

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ
KHARKIV NATIONAL AUTOMOBILE AND HIGHWAY UNIVERSITY**

**Кафедра двигунів внутрішнього згоряння
Department of Internal Combustion Engines**



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ
ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ»
11–12 березня 2025 року
(Посвідчення УкрІНТЕІ від 09 грудня 2024 р. № 774)**

**BOOK OF ABSTRACTS:
INTERNATIONAL CONFERENCE ON
"ENERGY SYSTEMS AND ALTERNATIVE
ENERGY SOURCES" (ESAES – 2025)
March 11–12, 2025**



**Харків 2025
Kharkiv 2025**

Редакційна колегія:

Леонтьєв Д.М. – декан автомобільного факультету ХНАДУ, д.т.н., професор;
Нікітченко І.М. – завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ,
к.т.н., доцент;

Корогодський В.А. – професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння,
ХНАДУ, д.т.н., професор;

Скрипник Н.С. – доцент кафедри іноземних мов ХНАДУ, к.п.н., доцент;

Тесленко Е.В. – асистент кафедри ДВЗ ХНАДУ

- 3 41 Збірник тез та доповідей міжнародної конференції "Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії". 11–12 березня 2025 року – Харків: ФОП Бровін О.В., 2025. – 192 с.

ISBN 978-617-8238-93-3

У збірнику наведені матеріали міжнародної конференції, яка відбулася у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (м. Харків). Розглянуті науково-технічні, організаційні, екологічні та економічні питання, що виникають при дослідженні, проектуванні, виготовленні та експлуатації енергетичних систем та машин різного типу і призначення, питань пов'язаних з ними. Досліджені загальні питання тенденції розвитку енергетики; робочі процеси, динаміка і техніко-економічні показники енергетичних систем та машин; конструкція і конструкційні матеріали; технології виробництва, обслуговування та ремонту енергосистем, енергетичного обладнання та засобів автоматизації; наукові дослідження, діагностика, випробування, експлуатація та надійність енергосистем. оптимізація результатів дослідження; електричні, гібридні, альтернативні енергетичні системи, системи генерації електроенергії та альтернативні джерела енергії; енергетичні і теплоенергетичні системи, їх керування та діагностування; процесори і мікроелектроніка в енергетичних установках. програмування мікроконтролерів енергетичних установок і транспортних засобів. електронні системи керування та засоби діагностики транспортних засобів. електронне обладнання електромобілів і інших транспортних засобів; традиційні та альтернативні палива для енергетичних систем; комп'ютерне проектування та моделювання енергетичних систем. Системи автоматизованого проектування в енергетичних системах транспортних засобів. комп'ютерні технології в енергетичних системах і машинах; екологізація енергетичних систем. енергетика і навколишнє середовище. Енергозберігаючі технології; консалтингові схеми в енергетиці. енергетичний аудит і методологічні основи його проведення. енергетичний менеджмент.

Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, студентів і аспірантів.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

КЕРІВНИКИ ОРГКОМІТЕТУ

Богомолов Віктор Олександрович – ректор ХНАДУ, д.т.н., професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України, академік Транспортної академії України, голова організаційного комітету конференції;

Дмитрієв Ілля Андрійович – проректор ХНАДУ з наукової роботи, д.е.н., професор, Заслужений діяч науки і техніки України, академік Транспортної академії України, заступник голови організаційного комітету конференції;

Леонтьєв Дмитро Миколайович – декан автомобільного факультету ХНАДУ, д.т.н., професор, відповідальна особа за організацію та проведення конференції

ЧЛЕНИ ОРГКОМІТЕТУ

Нікітченко І.М. – завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ, к.т.н., доцент, Харків, Україна;

Корогодський В.А. – професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ, д.т.н, професор, Харків, Україна;

Воронков О.І. – професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ, д.т.н., професор, Харків, Україна;

Грицюк О.В. – професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ, д.т.н., професор, Харків, Україна;

Манойло В.М. – професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ, д.т.н., доцент, Харків, Україна;

Кузьменко А.П. – доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ, к.т.н., доцент, Харків, Україна;

Подригало М.А. – завідувач кафедри технології машинобудування і ремонту машин, ХНАДУ, д.т.н, професор, Харків, Україна;

Батигін Ю.В. – завідувач кафедри фізики, ХНАДУ, д.т.н., професор, Харків, Україна;

Клименко В.І. – завідувач кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, ХНАДУ, д.т.н., професор, Харків, Україна;

Гнатов А.В. – завідувач кафедри автомобільної електроніки, ХНАДУ, д.т.н., професор, Харків, Україна;

Волков В.П. – завідувач кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенка М.Я., ХНАДУ, д.т.н., професор, Харків, Україна;

Воропай О.В. – завідувач кафедри деталей машин і теорії механізмів і машин, ХНАДУ, д.т.н., професор, Харків, Україна;

Глушкова Д.Б. – завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства, ХНАДУ, д.т.н., професор, Харків, Україна;

Гутаревич Ю.Ф. – професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, д.т.н., професор, Київ, Україна;

Криштопа С.І. – завідувач кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, д.т.н., професор, Івано-Франківськ, Україна;

Грицук І.В. – професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, д.т.н., професор, Херсон, Україна;

Варбанець Р.А. – завідувач кафедри суднові енергетичні установки і технічна експлуатація, Одеський національний морський університет, д.т.н., професор, Одеса, Україна;

Роговий А.С. – завідувач кафедри гідравлічні машини ім. Г.Ф. Проскури (Навчально-науковий інститут механічної інженерії і транспорту), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), д.т.н., професор, Харків, Україна;

Лісовал А.А. – професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, д.т.н., професор, Київ, Україна;

Гогоренко О.А. – завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації, к.т.н., доцент, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, к.т.н., доцент, Миколаїв, Україна;

Слинько Г.І. – професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, Національний університет «Запорізька політехніка», д.т.н., професор, Запоріжжя, Україна;

Полив'янчук А.П. – професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор, Вінниця, Україна;

Лебедєв С.А. – директор Харківської філії Державної наукової установи «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого», к.т.н., Харків, Україна;

Калінін Є.І. – професор кафедри тракторів, автомобілів та біоенерго-ресурсів, Національний університет біоресурсів і природокористування України (НУБІП), д.т.н., професор, Київ, Україна;

Krzysztof Górski – DSci, Prof., Head of the Department of Automotive Transport, Kazmierz Pulaski University of Technology and Humanities, Radom, Poland;

Ruslans Šmigins – DSci., Professor of the Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia Powertrain Institute;

Albina Tropina – DSci., Research Professor Aerospace Engineering, Texas A&M University, TX 77843, United States;

Otar Gelashvili – Dean of transport and Faculty of Mechanical Engineering, Department of Road Transport and Logistics, DSci., Prof. Georgian technical University, Tbilisi, Georgia;

Valery Topalidi – Associate Prof., Ph.D of Tashkent University Automobile and Road University, Tashkent, Uzbekistan;

Dimitrov Angel – prof. Technical University, Varna, Bulgaria;

Roland Lachmeier – Doctor of Engineering, Technical University, Hanover, Germany;

Alexey Antoshkiv – Doctor of Philosophy, Doctor of Eng., Brandenburg University of Technology, Germany;

Yuliya Gorb – Associate Professor, Department of Mathematics, University of Houston;

Oleg Sergienko – Associate Professor, Engineering Institute of Universidad Autonoma de Baja California.

ЗМІСТ

Секція 1. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

Макаренко М.Г., Манойло В.М., Шевченко І.О.

Підвищення енергоефективності дизельних двигунів вантажних автомобілів шляхом адаптивного впорскування палива 12

Volodymyr Nerubatskyi, Denys Hordiienko, Serhii Ohurtsov

Development of intelligent transport systems with high reliability and efficiency of operation on railways..... 16

Секція 2. РОБОЧІ ПРОЦЕСИ, ДИНАМІКА І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА МАШИН

Авраменко А.М.

Використання допоміжного ДВЗ для комбінованої установки в системах децентралізованого енергопостачання..... 19

Афонін В.М., Воробйов Д.В.

Підходи та математичні моделі для дослідження процесу наповнення циліндра ДВЗ свіжим повітрям 22

Колеснікова Т.М., Чуйко С.В., Кушнір Р.Ю., Карацук В.Ю., Подолінський М.М.

Дослідження впливу кінематики на робочий процес безшатунного двигуна..... 26

Корогодський В.А., Хомутов М.А., Стрижак Г.О., Кананикін О.В., Орлов М.А.

Визначення впливу моменту безпосереднього впорскування бензину на економічні та екологічні показники двигуна 1Д 8,2 / 8,7 з іскровим запалюванням 34

Нікітченко І.М., Трофіменко Д.О.

Визначення параметрів робочого тіла в циліндрі пневмодвигуна 36

Грицюк О.В., Міхедькін М.В.

Відродження карбюраторних та гідромеханічних двигунів як захист енергетичних установок військового призначення від засобів РЕБ 40

Слинько Г.І., Сухонос Р.Ф.

