни власника тощо.

WO-стратегія, спрямована на посилення поки що *слабких сторін* за рахунок використання *можливостей*.

Включає в себе доведення пропонованої технічної розробки до стану інтелектуального продукту, повністю готового до комерціалізації, за рахунок розробки системи регенерації та системи електронного керування цим процесом на основі створених у ході здійснення цих досліджень згаданих у попередній стратегії методологічній та матеріальній основах, що і дозволить подолати перший з вказаних недоліків.

На основі результатів повного вирішення вищеописаної науково-технічної задачі стає можливим подолання другого недоліку, а саме оцінювання економічної доцільності впровадження пропонованої технічної розробки у наступний етап його життєвого циклу – експлуатацію.

WT-стратегія, спрямована на посилення поки що *слабких сторін* шляхом уникнення *загроз*.

Пропонується подолати сформульовані недоліки шляхом розробки проекту нормативного документу, що включатиме оновлену технічну документацію та патент на вказану технічну розробку, а також запитів на фінансування екологічної програми щодо здійснення такого виду природоохоронної діяльності (відповідно до «Переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 17.09.1996 р. № 1147) з Державного чи Обласного чи фонду охорони навколишнього природного середовища згідно до вмісту «Положення про Державний фонд охорони навколишнього

природного середовища», затвердженому Постановою кабінету Міністрів України від 07.05.1998 р. № 634 а також вмісту «Порядку планування та фінансування природоохоронних заходів», затверджений Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 12.06.2015 р. № 194.

GENERAL CONCLUSIONS

Thus, the following **general conclusions** can be drawn from the analysis of the results of the study that was carried out to achieve its purpose in accordance with its tasks and presented in the Chapters of the monograph.

Section 1 provides the following results.

1. It was developed the FE of modular construction that allows the development of dimension-type series of DPF for transport diesel engines of different effective power (both new and which are in exploitation), as well as the EG recirculation systems for RICE.

2. It was developed the engineless research plant for experimental comparative studies of the hydraulic characteristics of different variants of constructions of the FE module and its elements.

It was evaluated the instrumental components of the resultant systematic error of direct and indirect measurements at ERP and ETB according to the developed methodics.

3. It was carried out the comparative experimental researches of hydraulic characteristics of model layouts of the FE module and its structural elements at ERP according to the developed methodica of choice of rational construction of the FE module, preparation of initial data and obtaining data for adaptation and identification of the mathematical model of the motion process of aerosol «Diesel EG – PM» in the FE module.

Section 2 provides the following results.

1. It was carried out the calculation study of the process of motion of aerosol «Diesel EG – PM» in the FE module using mathematical model of motion of the ideal gas of the COSMOS FloWorks software complex, adapted to the object of study by supplementing it with data on the properties of the aerosol and materials of the module taken from the reference literature and obtained experimentally.

2. It was proposed the approach is to modelling of steel woven mesh and bulk from natural adsorbents as porous bodies, to use the symmetry property of the module configuration, and to calculate the hydraulic resistance of the module as an additive value, which allowed to reduce the calculation time.

3. It was found that according to the analysis of the results of the calculation study there is a satisfactory agreement with the results of the experimental studies of the working layouts of the FE on ERP and ETB, which allowed to identify and describe the features of the module functioning, as well as to justify the choice of its rational design.

Section 3 provides the following results.

1. It was designed and produced the working layouts of FE of the DPF that implement different variants of the combined method of cleaning the EG flow from PM with taking into account the data obtained on ERP and during of mathematical modeling of the processes in them.

2. It was modernized the exhaust system and the system of sampling of EG for the toxicity and opacity of the ETB with the diesel engine 2Ch10.5/12.

3. It was carried out the a comparative experimental study of the performance characteristics of the working layouts of FE of the DPF of rational design on the ETBs in accordance with the developed methodica. For the chosen variant of the FE construction, the dependences of the magnitudes of its performance characteristics on the magnitudes of the regime and construction parameters of the diesel engine 2Ch10.5/12 and the features of its exploitation model.

4. It was proposed the method of describing the experimentally obtained data, which also uses the data obtained at ERP in the form of advanced mathematical models of HR and efficiency of purification of the DPF and methods for evaluating the impact of the HR of the DPF on the fuel efficiency of diesel engine.

5. It was developed the list of recommendations on the using of DPF in real exploitation conditions.

6. It was developed the the exhibition layout of DPF, which was presented for participation in the International Exhibition Forum «Technologies of Defence / FireTch – 2016» (Kyiv city) for approbation of results of the study.

Section 4 provides the following results.

1. It was carried out the computational study to develop the results of a preliminary study of the ratio of the efficiency coefficients of the DPF by different pollutants, using the specified conversion formula for the whole range of changes in the values of its influencing factors.