Аналіз технічного рівня двотактних двигунів для бензопил..... 44

Volodymyr Nerubatskyi, Denys Hordiienko, Serhii Ohurtsov

Application of modern methods of digital signal processing in controlling power active filters..... 48

Секція 3. КОНСТРУКЦІЯ МАШИН, СПОРУД ТА КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Веретенніков Є.О., Карпов В.О., Дудка О.Б.

Переваги двопоточних трансмісій порівняно з механічними для військових гусеничних машин з бортовою схемою трансмісії.....51

Alla Korohodska, Andriy Kitchenko, Halyna Shabanova, Maksym Volobuev

Refractory cements based on calcium aluminates and titanates.....55

Секція 4. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА, ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕНЕРГОСИСТЕМ, ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Natalia Smetankina

Development of an approach to assessing reliability of power equipment.....58

Alla Korohodska, Ievgenii Grudina, Halyna Shabanova, Maksym Volobuev

Radiation-resistant cement based on barium aluminates and chromites61

Секція 5. НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ДІАГНОСТИКА, ВИПРОБУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕНЕРГОСИСТЕМ. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Петухов І.І., Лисиця О.Ю.

Моделювання тепломасопереносу при випадінні конденсованої фази та її кристалізації на стінках кріогенних теплообмінників63

Куликівський В.Л.

Вплив несправностей рідинних систем охолодження на експлуатаційну надійність автотракторних двигунів65

Секція 6. ЕЛЕКТРИЧНІ, ГІБРИДНІ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ, СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Багач Р.В., Латвинський В.Д.

Гібридне охолодження електроніки електромобілів.....68

<i>Латвинський В.Д., Багач Р.В.</i>	
Перспективи використання відпрацьованих акумуляторів у мобільних зарядних станціях.....	72
<i>Гнатов А.В., Дорош О.В.</i>	
Автономні переносні та альтернативні системи електроживлення для електромобілів.....	76
<i>Смирнов О.П., Борисенко А.О.</i>	
Дослідження двомоторних електричних транспортних засобів	81
<i>Бганцев В.М.</i>	
Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння ще довго будуть існувати на європейському континенті	86
<i>Федоровський А.С., Болдовський В.М.</i>	
Перспективи впровадження інтегрованого стартер-генератора в конструкціях сучасних автомобілів	88
<i>Мешков Д.В.</i>	
Моделювання теплових процесів в акумуляторних батареях гібридних автомобілів: проблематика, методичні підходи та перспективи оптимізації систем охолодження	90
<i>Манойло В.М., Козлов Ю.Ю., Гончаров С.В., Шулаєв М.Є., Стрижак Г.О., Гончаров М.Д.</i>	
Особливості вибору функціональних систем сучасних газодізілів для автотракторних засобів	92
<i>Манойло В.М., Макаренко М.Г., Гончаров С.В., Шулаєв М.Є., Магазейчиков П.А., Старушко Б.В.</i>	
Застосування механічного редуктора в системі живлення бензо-газового двигуна автотранспортного засобу	97
<i>Манойло В.М., Шевченко І.О., Гончаров С.В., Шулаєв М.Є., Яценко В.О., Яненко П.А.</i>	
Використання електронного дозатору на «чисто» газовому двигуні для легкового транспортного засобу.....	100
<i>Anna Filatova, Vitaliy Krivda, Maksim Strilec, Krugovyi Andriy</i>	
Return compression in a piston air engine	103
<i>Eduard Teslenko</i>	
Combined operation of the air engine and ice of the combined power plant of a vehicle (CPU)	108

Секція 7. ЕНЕРГЕТИЧНІ І ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ, ЇХ КЕРУВАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ

Макаренко М.Г., Шевченко І.О., Калашник Є.А.

Підвищення ефективності автомобільного двигуна шляхом застосування мехатронної системи адаптивного наддуву	112
--	-----

Секція 8. ПРОЦЕСОРИ І МІКРОЕЛЕКТРОНІКА В ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ. ПРОГРАМУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЕЛЕКТРОННЕ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ І ІНШИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Гнатов А.В., Сохін П.А., Крупін К.Ю.

Дослідження комплектацій та основних технічних характеристик електромобіля Hyundai Kona Electric	117
--	-----

Гнатов А.В., Ульянець О.А., Русанов М.К.

Дослідження способів заряду електромобіля Hyundai Kona Electric	122
---	-----

Грицук В.Ю., Грицук Ю.В.

Модульна архітектура обробки та зберігання даних транспортних засобів	125
---	-----

Латвинський В.Д., Багач Р.В.

Система централізованого управління, діагностування та моніторингу електромобіля	130
--	-----

Нечаус А.О., Апальков С.О.

Визначення втрат енергії у магнітній концентричній передачі та оптимізація її будови для використання у гібридному електромобілі	134
--	-----

Нечаус А.О., Ахмедов Р.Б.

Вибір методу керування синхронного реактивного двигуна у складі силової установки електромобіля	136
---	-----

Нечаус А.О., Панін О.О.

Дослідження моделі системи керування реактивної електричної машини з перемиканням магнітного потоку у генераторному режимі при рекуперативному гальмуванні електромобіля	139
--	-----

Нечаус А.О., Цвіренко В.А.

Розробка алгоритму керування електрогідравлічною гальмівною системою електромобіля при реалізації функцій ABS та ESP	141
--	-----

<i>Нечаус А.О., Шевченко О.В.</i>	
Моделювання аварійних режимів роботи суміщених інверторів двумоторної силової установки електромобіля.....	143
<i>Дзюбенко О.А., Лимаренко С.Р.</i>	
Оптимізація системи пуску ДВЗ.....	145
<i>Макаренко М.Г., Шевченко І.О., Щербинський І.О.</i>	
Алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання для траєкторного керування транспортними засобами: методи, виклики та перспективи	148
<i>Andrii Nechaus, Mykhailo Kadnai</i>	
Development of an electronic power supply system for a switched reluctance motor with hybrid excitation as part of the powertrain of an electric vehicle	152

Секція 9. ТРАДИЦІЙНІ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

<i>Корпач А.О., Основа Д.О.</i>	
Використання газу брауна в двигунах внутрішнього згорання.....	156
<i>Худяков І.В., Грицюк І.В., Погорлецький Д.С., Черненко В.В., Кальченко В.В.</i>	
Традиційні та альтернативні палива для енергетичних систем судна	158
<i>Нерубацький В.П., Шаповалова Д.С.</i>	
Можливості використання водню, як альтернативного джерела енергії.....	160
<i>Гнип М.М.</i>	
Дослідження показників паливних сумішей, що впливають на роботу системи живлення двигуна	163

Секція 10. КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ І МАШИНАХ

<i>Кузьменко А.П., Грицюк О.В., Кузьменко С.С.</i>	
Порівняння показників двигуна 4ч7,5/7,35 в складі глибокої силової установки реалізованої за паралельною та послідовною схемою	168

**Секція 11. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.
ЕНЕРГЕТИКА І НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ**

*Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Худяков І.В., Черненко В.В.,
Кужельний Я.В.*

Підвищення оперативної готовності транспортної техніки
з двигунами внутрішнього згорання шляхом модернізації
систем збереження теплового стану172

Дідок В.О., Бредіхін В.М.

Вплив штучного інтелекту на енергетику: GPT-4o
та економічні аспекти176

Душкін С.С.

Екологізація енергетичних систем: виклики, перспективи
та інновації в переході до сталого розвитку178

Приходько К.В., Прокопенко Н.В.

Використання програмних застосунків для моделювання
забруднення придорожніх екосистем181

Oleksandr Kondratenko, Viacheslav Krasnov

Designing and developing of portable dismountable test bench for
experimental research of the working characteristics of executive elements
of environmental protection technologies against the influence
of power plants with reciprocating ICE185

**Секція 12. КОНСАЛТИНГОВІ СХЕМИ В ЕНЕРГЕТИЦІ.
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ І МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЙОГО
ПРОВЕДЕННЯ. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

Гетьман О.О.

Проактивний підхід до визначення трансформації організаційних
структур енергетичних підприємств189

Секція 1. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

УДК 621.43.064

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ШЛЯХОМ АДАПТИВНОГО ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА

Макаренко Микола Григорович, доцент каф. «Трактори і автомобілі»,
Державний біотехнологічний університет,
e-mail: mak_nk@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4078-9045

Манойло Володимир Максимович, докт. техн. наук, професор кафедра ДВЗ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: volodimir.m.manoylo@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2208-4404

Шевченко Ігор Олександрович, канд. техн. наук, доцент, завідувач каф.
«Трактори і автомобілі», Державний біотехнологічний університет,
e-mail: igorshvchnk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1280-5290

Дизельні двигуни є основою сучасного вантажного транспорту завдяки їхній високій паливній ефективності, довговічності та здатності працювати у важких умовах експлуатації. Однак, зростаючі екологічні обмеження та підвищені вимоги до економічності змушують автовиробників і дослідників шукати нові рішення для вдосконалення процесів горіння, зменшення споживання пального та зниження рівня шкідливих викидів. Одним із найбільш перспективних підходів є адаптивне впорскування палива, що дозволяє оптимізувати подачу пального залежно від режиму роботи двигуна та зовнішніх факторів.

Адаптивне впорскування палива базується на змінному регулюванні ключових параметрів процесу подачі пального, таких як кількість впорскуваного пального, тиск упорскування, фази упорскування, температура камери згоряння та рівень навантаження. Цей підхід дозволяє підвищити термічну ефективність двигуна, мінімізувати енергетичні втрати та покращити загальні експлуатаційні характеристики вантажних автомобілів.

Адаптивне впорскування палива реалізується завдяки інтеграції високоточних електронних систем керування, датчиків та програмного забезпечення, що забезпечують точне регулювання параметрів паливоподачі. Система аналізує миттєві дані про робочий стан двигуна та автоматично налаштовує режими впорскування відповідно до навантаження, температури, частоти обертання та інших факторів.

Основними принципами адаптивного впорскування є: мультифазне впорскування, що забезпечує багатоступеневий процес подачі пального для оптимізації горіння та зниження шкідливих викидів [1–3]; динамічне регулювання тиску впорскування, що дозволяє підвищити якість сумішоутворення та ефективність горіння [4]; інтелектуальне керування впорскуванням, що використовує штучний інтелект для аналізу параметрів роботи двигуна в реальному часі [5].

В сучасних дизельних двигунах з метою оптимізації процесу впорскування використовується система Common Rail, що дозволяє точно керувати тиском пального та моментами впорскування незалежно від режиму роботи двигуна. Головними характеристиками цієї технології є: тиск впорскування (1800–3000 бар залежно від навантаження та типу двигуна); час відкриття форсунки (200–500 мкс, що дає можливість багатоступеневого упорскування); кількість фаз упорскування (3–7 фаз за один такт - попереднє, основне та поствпорскування); розмір отворів розпилювачів форсунок (0,08–0,15 мм, що забезпечує точне дозування пального та рівномірність розпилення).

Високий тиск упорскування дозволяє досягти кращого розпилення пального, сприяючи утворенню більш гомогенної суміші та підвищенню коефіцієнта корисної дії двигуна. Типовими параметрами є: низьке навантаження (500–1200 бар); середнє навантаження (200–2000 бар); максимальне навантаження (2500–3000 бар).

Штучний інтелект у поєднанні з системами аналізу забезпечує регулювання параметрів упорскування в режимі реального часу, аналізуючи комплексні дані про роботу двигуна. Використовуючи методи глибокого навчання та адаптивні алгоритми оптимізації, система може визначати найефективніші режими подачі пального, враховуючи такі параметри, як температура навколишнього середовища, атмосферний тиск, вологість повітря, склад вихлопних газів та рівень навантаження.

Для досягнення високої точності регулювання застосовуються нейромережеві моделі, що проходять навчання на великих наборах даних, отриманих у різних експлуатаційних умовах. Це дозволяє системі прогнозувати зміни робочих характеристик двигуна та оперативно коригувати параметри впорскування, зокрема тиск (у діапазоні 500–3000 бар), тривалість кожної фази подачі пального (200–500 мкс), а також оптимізувати співвідношення повітря-паливо для різних режимів експлуатації.

Додатково, інтелектуальні системи керування можуть взаємодіяти з іншими електронними модулями двигуна автомобіля, такими як система рециркуляції вихлопних газів (EGR) та турбонаддув, для комплексного підвищення енергоефективності та зниження рівня шкідливих викидів. Завдяки цим технологіям досягається адаптація двигуна до різних кліматичних зон,

варіативності дорожніх умов та типу вантажу, що значно підвищує його продуктивність та економічність.

Адаптивне керування процесом згоряння дозволяє досягти зменшення витрати пального на 8–15% завдяки оптимізації параметрів упорскування та використанню інтелектуальних алгоритмів регулювання подачі пального. Зокрема, система змінює тиск впорскування залежно від навантаження, що дозволяє мінімізувати непродуктивні витрати енергії. Також регулюється час і кількість фаз впорскування (від 3 до 7 фаз на один такт), що покращує згоряння пального та знижує втрати енергії через неповне згоряння.

Дослідження показують, що при низьких навантаженнях зменшення витрати пального може досягати 12–15%, а при високих навантаженнях – 8–10%. Окрім того, впровадження адаптивного керування тиском (від 500 бар у режимі холостого ходу до 3000 бар у режимі максимального навантаження) дозволяє значно підвищити ефективність паливного процесу, що позитивно позначається на економічних показниках вантажного транспорту [8].

Одним із основних завдань адаптивного впорскування палива є також зниження рівня шкідливих викидів, зокрема оксидів азоту (NO_x), твердих частинок (PM) та вуглекислого газу (CO₂). Це досягається завдяки точному контролю процесу горіння та впровадженню передових методів регулювання параметрів упорскування.

Так мультифазне впорскування дозволяє здійснювати впорскування палива в кілька етапів (від 3 до 7 фаз за один такт). Початкові етапи сприяють утворенню рівномірної паливно-повітряної суміші, що зменшує концентрацію зон із високими температурами, а отже, знижує рівень утворення NO_x.

Оптимізація тиску впорскування залежно від режиму роботи двигуна, (тиск змінюється в межах 500–3000 бар), забезпечується покращене диспергування палива і мінімум утворення частково згорілих залишків, які можуть утворювати PM.

Динамічна зміна моменту впорскування дозволяє уникнути передчасного займання палива та запобігає неефективному згорянню при високих температурах, що є основною причиною утворення оксидів азоту.

Поєднання адаптивного впорскування з системою рециркуляції вихлопних газів (EGR) дозволяє знизити пікові температури в камері згоряння, що ефективно зменшує утворення NO_x.

Подача додаткової порції пального після основного впорскування сприяє допалюванню незгорілих залишків та зменшенню концентрації сажових частинок. Крім того впорскування розчину сечовини в потік вихлопних газів при використанні системи AdBlue (SCR – Selective Catalytic Reduction) у поєднанні з адаптивним впорскуванням дозволяє додатково знижувати рівень NO_x, перетворюючи його в нешкідливий азот і воду.

Результатами впровадження вказаних технологій є: зниження NOx на 30–50% завдяки кращому контролю температури горіння та використанню системи SCR; зменшення викидів твердих частинок (PM) на 40–60% за рахунок оптимізації процесу згоряння та використання поствпорскування; скорочення викидів CO₂ на 10–15% завдяки підвищенню ефективності згоряння та зниженню непродуктивних витрат енергії. Це дозволяє відповідати найсуворішим екологічним стандартам [8].

Завдяки рівномірному розподілу навантаження на поршневу групу та клапанний механізм, а також зниженню пікових температур згоряння, ресурс двигуна може збільшуватися на 15–25%, що значно зменшує витрати на ремонт та обслуговування [9].

Оптимізоване впорскування дозволяє зменшити рівень механічного та термічного навантаження на поршні, кільця та клапани, що запобігає передчасному зношуванню цих деталей.

Основними параметрами при застосуванні адаптивного впорскування, які впливають на довговічність двигуна є: точне дозування пального (3–7 фаз впорскування за один такт), що забезпечує рівномірне поширення теплового навантаження; контрольоване зростання температури в камері згоряння, що мінімізує ризик стрімкого наростання тиску та локальних перегрівів; регульований тиск впорскування, що змінюється у діапазоні від 500 до 3000 бар і дозволяє уникнути надмірного навантаження на форсунки та паливні магістралі; система самонавчання керування двигуном, що аналізує історію експлуатації та прогнозує майбутнє навантаження, оптимізуючи режими упорскування для продовження ресурсу агрегатів.

Таким чином, адаптивне впорскування не лише покращує ефективність двигуна, але й сприяє зниженню ризику передчасного виходу з ладу важливих компонентів, що є вагомим фактором для зменшення витрат на експлуатацію вантажного транспорту.

Однак, незважаючи на численні переваги, існують проблеми, що потребують подальших досліджень. Це, перш за все, висока вартість електронних систем керування та паливних форсунок, складність інтеграції адаптивного впорскування у застарілі конструкції двигунів та необхідність регулярного калібрування системи для підтримання високої точності впорскування.

Подальші дослідження спрямовані на розробку більш ефективних алгоритмів керування, удосконалення матеріалів для форсунок та інтеграцію з альтернативними видами пального (біодизель, синтетичне паливо).

Висновки

Адаптивне впорскування палива є інноваційним напрямком розвитку дизельних двигунів, що дозволяє значно підвищити їхню енергоефективність,

знизити рівень шкідливих викидів та збільшити довговічність. Подальший розвиток цієї технології зробить вантажний транспорт ще більш ефективним, економічним та екологічно безпечним.