2. It was improved and applied the methodology for determining the effect of hydraulic resistance of the DPF on the fuel efficiency of diesel engine, which now takes into account not only the basic provisions of the discipline «Theory of RICE» , but also the discipline «Metrology», and gives better agreement with the results of the experiments.

3. It was carried out the calculated determination of the magnitudes of the performance indicators of the developed DPF with FE of modular construction and complex fuel and ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov and its components for the specified technical object for the whole field of operating regimes of the 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine.

4. It was obtained the indicators of fuel and ecological efficiency of application of the developed and tested DPF for 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine with taking into account the indicators of its efficiency and influence of its HR on the fuel efficiency of the engine for the entire inter-regeneration period of the filter for different settings of the selected criteria-based mathematical apparatus.

5. It was obtained the results of the practical application of the mathematical apparatus of the complex fuel and ecological criterion for the calculation of the rational magnitude of the parameter of the density of the calculation mash on the field of operating regimes of the RICE for the predetermined limit level of the corresponding methodical error.

6. It was obtained the results of practical application of the mathematical apparatus of the complex fuel and ecological criterion and its monetary components for the developing of a new exploitation model of the RICE of an emergency and rescue vehicle on the basis of a chart of the time distribution of its operational duty of its crew alternation, statutory requirements and known exploitation models.

7. It was obtained the results of practical application of the mathematical apparatus of the complex fuel and ecological criterion to evaluate the efficiency of transfer of RICE of hybrid vehicle to the consumption of pure fuel of biological origin by known exploitation models for all known methods of ways to drive the propulsion of vehicle by the RICE, on the basis of which the main standardized steady test cycles for diesel generators was ranked.

8. It was developed the steady exploitation models of the diesel generator for daily uninterrupted power supply of the industrial enterprise and private household based on the schedule of distribution of the effective power of the diesel generator during the day.

9. It was formulated the list of recommendations on ensuring the required level of ES in the process of accident-free exploitation process of the PP with RICE, according to the results of the studies described in the monograph, especially units of emergency and rescue equipment which are on the operational duty of the Departments of SES of Ukraine.

In the **Appendix A**

The approach to the developing of EPT from the negative impact of the RICE in PP was proposed. Based on the proposed approach, such EPT was built, illustrated and described its structure, its chains and links. The place of such EPT in the structure of ESMS of the exploitation process of PP with RICE as a part of LC of such technical object and the place of DPF and criterial mathematical apparatus in such ESMS was determined.

The worded above can be systematized with the help of a SWOT logic apparatus, the results of which are given below.

S – Strengths. The results of the study consistently outlined in this monograph have the following advantages which are strengths.

The study is complex and consistent, and the results of its individual heterogeneous parts by the methods used are in good agreement.

The sequence of the study is that the idea of a new DPF construction, formulated by the results of specialized literature analysis and in accordance with the developed ecological safety management system and the developed hierarchical classifiers of such devices, is embodied in several variants of the design of working layouts, currents and features physical and mathematical modeling on created laboratory equipment and adapted software CFD-complex, the results of which are identified and verifies in the course of bench motor studies on the modernized laboratory equipment, evaluated the effect obtained from the use of the designated executive device of the environmental protection technology through the implementation of a complex criteria-based for the comparative assessment of the improved mathematical apparatus, built an exhibition layout of such DPF, documents for patent application of Ukraine for utility model.

The complex nature of the study is determined by the variety of research methods used and the complex nature of the contours of the results and the outputs of its individual steps.

W – Weaknesses. The results of the study have two major drawbacks which are strengths.

The first – no specific implementation of the regeneration method of the developed DPF from among the available in the created hierarchical classifier, no results of physical and mathematical modeling of processes in the devices in which must be implemented the specified method, no results of field tests of DPF with such devices, including the circuit of an electronic control system with a complex of sensors, control unit and actuators.

The second is that have not been provided the evaluation results of the estimation of the cost of production of the proposed DPF, the equipment by it of the vehicle which is in exploitation, the operational costs with consideration of the variable HR, the periodic implementation of the process of its regeneration, as well as the economic effect of its implementation with regard to the provisions of current and promoting environmental legislation.

O – Opportunities. Results of the study open the following possibilities which are opportunities for their further practical application and also outline the directions of further research.

This is reflected in the opportunity to apply the algorithm used in this study to develop alternative principles of operation and construction of the DPF or other units of the system of neutralization of legislative normalized

pollutants in the EG flow of PP with RICE as the device for environmental protection technology – from idea to ready-made solution in production protected by an intellectual property document.

On the other hand, the results of the set of studies presented in this monograph are suitable to provide both a theoretical and practical basis for a significant improvement in the technogenic and ecological safety of the process of accident-free exploitation of the PP with RICE, as well as to ensure that the performance of such technical facilities actual and promising legislatively established indicators of the ES level of these process.

T – Threats. Results of the study, which form the basis of the developed list of recommendations for their practical application, are at the same time a source of the following risks which are threats.

The need to take into account the results of this study in general and the implementation of the new modular construction of developed DPF, in particular, in appropriate legal basis is absent.

Reduction of the number of specialized research units in the structure of the NAS of Ukraine, on the laboratory and experimental basis of which, in cooperation with highly qualified specialists, which would be possible to bring a complete set of research and design work to prove and optimize the design of the DPF proposed or other perspectives.

Catastrophic narrowing of the range of domestic RICE-producing enterprises that would require equipment of their competitive and certified products by such devices of environmental protection technologies, or upgrade, conversion, forcing or repair the PP with RICE which are in exploitation and in connection with this what solved the task of meeting modern environmental standards.

The directions of further research are outlined in accordance with the established in SWOT analysis strategies.

SO-strategy to further enhance *strengths* by leveraging *opportunities*.

It consists in the implementation of further stages of the development process of the proposed or any other alternative perspective construction of the DPF – optimization, creation of a standard size series for the different types and effective power of the RICE, development of the system of regeneration and etc. – based on the developed methodological basis of the developed ecological safety management system, hierarchical classifiers, methods of calculation and experimental studies, as well as on the material basis of the developed and improved laboratory equipment, adapted software CFD-complex and improve

ST-strategy aimed at eliminating *threats* through the use of *strengths*.

It envisages bringing the construction of the proposed DPF to a state in which the development turns into a specific intellectual product, fully ready for commercialization, that is, to realization «in metal», and presentation of such development as the material basis of environmental protection technology from the pollutants of RICE, and, most importantly of the citizens' initiative to consolidate the procedures for checking the compliance of the technical state of the RICE with ecological indicators of the legislatively established standards on the import of PP from them to the territory of Ukraine, annual technical inspection, change of owner, etc.

WO-strategy that seeks to strengthen our *weaknesses* by leveraging *opportunities*.

Includes bringing the proposed technical solution to the state of intellectual product, fully ready for commercialization, by developing a system of regeneration and electronic control of this process on the basis of the methodological and material bases created in the course of carrying out these studies, which will overcome the first of worded above disadvantages.

On the basis of the results of the complete solution of the above-mentioned scientific and technical problem, it becomes possible to overcome the second disadvantage, namely, to evaluate the economic feasibility of introducing the proposed technical development in the next stage of its life cycle – exploitation.

WT-strategy aimed at strengthening the *weaknesses* by avoiding *threats*.

It is proposed to overcome the identified disadvantages by developing a draft regulatory document that will include updated technical documentation and a patent for the said technical solution, as well as requests for financing the environmental program for the implementation of this type of environmental activity (in accordance with the «List of activities related to environmental measures», approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 17.09.1996 № 1147) from the State or Regional or Environmental Protection Fund in accordance with the Regulations on the State Fund for Environmental Protection, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine Decree № 634 of 07.05.1998, as well as the contents of the «Procedure for Planning and Financing of Environmental Measures», approved by the Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine dated 12.06.2015 № 194.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сучасні способи підвищення екологічної безпеки експлуатації енергетичних установок: монографія / С.О. Вамболь, О.П. Строков, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко. – Х.: Стиль-Издат (ФОП Бровін О.В.), 2015. – 212 с. – ISBN 978-617-7256-09-9.
2. Scientific and practical problems of application of ecological safety management systems in technics and technologies: Monograph / 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. – ISBN 978-83-62683-42-0.
3. Технічна механіка рідин та газів. Підручник [Текст] / Уклад. С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко. – Харків: НУЦЗ України, 2016. – 350 с. – ISBN 978-617-7474-24-0.
4. Дослідження гідравлічних струменів при створенні системи управління екологічною безпекою об'єктів підвищеного ризику: монографія / С.О. Вамболь, О.М. Кондратенко, І.В. Міщенко, В.Ю. Колосков. – Х.: Стиль-Издат (ФОП Бровін О.В.), 2018. – 204 с. – ISBN 978-617-7555-58-1.
5. Критеріальне оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок: монографія / С.О. Вамболь, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко, І.В. Міщенко. – Х.: Стиль-Издат (ФОП Бровін О.В.), 2018. – 320 с. – ISBN 978-617-7555-60-4.
6. Сучасні технології отримання наноматеріалів для відновлювальної енергетики з урахуванням екологічної безпеки: монографія / І.Т. Богданов, С.О. Вамболь, В.В. Вамболь, Я.О. Сичікова, О.М. Кондратенко. – К: Освіта України, 2018. – 188 с. – ISBN 978-617-7625-52-9.
7. Кондратенко О.М. Метрологічні аспекти комплексного критеріального оцінювання рівня екологічної безпеки експлуатації поршневих двигунів енергетичних установок: монографія / О.М. Кондратенко. – Х.: Стиль-Издат (ФОП Бровін О.В.), 2019. – 532 с. – ISBN 978-617-7738-33-5.
8. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: монографія / І.В. Парсаданов – Х.: Центр НТУ «ХПІ», 2003. – 244 с. – ISBN 966-593-319-1.
9. Кондратенко О.М. Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля / О.М. Кондратенко, О.П. Строков, С.О. Вамболь, А.М. Авраменко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – № 6 (150). – С. 55 – 61. – URL: <http://nv.nmu.org.ua/index.php/uk/component/jdownloads/viewdownload/57/8434>
10. Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arrangement of pollutants neutralization system / S. Vambol, V. Vambol, O. Kondratenko, Y. Suchikova, O. Hurenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – № 3/10 (87). – Kharkiv: USURT, 2017. – pp. 63 – 73. – DOI: 10.15587/1729-4061.2017.102314. – URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/viewFile/102314/100169>.
11. Criteria based assessment of the level of ecological safety of exploitation of electric generating power plant that consumes biofuels / O. Kondratenko, I. Mishchenko, G. Chernobay, Yu. Derkach, Ya. Suchikova // 2018 IEEE 3rd International International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS–2018): Book of Papers (10 – 14 September 2018, Publ. National Technical University “KhPI”, Kharkiv, Ukraine). – 2018. – pp. 185 – 189. – DOI 10.1109/IEPS.2018.8559570. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8559570>.
12. Двигуни внутрішнього згоряння: 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.
13. Оценка и контроль выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова. – М.: Издательств-

во Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с.

14. 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.

15. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие / А.Р. Кульчицкий. – Владимир: Владим. гос. ун-т., 2000. – 256 с.

16. Каніло П.М. Автомобіль та навколишнє середовище / П.М. Каніло, І.С. Бей, О.І. Ровенський. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с.

17 – 42 – 142. Дьяченко В.Г. (сост.) Методические указания к курсовой работе: Расчет рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания. – Х.: изд-во ХНАДУ, 2001. – 34 с.

18. 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.

19. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.

20. Mollenhauer K. Handbook of Diesel Engines / K. Mollenhauer, H. Tschöke. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 634 p.

21. BOSCH. Автомобильный справочник: перевод с английского / Robert Bosch GmbH. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2002. – 896 с.

22. BOSCH. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. / Robert Bosch GmbH. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 485 с.

23. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine: regulation United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles of 26 January 2013 year Regulation No. 49, Revision 6 [Electronic recourse]. – Geneva: UNECE, 2013. – 434 p. – URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R049r6e.pdf>.

24. 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. Geneva, 1995. – 109 p.

25. ISO 8178-4:2017 Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 4: Test cycles for different engine applications. – 237 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/65278.html>.

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

27. Колобородов В.Г. Адсорбция и десорбция паров воды различными цеолитами / В.Г. Колобородов, В.Б. Кулько, Л.В. Карнацевич, Э.И. Винокуров, М.А. Хажмурадов, В.И. Жуковин, Н.В. Тимохина // Вопросы атомной науки и техники. – 2002. – № 1. – С. 50 – 55.

28. Колобородов В.Г. Адсорбция паров воды цеолитами в динамическом режиме / В.Г. Колобородов, Л.В. Карнацевич, М.А. Хажмурадов // Вопросы атомной науки и техники. – 2002. – № 1. С. 56 – 61.

29. Колобородов В.Г. Развитие адсорбционных исследований в криогенном отделе ННЦ ХФТИ / В.Г. Колобородов // Вопросы атомной науки и техники. – 2006. – № 4. – С. 38 – 46.

30. Колобородов В.Г. Разделение компонент биогаза методами физической адсорбции на украинских цеолитах / В.Г. Колобородов, Л.В. Карнацевич, Т.К. Григорова, М.А. Хажмурадов, Н.В. Тимохина // Энерготехнологии и ресурсосбережение. –

2001. – № 4. – С. 29 – 36.

31. Колобородов В.Г. Повышение качества биогаза при помощи адсорбционных процессов / В.Г. Колобородов, М.А. Хажмурадов, Л.В. Карнацевич // Труды 2-й Международной конференции «Сотрудничество для решения проблем отходов» (Харьков, ХНЭУ, 2 – 10 февраля 2005 г.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://waste.ua/cooperation/2005/theses/kolobrodov.html>.

32. Кузьменко Н.М. Адсорбционная очистка природного газа от сернистых соединений / Н.М. Кузьменко, Ю.М. Афанасьев, Г.С. Фролов, В.Н. Глупанов. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТМАШ, 1987. – 39 с.