Література

1. Оптимізація систем керування двигунами вантажних автомобілів. / Макаренко М.Г., Шевченко І.О., Кривоніс С.В. // Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії». 11–12 березня 2024 року. – Харків : ХНАДУ, 2024.С. 271 – 274.
2. Електронні системи керування та діагностики сучасних автомобілів: проблеми і рішення. / Макаренко М.Г., Шевченко І.О., Хейло В.О., Пиріжок В.І. // Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії». 11–12 березня 2024 року. – Харків : ХНАДУ, 2024. С. 274 – 278.
3. Bosch, R. Diesel Engine Management. Springer, 2021.
4. Heywood, J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, 2018.
5. Zhao, F. Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development. Woodhead Publishing, 2015.
6. Piezoelectric Injector Systems. SAE Technical Paper 2019-01-1210.
7. Common Rail Fuel Injection System. Automotive Engineering Journal, 2020.
8. AI-Based Optimization of Fuel Injection. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2021.
9. Fuel Economy Benefits of Adaptive Fuel Injection. Journal of Engine Research, 2022.

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS WITH HIGH RELIABILITY AND EFFICIENCY OF OPERATION ON RAILWAYS

Nerubatskyi Volodymyr, Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport,
e-mail: NVP9@i.ua, ORCID: 0000-0002-4309-601X

Hordiienko Denys, Senior engineer, Private JSC “ELAKS”,
e-mail: D.Hordiienko@i.ua, ORCID: 0000-0002-0347-5656

Ohurtsov Serhii, Master of Department of Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport,
e-mail: ogurcov2024@kart.edu.ua

Rail transport has been and remains the leading link in the integrated transport system of Ukraine. In the long term, rail transport will remain the most cost-effective way to transport significant volumes of stable flows of bulk cargo delivered over

medium and long distances [1, 2]. In recent years, the overwhelming majority of the increase in transportation volumes and freight turnover in rail transport has been achieved by increasing its competitiveness through the use of modern and promising scientific developments embodied in innovative technologies, services, equipment, automated control systems and centralized organization of the transportation process.

One of the fundamental requirements for the sustainable operation of the railway transport infrastructure are the requirements for the reliability, failure-free operation and safety of telecommunication structures that ensure the operational activities of Ukrainian railways. Modern management technologies provide for the use of multidimensional situational models, monitoring and forecasting systems for the transportation process, the latest logistics methods, dynamic operational reserves of throughput and carrying capacity for main railway lines, as well as the use of intelligent automated control systems [3].

Intelligent traction rolling stock and infrastructure are created on the basis of self-monitoring and self-diagnosing objects that ensure the transmission of operational information about the technical condition, remaining resource, etc. to traffic control centers. The implementation of the above-mentioned projects is impossible without the clear operation and interaction of all computer control systems, automation and communications on the country's railways.

Intelligent transport systems help to solve such problems as: optimizing the distribution of traffic flows in the network in time and space, increasing the capacity of the existing transport network, providing priorities for the passage of a certain type of transport, managing transport in the event of accidents, disasters or events that affect traffic, improving road safety, which leads to an increase in capacity, reducing the negative environmental impact of transport, providing information about the state of the roads to all interested parties.

At the moment, the state of automation in the sphere of production management of Ukrainian railways is characterized by the following main features. Existing complexes are mainly information databases. They do not provide decision support, do not allow managing production processes in real time, planning work, modeling and forecasting the development of situations. The architecture and functionality of railways were laid down more than 30 years ago, and today their modernization is almost impossible. As a result, they often do not meet modern business processes and new requirements for the interaction of participants in the transport services market. As a result, there are no methods and means to ensure the coordinated work of participants in production activities, there is no support for end-to-end business processes.

Intelligent transportation systems can use different types of wireless communication. Over short distances, wireless communication according to IEEE 802.11 (Wi-Fi) standards can be used, especially the IEEE 802.11p (WAVE)

standard. Also, for example, in the United States, the DSRC standard is used, promoted by the American public organization Intelligent Transportation and the US Department of Transportation. Intelligent transport systems provide for the integrated use of satellite technologies for train traffic control, construction, modernization, repair of railways, monitoring of track infrastructure, property management and environmental protection. All these technologies assume the presence of a single coordinate space and positioning systems with varying degrees of accuracy.

Conclusion

Thus, the development of intelligent transport systems allows us to reach a qualitatively new level of creating systems with high reliability and efficiency of operation, to ensure the level of quality of transport services and safety of transportation on railways. The use of intelligent transport systems will allow us to reveal an effective business concept for achieving competitive advantages of railway transport, taking into account the methods, techniques, forms and means of achieving the set goals.

References

1. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D. Improving the energy efficiency of traction power supply systems by means the implementation of alternative power sources. 26th International Scientific Conference Transport Means 2022. 2022. Part I. P. 459–464. doi: <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2022.P1>.
2. Creß C., Bing Z., Knoll A. Intelligent transportation systems using roadside infrastructure: a literature survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2024. Vol. 25, No. 7. P. 6309–6327. doi: <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3343434>.
3. Nerubatskyi V., Hordiienko D. Study of the influence of sliding mode regulator on spectrum higher harmonics of the SEPIC converter. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). 2023. P. 1–4. doi: <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402454>.

Секція 2. ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА МАШИН РОБОЧІ ПРОЦЕСИ, ДИНАМІКА І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ

УДК 621.43

ВИКОРИСТАННЯ ДОПОМІЖНОГО ДВЗ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ УСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

Авраменко Андрій Миколайович, пров. наук. співр.¹, професор²,

¹Інститут енергетичних машин і систем ім. А.М. Підгорного НАН України,

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

e-mail: an0100@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8130-1881

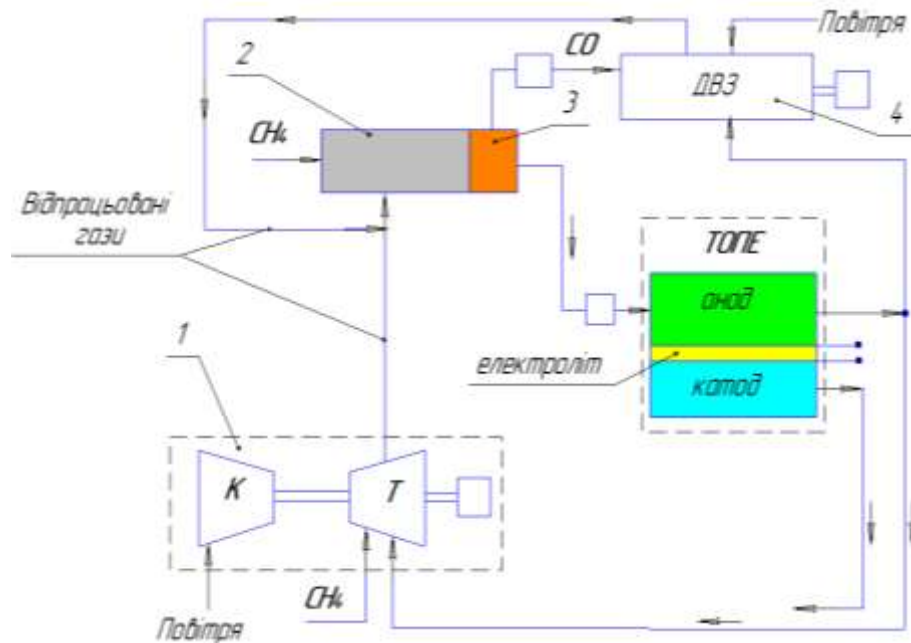
Розвиток електрохімічних систем перетворення енергії палива (наприклад твердооксидних паливних елементів – ТОПЕ) у електроенергію дозволяє значно підвищити ККД комбінованої енергоустановки [1–3]. Зазвичай, у складі комбінованої енергоустановки для розподіленого енергопостачання використовують модуль ТОПЕ та газотурбінний двигун (ГТД) – для утилізації продуктів неповного окислення вуглеводневого палива у ТОПЕ [4, 5]. В якості палива – як правило використовують мережевий метан, або біогаз.

Особливостями роботи такої комбінованої енергоустановки – є значний час виходу на розрахунковий режим (до 24 годин), та необхідність протягом цього часу значно змінювати концентрації палива та повітря [6, 7].

Використання допоміжного ДВЗ (двигун Отто) у складі комбінованої енергоустановки для утилізації горючих газів, які формуються в процесі активації палива для ТОПЕ та викидів відпрацьованих газів аноду ТОПЕ має ряд переваг, основними з яких є можливість роботи на різних видах вуглеводневого палива з більшими значеннями ККД та меншими капітальними витратами (ніж використання тільки ГТД). На рис. 1 наведено узагальнену схему комбінованої енергоустановки на базі ТОПЕ та ГТД з допоміжним ДВЗ.

Згідно розглянутої схеми – допоміжний ДВЗ може працювати в режимі мотор-генератора, як на мережевому метані, суміші мережевого метану з продуктами часової конверсії вуглеводневого палива, так і на горючих газах з викидів відпрацьованих газів аноду ТОПЕ (CO, H₂, C_nH_m). Після виходу на розрахунковий режим комбінованої енергоустановки допоміжний ДВЗ вимикають і генерацію енергії реалізують за допомогою ТОПЕ та ГТД.

Завдяки такому підходу є можливість підвищити ефективність комбінованої енергоустановки, підвищити сумарний ККД при роботі на нерозрахункових режимах та знизити капітальні витрати.



1 – ГТД; 2 – система активації вуглеводневого палива;
3 – блок фільтрації активованого палива; 4 – допоміжний ДВЗ

Рисунок 1 – Узагальнена схема комбінованої енергоустановки

Алгоритм роботи допоміжного ДВЗ у складі комбінованої енергоустановки наведено на рис. 2.

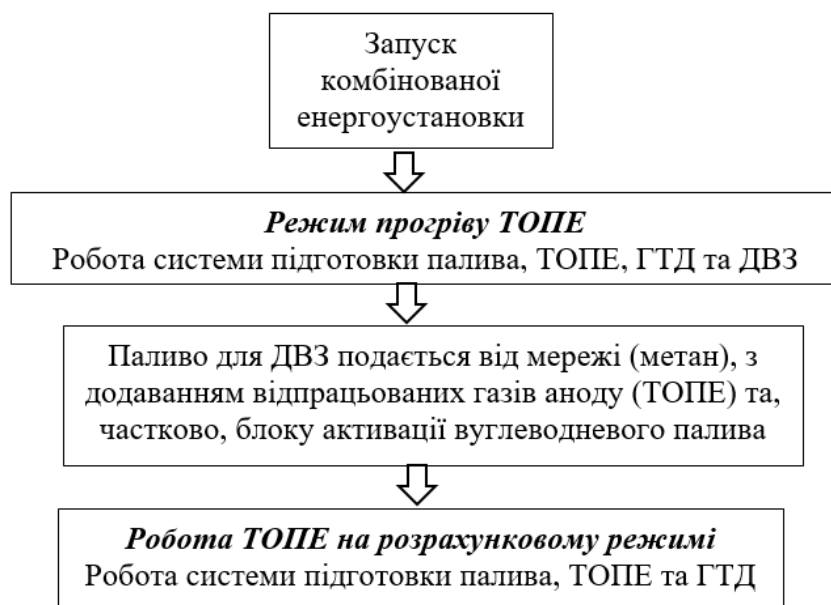


Рисунок 2 – Алгоритм роботи допоміжного ДВЗ у складі комбінованої енергоустановки

Висновки

– використання допоміжного ДВЗ в режимі мотор-генератора для утилізації продуктів конверсії вуглеводневого палива (системи підготовки вуглеводневого палива для ТОПЕ) та при організації подачі горючих газів, шляхом їх сепарації з випускних газів аноду ТОПЕ дозволить підвищити ефективний ККД комбінованої енергоустановки та забезпечити надійність її роботи на нерозрахункових режимах протягом прогріву;

– використання додаткових датчиків та модернізація системи керування допоміжним ДВЗ дозволить забезпечити високий ефективний ККД та моторесурс при роботі на сумішевому газоподібному паливі.

Література

1. Hohloch M., Huber A., and Aigner M. (2017). Analysis of Operational Strategies of a SOFC/MGT Hybrid Power Plant. In: Proceedings of the ASME Turbo Expo 2017 – GT2017-65013.
2. Bücheler S., Huber A., and Aigner M. (2017). Development of a Jet-Stabilized Combustion System for the use of Low-Caloric SOFC Off-Gas. In: Proceedings of the ASME Turbo Expo 2017 – GT2017-64447.
3. Hermann F., Palsson J., and Mauss F. (2002). Combustor Design Analysis for SOFC Off-gases. In: 5th Solid Oxide Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland.
4. Loukou A., Voss S., Mendes M., Raimondi A., and Trimis D. (2009). Parametric experimental investigation of a small scale packed bed reactor for Thermal Partial Oxidation. In: 4th European Combustion Meeting, Vienna, Austria.
5. An-Na, D., Lin-Feng, X. U., and An-Ze, S. (2015). Research progress of solid oxidefuel cell. Bull. Chin. Ceram. Soc. 34 (S1), 234–238. doi:10.16552/j.cnki.issn1001-1625.2015.s1.058
6. Z.Ran, J. Longtin, D. Assanis. Investigating anode off-gas under spark-ignition combustion for SOFC-ICE hybrid systems. International J of Engine Research 2022, Vol. 23(5) 830–845. Doi: 10.1177/14680874211016987
7. Gaaney B and Lawler B. A fuel cell free piston gas turbine hybrid architecture for high-efficiency, load-flexible power generation. Appl Energy 2021; 283: 116242.

УДК 621.43

ПІДХОДИ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАПОВНЕННЯ ЦИЛІНДРА ДВЗ СВІЖИМ ПОВІТРЯМ

Афонін Валентин Миколайович, генеральний директор,

Приватна фірма «ПРОМЕНЕРГО»,

e-mail: prm187@ukr.net, ORCID: 0009-0006-5695-4796

Воробйов Дмитро Володимирович, аспірант,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

e-mail: vorobiovdmityro@ua.fm, ORCID: 0009-0003-4383-2923

Розвиток сучасних програмних комплексів дає змогу розглядати процес течії повітря, в процесі наповнення циліндра в нестационарній тривимірній постановці з урахуванням хвильових явищ у впускному колекторі та каналах в головці циліндрів. Для опису газодинамічної задачі треба підготувати масив вихідних даних (геометрія елементів впускної системи, описати властивості робочого тіла (повітря), умови на стінці та режими течії – граничні умови (ГУ) на вході та виході з проточної частини та, що особливо важливо, провести ідентифікацію використовуваних математичних моделей та уточнити значення ГУ з використанням моторних та безмоторних випробувань.

Так, автори роботи [1] розробили конструкцію оригінального безмоторного стенда та його CAD – версію для поглибленого дослідження умов наповнення циліндра (рис. 1).

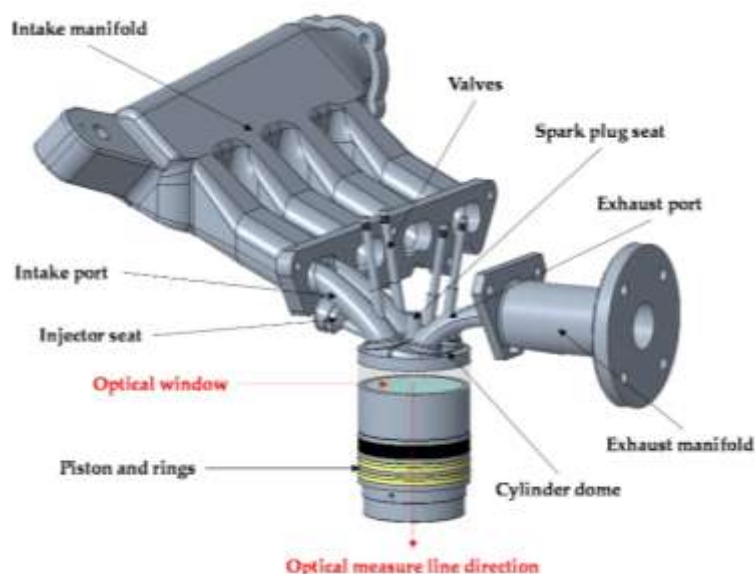


Рисунок 1 – Загальний вигляд моделюючої установки [1]

Для підвищення точності експериментального дослідження автори використовували оптичні методи та, додатково, порівняльні чисельні експерименти з використанням CFD-технологій.

Зокрема авторами [2] було створено макет двигуна в програменому комплексі OpenWAM (рис. 2).

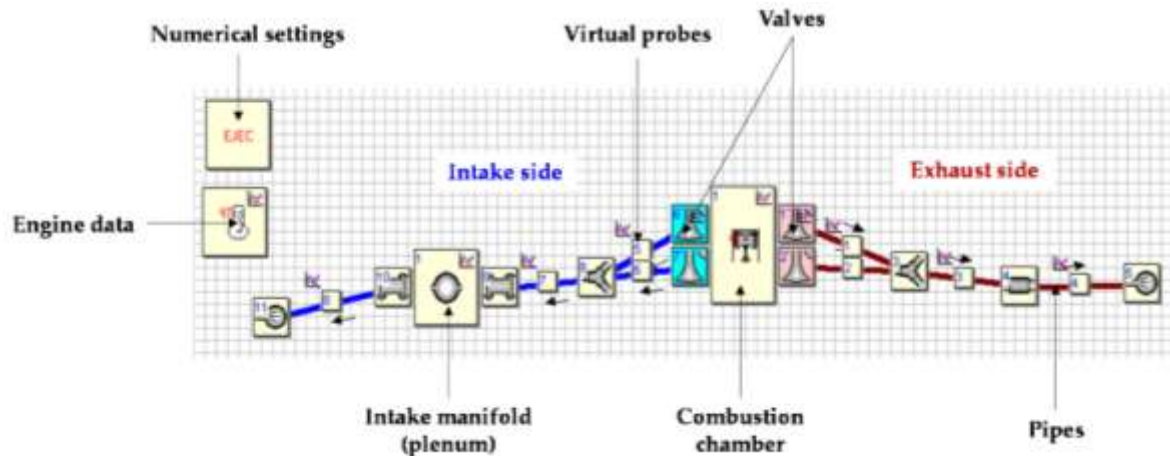


Рисунок 2 – Опис моделі дослідного двигуна в середовищі OpenWAM [2]

Такий підхід дозволяє в режимі конструктора формувати проточну частину впускного та випускного тракту двигуна та з мінімальними витратами часу проводити порівняльні розрахунки. Запропонована методика, навіть дозволяє оцінювати втрати повітря крізь перше компресійне кільце [2]. Порівняння результатів розрахунку та експерименту наведено на рис. 3.