33. Елисеева И.С. Становление и развитие производства синтетических цеолитов: автореф. диссертации на соискание уч. степени канд-та техн. наук: специальности 02.00.13 «Нефтехимия» и 07.00.10 «История науки и техники» / И.С. Елисеева. – Уфа, 2003. – 20 с.

34. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1989. – 464 с.

35. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники / Н.В. Кельцев. – М.: Химия, 1984. – 592 с.

36. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. – М.: Мир, 1984. – 310 с.

37. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М.: Мир. 1979. – 568 с.

38. Введение в физику поверхности / К. Оура, В. Г. Лифшиц, А.А. Саранин и др. – М.: Наука, 2006. – 490 с.

39. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов / А.П. Карнаухов. – Новосибирск: Наука. 1999. – 470 с.

40. Дерягин Б.В. Адгезия твердых тел / Б.В. Дерягин, Н.А. Кротова, В.П. Смилга. – М.: Наука, 1973. – 150 с.

41. Завод им. Фрунзе. Каталог продукции [Электронный ресурс]. – URL: http://www.frunze.ua/catalog/caccular/woven_mesh.html.

42. Природный цеолит [Электронный ресурс]. – URL: zeolit.spb.ru.

43. Natural and Synthetic Zeolites. U.S. Bureau of Mines Information Circular 9140, 1987. – 125 p.

44. Volkswagen Service Training. Пособие по программе самообразования 336. Сажевый фильтр с каталитическим покрытием. Устройство и принцип действия [Электронный ресурс]. – URL: www.volkswagen-training-online.com.

45. ООО «Харьковметалл» Каталог товаров / Листовой прокат [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.xm.ua/catalog/1696>.

46. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений: Пер. с нем. / П. Тойберт. – М.: Энергоиздат, 1988. – 88 с.

47. Рабинович С.Г. Погрешности измерений / С.Г. Рабинович. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.

48. ГОСТ 18140-84. Манометры дифференциальные ГПС. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 16 с.

49. ТУ25-2021.003-88. Термометры ртутные стеклянные лабораторные. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 59 с.

50. Барометр-анероид БАММ-1. Паспорт Л82.832.001ПС. – 2 с.

51. Манометр стрелочный авиационный МА-250М. Паспорт 2В0. 283.372ПС. – 3 с.

52. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 11 с.

53. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 7 с.

54. ТУ 25.1894.003-90. Секундомеры механические. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 5 с.
55. ГОСТ 6616–94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 1994. – 11 с.
56. Прибор А565. Руководство по эксплуатации 0273РЭ. – 12 с.
57. Счетчик газа ротационный РГ-40. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 10 с.
58. Частотомер электронно-счетный Ф5080. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1980. – 40 с.
59. ГОСТ 14104-69. Компрессоры гаражные. Типы и основные параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 22 с.
60. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: «Техника», 1975. – 168 с.
61. Эберт К. Компьютеры. Применение в химии: Пер. с нем. / К. Эберт, Х. Эдерер. – М.: Мир, 1988. – 416 с.
62. Евстигнеев В.В. Моделирование процессов очистки отработавших газов химических производств и дизельных агрегатов от твердых частиц СВС-фильтрами / В.В. Евстигнеев, А.Л. Новоселов, В.И. Полубников и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. №1. – С. 138 – 143.
63. Ільченко А.В. Визначення гідравлічного опору пористого матеріалу фільтруючого елемента фільтра відпрацьованих газів / А.В. Ільченко, В.Ю. Балюк // Автомобільний транспорт: збірник наукових трудов. – 2011. – Вип. 29. – С. 148 – 151.
64. Измерительный комплекс IDS-742 4/N. Руководство по эксплуатации РР 478 и РР 932. – 27 с.
65. ГОСТ 24104-88. Весы лабораторные общего назначения и образцовые. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1988.–15 с.
- 66 – 47 – 179. ГОСТ 14004-68. Весы рычажные общего назначения. Пределы взвешиваний. Нормы точности. – М.: Стандартинформ, 2007. – 7 с.
67. Счетчик газа ротационный РГ-100. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 7 с.
68. Прибор А566. Руководство по эксплуатации 0282РЭ. – 10 с.
69. Измеритель двухканальный ОВЕН ТРМ-200-Ц2. Руководство по эксплуатации. – 6 с.
70. Счетчик газовый барабанного типа ГСБ-400. Паспорт. – 8 с.
71. Газоанализатор пятикомпонентный Автотест-02.03П. Руководство по эксплуатации М 057.000.000РЭ. – 16 с.
72. Дымомер ИНФРАКАР Д. Паспорт ВЕКМ.41531.007ПС. – 16 с.
73. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – М. Издательство стандартов, 1988. – 78 с.
74. ГОСТ 14846-87. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М. Издательство стандартов, 1987. – 42 с.
75. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
76. ANSYS Fluent 12.0. Theory Guide. – 2009. – USA. – 816 p.
77. ANSYS CFX-Solver Modelling Guide. Release 11.0. – 2006. – USA. – 566 p.
78. Open FOAM. The Open Source CFD Toolbox. User Guide. Version 2.0.0. – 2011. – 211 p.
79. Kopyt P.A. Comparison of Commercial CFD Software Capable of Coupling to External Electromagnetic Software for Modeling of Microwave Heating Process / Pawel Kopyt, Wojciech Gwarek // 6th Seminar "Computer Modeling & Microwave Power Engineering" (January 12, 2004). – USA: Austin, TX. – 2004. – p. 33 – 39.