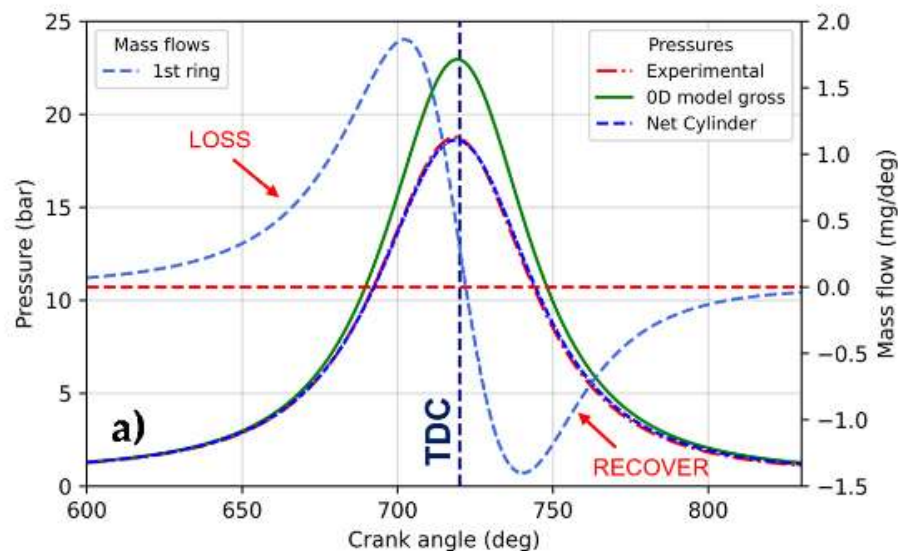


Рисунок 3 – Порівняння розрахункового, змодельованого у 0 – мірній постановці та експериментального (пунктирна червона лінія) тиску – в автономному режимі в моторних умовах [2]

Принципова схема моделі двигуна із запалюванням від стиснення для аналізу процесу наповнення наведена на рис. 4.

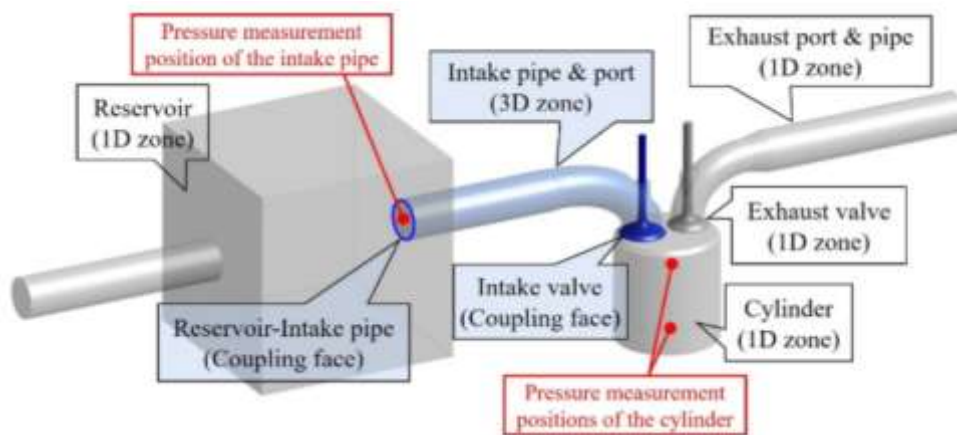


Рисунок 4 – Принципова схема моделі двигуна із запалюванням від стиснення [3]

Приклад конструкції експериментального впускного колектора наведено на рис. 5.

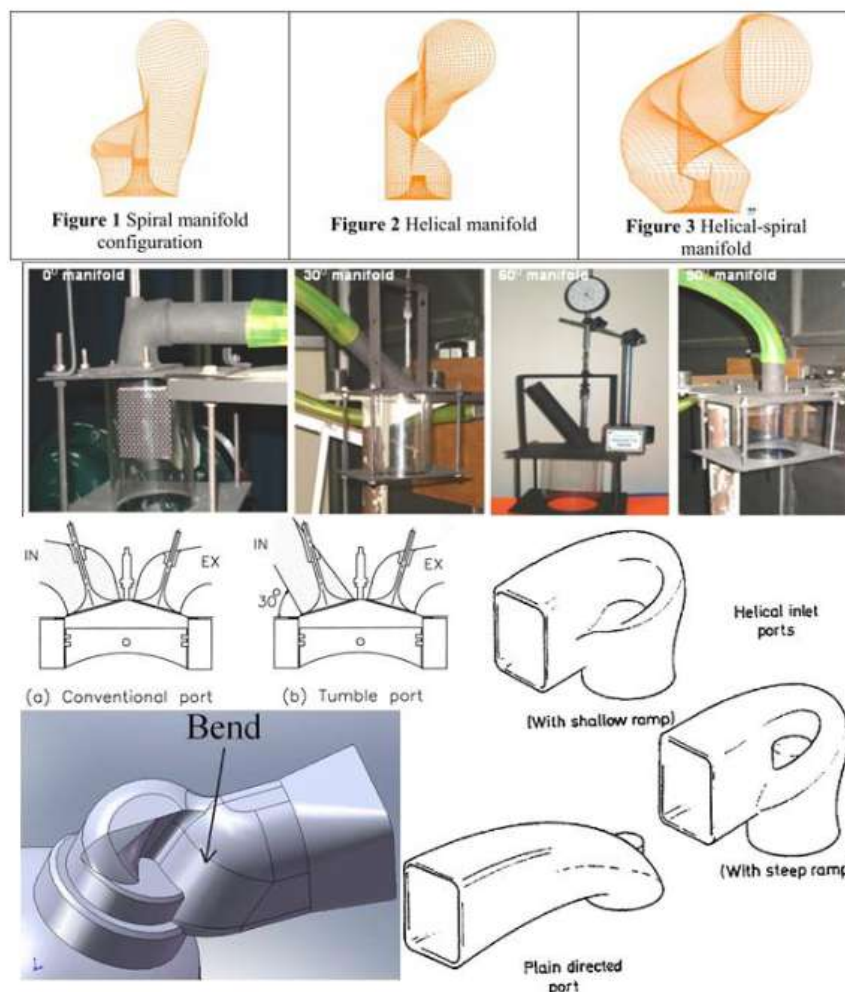


Рисунок 5 – Приклад конструкції експериментального впускного колектора [4]

За результатами проведеного дослідження автори [4] сформуvalи рекомендацій до конструкції впускного колектора та переваг використання турбулізуючих вставок для поліпшення умов наповнення циліндра ДВЗ свіжим повітрям.

Висновки

- проведено аналіз підходів з поліпшення умов процесу наповнення циліндра свіжим повітрям. Встановлено, що геометрія впускного колектора суттєво впливає на умови наповнення циліндра свіжим повітрям. Використання резонансних явищ у впускному колекторі та турбулізуючих вставок дозволяє поліпшити умови наповнення циліндра свіжим повітрям;
- показано, що використання безмоторних стендів для дослідження умов наповнення циліндрів свіжим зарядом має багато переваг, та, в поєднанні з чисельними експериментами, дозволяє значно скоротити час на розробку нової конструкції ДВЗ та доведення існуючої.

Література

1. DE Winterbone and RJ Pearson, Theory of engine manifold design, 1st edition, Professional Engineering Limited, UK 2000, pp. 13- 462
2. De Renzis, E.; Mariani, V.; Bianchi, G.M.; Cazzoli, G.; Falfari, S.; Antetomaso, C.; Irimescu, A. Implementation of a Multi-Zone Numerical Blow-by Model and Its Integration with CFD Simulations for Estimating Collateral Mass and Heat Fluxes in Optical Engines. *Energies* 2021, 14, 8566. <https://doi.org/10.3390/en14248566>
3. Kim, K.-H.; Kong, K.-J. 1D–3D Coupling for Gas Flow Analysis of the Air-Intake System in a Compression Ignition Engine. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 553. <https://doi.org/10.3390/jmse9050553>
4. S. Bari, S.N. Hossain, I. Saad, A review on improving airflow characteristics inside the combustion chamber of CI engines to improve the performance with higher viscous biofuels, *Fuel*, Volume 264, 2020,116769, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116769>

УДК 621.43

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІНЕМАТИКИ НА РОБОЧИЙ ПРОЦЕС БЕЗШАТУННОГО ДВИГУНА

Колеснікова Тетяна Миколаївна, канд.тех.наук. доцент каф. ЕРМ,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
e-mail: tnk1403@ukr.net, ORCID: 0000-0002-8568-4688

Чуйко Станіслав Владиславович, студент, Придніпровська державна
академія будівництва та архітектури, e-mail: staschuiko03@gmail.com

Кушнір Ростислав Юрійович, студент, Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури, e-mail: rostik03kyshnir007gmail.com

Карашук Владислав Юрійович, студент, Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури, e-mail: vladik.kar@i.ua

Подолінський Марк Максимович, студент, НТУ «Дніпровська політехніка»,
e-mail: Podolinskyi.M.M@nmu.one

Актуальність теми пов'язана дослідженню кінематики на робочий процес безшатунного двигуна.

Метою є дослідження кінематичних параметрів безшатунного двигуна з кривошипно-кулісним силовим механізмом.

Предметом дослідження є оцінка впливу кривошипно-кулісного силового механізму безшатунного двигуна на його кінематичні параметри.

Нині вимоги до екологічності та економічності вироблених двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) стають найефективнішим способом боротьби за ринки збуту продукції, що використовує ДВЗ як силовий агрегат. Однак резерви вдосконалення ДВЗ традиційними високотехнологічними способами використані практично до межі, тому необхідний пошук нових рішень.

В Україні та за кордоном як джерела механічної енергії переважають поршневі кривошипно-шатунні двигуни. Це пояснюється їхньою високою економічністю та хорошими потужностними показниками. Однак ці двигуни мають і суттєві недоліки: конструктивна складність; значна кількість деталей; велике число сполучень, що працюють із тертям ковзання; складність; трудоємкість; дорожня технологія виробництва.

Однак, незважаючи на широке поширення кривошипно-шатунних двигунів, питання поліпшення техніко-економічних і масогабаритних показників поршневих ДВЗ завдяки використанню резервів, які надають кінематичні схеми перетворювальних механізмів, відмінні від кривошипно-шатунної, залишаються на цей час відносно мало розробленими як у теорії, так і на

практиці. Одне з розв'язань проблеми – застосування безшатунних двигунів із кривошипно-кулісним силовим механізмом (БДККМ).

Схема, кінематика і компоновка БДККМ мають низку принципів відмінностей від таких кривошипно-шатунних механізмів (КШМ). Безшатунний механізм дає можливість конструктивно просто здійснювати двосторонній робочий процес за малих габаритів і високої швидкохідності двигунів у циліндрах.

При використанні безшатунного механізму повністю виключається тертя поршнів об стінки циліндрів і значно знижуються навантаження і тертя в кінематичних парах механізму на одиницю потужності, що розвивається. Завдяки цьому у безшатунних двигунів, порівняно з аналогічними кривошипно-шатунними, у кілька разів знижуються сумарні втрати потужності на тертя, значно збільшується ККД, підвищуються економічність, надійність і створюються сприятливі умови для збільшення моторесурсу двигунів та їхнього подальшого форсування за наддувом, числом обертів і середньою швидкістю поршня [1]. До переваг БДККМ належить і повна відсутність бічних сил, що діють на поршень і стінку циліндра, і сил інерції порядків, вищих за перший, що зменшує зношення деталей, істотно спрощує, а в багатьох випадках унеможливорює необхідність у врівноважуванні, і підвищує рівномірність ходу двигуна [1, 2].

Усі побудовані безшатунні двигуни мали порівняно з аналогічними кривошипно-шатунними двигунами рівної потужності в кілька разів менші габарити, більшу літрову потужність, меншу питому витрату палива, меншу питому масу конструкції і збільшений моторесурс. Таким чином, необхідність істотного поліпшення показників теплових двигунів (насамперед, масогабаритних) обумовлює доцільність наукових досліджень у галузі БДККМ. На рис. 1 показана конструктивна схема цього двигуна [3]. В двигуні робочий процес здійснюється як у звичайному чотиритактному бензиновому ДВЗ.

Механізм перетворення зворотно-поступального руху поршня в обертальний рух колінчастого валу розміщений в картері 5 двигуна та включає два колінчастих вала 6. На кривошипних шийках колінчастих валів знаходяться повзуни 6, що рухаються по направляючим куліси 4, яка за допомогою штока 3 з'єднана з поршнем 2.

При обертанні колінчастих валів додаткові противаги 8 завжди складають з вертикаллю кута, рівний куту повороту кривошипу. Горизонтальні складаючи центробіжних сил інерції цих противаг рівні по величині, направлені у різні сторони та, отже, взаємно врівноважені. Рівнодіюча вертикальних складаючих сил інерції противаг розміщена по осі циліндра двигуна та при будь-якому куті повороту колінчастого валу направлена в сторону, протилежну силі інерції від зворотно-поступально рухаючихся мас.

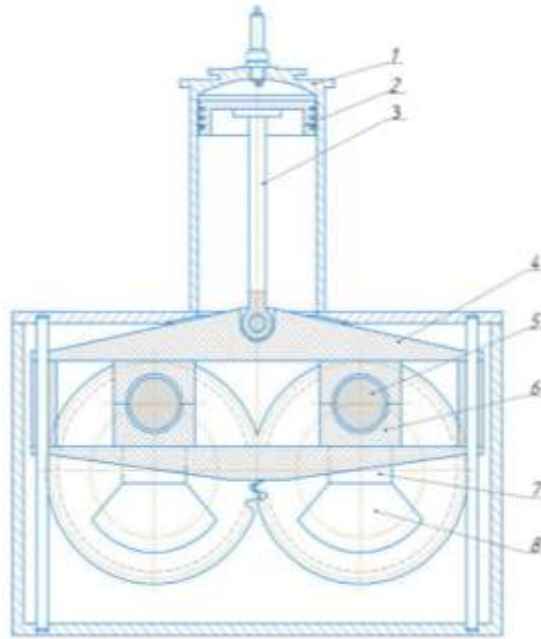


Рисунок 1 – Конструктивна схема безшатунного двигуна: 1 – циліндр;
2 – поршень; 3 – шток; 4 – куліса; 5 – картер;
6 – повзуни; 7 – колінчасті вали; 8 – противаги

При відповідному підборі мас противаг в двигуні забезпечується повне зрівноваження сили інерції усіх рухаючих частин. Завдяки відсутності шатуна значно зменшуються механічні втрати на тертя в циліндропоршневій групі, що призводить до підвищення механічного ККД двигуна.

На рис. 2 показано кінематична схема двигуна з ККМ, де $R = OB$ – радіус кривошипа; $s_x = A'A$ і $s_y = B'B$ – переміщення відповідно поршня та повзуна при повороті кривошипа на кут j .

Приймаючи початок переміщення поршня – в. м. т., отримаємо:
для поршня

$$s_x = R(1 - \cos\varphi); \quad (1)$$

де R – радіус кривошипа.
для повзуна

$$s_y = R \sin\varphi. \quad (2)$$

Залежності для швидкості руху v_x поршня та швидкості v_y повзуна по напрямних кулісах

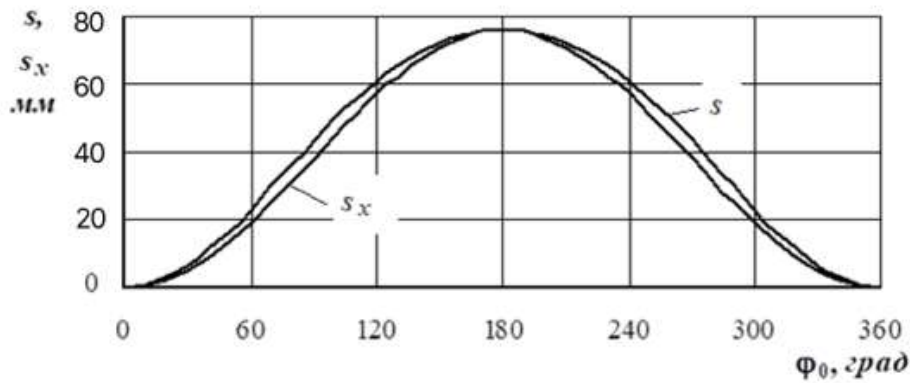


Рисунок 3 – Кінематичні характеристики (для $R = 36,75$ мм, $n = 5500$ хв⁻¹):
 s_x – графік зміни переміщення поршня безшатунного двигуна;
 s – класичного двигуна при $\lambda = R / L = 0,2759$ (де $L=133,2$ – довжина шатуна)

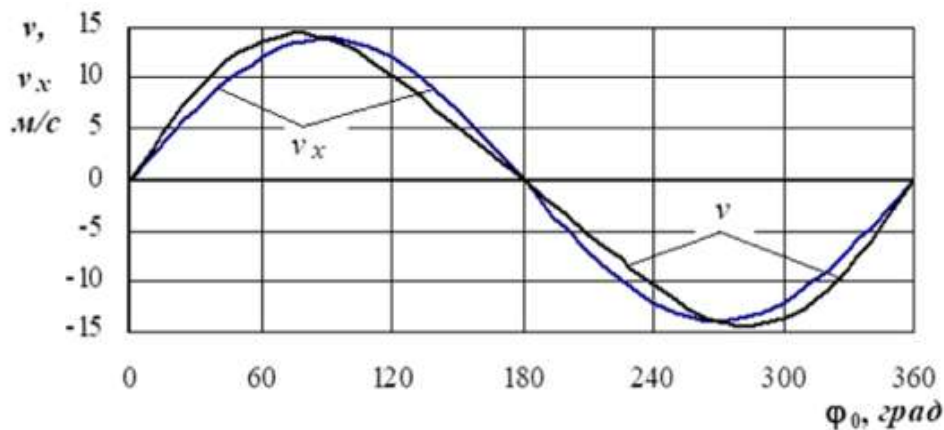


Рисунок 4 – Кінематичні характеристики (для $R = 36,75$ мм, $n = 5500$ хв⁻¹):
 v_x – графіки зміни швидкості поршня безшатунного двигуна;
 v – класичного двигуна при $\lambda = R / L = 0,2759$ (де $L=133,2$ – довжина шатуна)