80. Смирнов Е.М. Метод конечных объемов в приложении к задачам гидродинамики и теплообмена в областях сложной геометрии / Е.М. Смирнов, Д.К. Зайцев // Научно-технические ведомости. – 2004. – № 2. – С. 1 – 22.

81. Жемойдо Ю.Г. Гидродинамические нагрузки на морской терминал: численное моделирование и экспериментальные данные / Ю.Г. Жемойдо, В.М. Кушнир, М.К. Ларин // Вестник СевГТУ / Ред. В.К. Маригодов. – Севастополь: Изд-во СевНТУ. – 2007. – Вып. 80: Механика, энергетика, экология. – С. 94 – 99.

82. Балюк В.Ю. Моделирование работы системы очистки отработавших газов автомобиля в CFD-комплексе COSMOSFloWorks / В.Ю. Балюк, А.В. Ильченко // Вестник СевНТУ. Серия: Машинобудування та транспорт. – 2011 р. – Вип. 122. – С. 19 – 21.

83. Моисеев В.И. Влияние щитковых органов управления, установленных в головной части, на аэродинамические характеристики спускаемого аппарата / В.И. Моисеев // Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал [Электронный ресурс]. – 2013. – № 5. – 17 с. – URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/568565.html>.

84. Козлович Р.А. Моделирование тепловых объектов производства кирпича методом конечных объемов / Р.А. Козлович, С.П. Сердобинцев // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2010. – № 7. – С. 141 – 145.

85. Васильев А.Ю. Исследование процесса обтекания корпусов легкобронированных машин ударной волной / А.Ю. Васильев // Механіка та машинобудування. – 2009. – №1. – С. 96 – 107.

86. Исаенко Д.В. Анализ движения воздушных потоков вентилятора системы охлаждения ДВС / Д.В. Исаенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления. Материалы XII Международной научно-практической конференции студентов, магистров и молодых ученых. – Гомель, 26 – 27 апреля 2012 г. – С. 80 – 83.

87. Лепеш Р.Г. Исследование возможности совершенствования агрегата турбонаддува транспортного дизеля на базе численных методов пакета прикладных программ SolidWorks / Р.Г. Лепеш // Инновации. – 2009. – № 5. – С. 122 – 128.

88. Жиркин А.В. Аналитические решения уравнений Навье-Стокса в трехмерной геометрии. Часть 1. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.atominfo.com/indexrus.html>.

89. Жиркин А.В. Аналитические решения уравнений Навье-Стокса в трехмерной геометрии. Часть 2. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.atominfo.com/indexrus.html>.

90. Разработка технологии конвертации дизеля средней мощности в газовый двигатель с искровым зажиганием: отчет о НИР / ИПМаш НАНУ; рук. А. Левтеров. – Харьков, 2002. – 83 с. – № ГР 0102U001477.

91. ГОСТ 3826-82. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия. – М. Издательство стандартов, 1982. – 11 с.

92. ГОСТ 9.402-80. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. – М: Изд. стандартов, 1991. – 92 с.

93. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.

94. Вараксин А.Ю. Турбулентные течения газа с твердыми частицами. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 192 с.

95. The International Zeolite Association (IZA) [Электронный ресурс] / – URL: <http://www.iza-online.org>.

96. ГОСТ 7885-86. Углерод технический для производства резины. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 19 с.

97. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 184 с.
98. A Gallery of fluid motion / M. Samimy, K.S. Breuer, L.G. Leal, P.H. Steen // Cambridge University Press. – 128 p.
99. Газовый двигатель на базе дизеля Д21А / В.Н. Бганцев, А.М. Левтеров, А.А. Кайдалов, П.М. Канило, В.П. Мараховский // Авіаційно-космічна техніка і технологія: зб. наук. праць. – Х.: НАКУ «ХАІ». – 2002. – Вип. 30. – С. 24 – 27.
100. Улучшение экологических показателей автомобильных дизелей путем применения водотопливных эмульсий / В.Н. Ложкин, Ю.А. Пименов, Р.Н. Сафиуллин, А.А. Акодес // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: информационный бюллетень. – СПб.: НПК «Атмосфера», 2005. – С. 67 – 76.
101. Варшавский И.Л. Токсичность дизельной сажи и измерение сажеобразования дизельного выхлопа / И.Л. Варшавский, Ф.Ф. Мачульский // Сборник трудов ЛАНЭ, 1969. – С. 120 – 157.
102. Бганцев В.Н. Результаты испытаний дизеля на смесях дизельного топлива и биодобавки из побочных продуктов масложирового и спиртового производств / В.Н. Бганцев, В.П. Мараховский, С.П. Хожаинов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – № 1. – С. 119 – 123.
103. Галиуллин Р.Р. Модернизация тракторных дизелей электронным управлением топливоподачей. – Уфа: БГАУ, 2008. – 168 с.
104. Регулирование режимов работы тракторного дизеля пропуском подачи топлива / Р.М. Баширов, Р.Р. Галлиулин, Э.М. Гайсин, В.Н. Хусаинов // Научное обеспечение устойчивого функционирования и развития АПК. Материалы всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием в рамках XIX Междунар. специализированной выставки «АгроКомплекс-2009» (3 – 5 марта 2009 г.). Часть I. – Уфа: ФГУ ВПО «Башкирский ГАУ». – 2009. – С. 18 – 21.
105. Баширов Р.М. Влияние пропуска подачи топлива на равномерность вращения коленчатого вала тракторного дизеля / Р.М. Баширов, Р.Р. Галиуллин, Э.М. Гайсин // Научное обеспечение устойчивого функционирования и развития АПК. Материалы всерос. научно-практич. конф. в рамках XIX Междунар. специализир. выставки «АгроКомплекс-2009». – Уфа, 2009. – С. 16 – 18.
106. Alkidas A.C. Relationship between smoke measurements and particulate measurements / A.C. Alkidas. – SAE Technical Paper Series, № 840412, 1984. – С. 10 – 21.
107. Muntean G.G. A theoretical model for the correlation of smoke number to dry particulate concentration in diesel exhaust / G.G. Muntean. – SAE paper, № 1999-01-0515, 1999. – 9 с.
108. Hardenberg H., Albrecht H. Grenzen der Rußmassbestimmung aus optischen Transmessungen // MTZ: Motortech. Z, 1987. – 48/2. – С. 51–54.
109. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харингтона для сравнительного анализа технических средств / А.В. Пичкалев // Исследования наукограда. – 2012. – № 1. – С. 25 – 28.
110. Лоусон Ч. Численное решение задач методом наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хенсон. – М.: Наука, 1986. – 256 с.
111. Наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України № 575 від 13.03. 2012 р. «Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту», зареєстр. у Мін'юсті України 25.05.2012 р. за № 853/ 21147, чинний від 16.07.2012 р. [Електронний ресурс]. – 137 с. – URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0835-12/page>.
112. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы: учебник / Н.Н. Брушлинский – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
113. Калиновський А.Я. Статистичне дослідження характеру небезпечних по-

дій, які виникають в місті Харкові / А.Я. Калиновський, Р.І. Коваленко // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура. –Х.: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – № 135. – С. 159 – 166. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2017_135_28.

114. Ларін О.М. Дослідження параметрів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міста Харкова на сучасному етапі для розробки програмного блоку «ПРОГНОЗ НС» / О.М. Ларін, А.Я. Калиновський, Р.І. Коваленко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – 2015. – № 62 (1171). – С. 77 – 83. – URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/21035>.

115. 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.

116. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: Учебное пособие / С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов и др. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 71 с.

117. Левтеров А.М. Покращення екологічних характеристик дизеля, що працює на біодизельних паливних композиціях / А.М. Левтеров, В.Д. Савицький // Автомобільний транспорт. – 2015. – Вип. 36. – С. 110 – 117. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/pokraschennya-ekologichnih-harakteristik-dizelya-scho-pratsyue-na-bio-dizelnih-palivnih-kompozitsiyah>.

118. Markov V. Biofuel mixture composition and parameters of exhaust gases toxicity / V. Markov, V. Kamaltdinov, S. Loboda // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 327. – 022068. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/327/2/022068/pdf>.

119. Research of energy effectiveness and exhaust emissions of direct injection diesel engine running on RME and its blends with DO / A. Marchenko, I. Parsadanov, A. Prokhorenko and etc. // Proceedings of the 12th International Conference Transport Means (Kaunas University of Technology). – 2008. – pp. 312 – 319. – URL: <https://www.dropbox.com/s/3jyo8d7k1z0a4zv/Transport%20means%202012.pdf?dl=0>.

120. Марков В.А. Состав и теплота сгорания биотоплив, получаемых из растительных масел / В.А. Марков, С.А. Нагорнов, С.Н. Деянин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серія: Естественные науки. – 2012. – № 2. – С. 65 – 80. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/sostav-i-teplota-sgoraniya-biotopliv-poluchaemyh-iz-rastitelnyh-masel>.

121. Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO). – URL: <https://www.peakoil.net>.

122. Дацик Ю. Типы гибридных силовых установок [Электронный ресурс] / Ю. Дацик // Электронный журнал «Автоцентр». – 26.06.2016. – URL: <https://www.autocentre.ua/opyt/tehnologii/tipy-gibridnyh-silovyh-ustanovok-305550.html>.

123. Производство биотоплива: прогнозы – Международный независимый институт аграрной политики – URL: <http://мниап.рф/analytics/Proizvodstvo-biotopliva-prognozy>.

124. Biofuels Barometer. – EurObservER. – 2018 – 14 p. – URL: <https://www.eurobserv-er.org/biofuels-barometer-2018>.

125. Биодизель: обзор мирового рынка 2019 г. и прогноз до 2028 г. – Market Publishers Report Database – 231 p. – URL: https://marketpublishers.ru/report/industry/chemicals_petrochemicals/biodiesel_world_market_outlook_204/09.html.

126. Joyce M. Biofuels production drives growth in overall biomass energy use over past decade. US Energy Information Administration. – 2013. – URL: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=15451>.

127. Хафизов Ф.Ш. Давление насыщенных паров нефтепродуктов / Ф.Ш. Хафизов, А.В. Краснов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 3. – С. 406 – 413.
128. Mielke T., Vegetable oil and oilseeds outlook, Canola Digest, March 2017. – 2017. – URL: <https://canoladigest.ca/march-2017/vegetable-oil-and-oilseeds-outlook>.
129. Kotrba R. As fuel prices rise, biodiesel production margins widen. Biodiesel magazine, 26 October 2018. – 2018. – URL: <http://www.biodieselmagazine.com/articles/2516500/as-fuel-prices-rise-biodiesel-production-margins-widen>.
130. Gay J.E. Green Peace: Can Biofuels Accelerate Energy Security? Joint Force Quarterly 73 (2nd Quarter, April 2014). – 2014. – pp. 44-51. – URL: https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/jfq/jfq-73/jfq-73_44-51_Gay.pdf?ver=2014-04-01-122203-717.
131. Diesel Fuel Explained. Factors Affecting Diesel Prices. US Energy Information Administration. 22 August 2018. – 2018. – URL: https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel_factors_affecting_prices.
132. Global EV Outlook 2018. Towards Cross-modal electrification. International Energy Agency. – 2018. – 141 p. – URL: <https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/globalevoutlook2018.pdf>.
133. Капустин А.А. К 20 Гибридные автомобили: учебное пособие / А.А. Капустин, В.А. Раков; М-во образ. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с. – URL: <http://emp.vogu35.ru/vse-materialy/send/187-metodmat/18741->.
134. Карта загальнодоступних зарядних станцій для електромобілів [Електронний ресурс]. – URL: <http://electrocars.ua/charging-map>.
135. Аналіз ринку електромобілів. Компанія IRS Group. Маркетингові дослідження споживачів [Електронний ресурс]. – URL: <http://irsgroup.com.ua/ecars>.
136. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с. – URL: <http://library.psu.kz/fulltext/buuk/b643.pdf>.
137. Zablodskij N. Using of object-oriented design principles electric machines development / N. Zablodskij, V. Pliugin, A. Petrenko // Electrical Engineering and Electromechanics. – No. 1. – 2016. – P. 17 – 20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/using-object-oriented-design-principles-in-electric-machines-development>.
138. Лукутин Б.В. Режимы работы синхронного генератора инверторной дизельной электростанции [Електронний ресурс] / Б.В. Лукутин, Е.Б. Шандарова // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2013. – № 3. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9619>.
139. GOST 4840:2007 «Diesel fuel of improved quality. Technical specifications» (2007). – Kyiv, Publ. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. – 16 p. – URL: https://dnaop.com/html/34100/doc-ДСТУ_4840_2007.
140. Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change. Official text in English (1998) [Electronic resource], 20 p. – URL: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

Наукове видання

**Кондратенко Олександр Миколайович
Колосков Володимир Юрійович
Деркач Юрій Федорович
Коваленко Світлана Андріївна**

**ФІЗИЧНЕ І МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ПРОЦЕСІВ У ФІЛЬТРАХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК
ПРИ ПРАКТИЧНОМУ ЗАСТОСУВАННІ
КРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

Монографія

Редактор Н.М. Супряга

Дизайн обкладинки К.В. Огурцов, О.М. Кондратенко