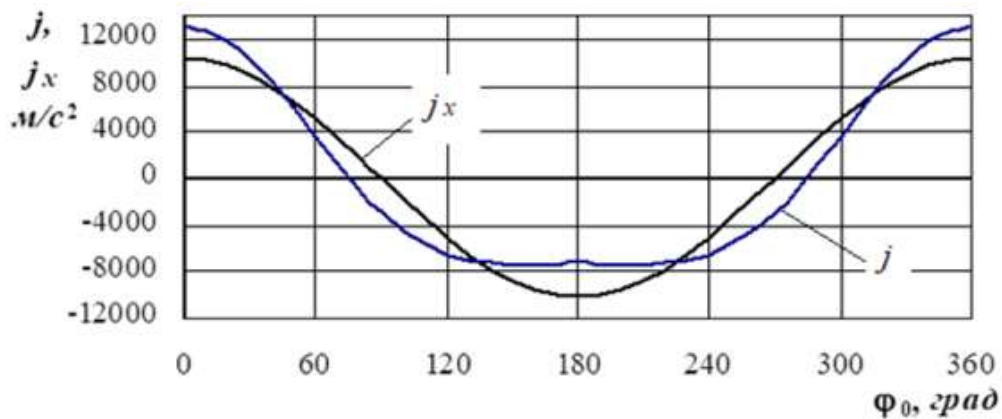


Рисунок 5 – Кінематичні характеристики (для $R = 36,75$ мм, $n = 5500$ хв⁻¹):
 j_x – графіки зміни прискорення поршня безшатунного двигуна;
 j – класичного двигуна при $\lambda = R / L = 0,2759$ (де $L=133,2$ – довжина шатуна)

Висновки

Аналіз принципів дії конструктивної схеми БДККМ дає змогу виявити особливості його кінематичних характеристик. Основні рівняння кінематики, наведені в роботі, дають можливість виявити характер перебігу кінематичних параметрів БДККМ, а також визначити характер впливу різних конструктивних параметрів механізму на кінематичні характеристики двигуна. Результати досліджень дають змогу визначити комплексний взаємозв'язок процесів, що протікають у механізмах безшатунних двигунів та особливості термодинамічного циклу безшатунного двигуна.

Література

1. Міщенко М.І. Нетрадиційні малорозмірні двигуни внутрішнього згоряння. У 2 томах. Т. 1. Теорія, розробка та випробування нетрадиційних двигунів внутрішнього згоряння. - Донецьк: «Лебідь», 1998. - 228 с. 2. Міщенко М.І. Перспективна конструкція безшатунного двигуна внутрішнього згоряння. Автошляховик України. 1998. № 2. С. 16–17.
2. Міщенко М.І., Заренбін В.Г., Колеснікова Т.М. Деякі результати порівняльних досліджень показників безшатунного та класичного двигунів. Двигуни внутрішнього згоряння. 2014. 9. С. 28 – 33.
3. Міщенко М.І. Перспективна конструкція безшатунного двигуна внутрішнього згоряння. Автошляховик України. 1998. № 2. С. 16–17.
4. Міщенко М.І., Хімченко А.В. Особливості кінематики одноциліндрового двигуна з двома шатунами, з'єднаними з двома колінчастими валами. Галузеве машинобудування. 1998. 5. С. 22–25.

УДК 621.4

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МОМЕНТУ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ВПОРСКУВАННЯ БЕНЗИНУ НА ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА 1Д 8,2 / 8,7 З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Корогодський Володимир Анатолійович, докт. техн. наук,

професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: korohodskiy@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1605-4631

Хомутов Максим Анатолійович, аспірант кафедри двигунів внутрішнього

згоряння, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: m.a.homutov@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-9184-7646

Стрижак Глеб Олександрович, магістр кафедри двигунів внутрішнього

згоряння, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: glebstrijak2003@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-1850-3557

Кананикін Олексій В'ячеславович, магістр кафедри двигунів внутрішнього

згоряння, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: lehapozitiv02@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-3603-5143

Орлов Микита Анатолійович, магістр кафедри двигунів внутрішнього

згоряння, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: nikita_orlov@ukr.net, ORCID ID: 0009-0000-0278-3828

Вступ

Застосування системи безпосереднього впорскування пального (БВП) у двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) з іскровим запалюванням потребує ретельної організації процесу утворення паливоповітряної суміші (ППС). Важливо, щоб склад суміші в зоні електродів свічки запалювання залишався у межах її займистості ($\alpha = 0,4\text{--}1,3$) [1]. Для забезпечення повного згоряння бажано, щоб на момент займання паливо повністю випарувалося, утворивши рівномірно перемішану суміш із повітрям. Якщо ж у зоні горіння залишаються рідкі частинки пального, вони випаровуються під дією високої температури, що призводить до зниження рівня кисню та часткового окиснення пального. Це спричиняє збільшення витрати пального та підвищення концентрації незгорілих вуглеводнів (СН) та оксидів вуглецю (СО) у вихлопних газах [2, 3].

Застосування методу об'ємно-плівкового сумішоутворення у ДВЗ із безпосереднім впорскуванням сприяє покращенню процесу підготовки ППС у розширеному паливоповітряному заряді (РППЗ). Завдяки випаровуванню рідкого пального з поверхні камери згоряння (КЗ) утворюється парова фаза, яка ефективно змішується з потоком повітря, створюючи більш однорідну

суміш. На відміну від об'ємного способу, який потребує підвищеного тиску впорскування (понад 100 бар [4]), об'ємно-плівковий метод дозволяє забезпечити необхідні параметри суміші при тиску до 30 бар [5]. Крім того, випаровування пального сприяє зниженню теплових втрат, зменшенню температури стінок камери згоряння та охолодженню днища поршня, що знижує ризик виникнення детонаційного згоряння.

Основна частина

Для досягнення високої ефективності процесу згоряння у двотактному двигуні 1Д 8,7/8,2 з іскровим запалюванням та безпосереднім впорскуванням бензину було впроваджено технологію організації розшарованого збідненого паливоповітряного заряду (РЗППЗ) [6]. Розроблена концепція забезпечує стабільну роботу двигуна на часткових навантаженнях при коефіцієнті надлишку повітря в суміші до $\alpha_{\text{ППС}} = 1,49$ [7]. Підвищення ефективності змішування та горіння при ступені стиснення $\varepsilon_d = 11,3$ сприяє зниженню витрати пального та зменшенню викидів шкідливих речовин (ШР).

Для забезпечення якісного процесу згоряння необхідно створити в зоні свічки запалювання добре займистий склад ППС як у момент займання, так і в міру поширення фронту полум'я. Одним із методів регулювання цього процесу є вибір оптимального моменту початку впорскування пального, враховуючи особливості конструкції двигуна, навантаження та кількість пального, що впорскується за цикл.

З метою зниження витрати пального та зменшення викидів ШР проведено експериментальні дослідження на двотактному двигуні 1Д 8,2/8,7 у режимі роботи з РЗППЗ. Випробування проводилися за навантажувальною характеристикою при частоті обертання колінчастого валу $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$, змінюючи момент початку подачі пального. Дослідження здійснювалися за незмінного кута випередження запалювання $\theta_{\text{зап}} = 10$ град. п.к.в. до ВМТ при різних моментах впорскування : $\varphi_{\text{впр}} = 200, 213, 224$ та 238 град. п.к.в. після ВМТ.

На першому етапі тестувань впорскування пального відбувалося при $\varphi_{\text{впр}} = 200$ град. п.к.в. після ВМТ. Параметри роботи двигуна фіксувалися у стаціонарних режимах, регулюючи подачу повітря через дросельну заслінку та встановлюючи максимальне навантаження за допомогою динамометричної головки гальмівного стенда. Частота обертання підтримувалась на рівні $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$. На кожному режимі оптимальний склад ППС встановлювався відповідно до максимального крутного моменту при сталій подачі пального за цикл.

У процесі збільшення навантаження від $p_e = 0,13$ МПа до $p_e = 0,303$ МПа питома витрата пального знижувалася з $g_e = 0,323$ кг/(кВт·год) до $g_e = 0,269$ кг/(кВт·год), що супроводжувалося зміною коефіцієнта надлишку

повітря $\alpha_{\text{цил}}$. При $p_e = 0,22$ МПа $\alpha_{\text{цил}}$ становив 1,8, а при $p_e = 0,303$ МПа – 1,64. Температура відпрацьованих газів ($t_{\text{ВГ}}$) зростала від 245°C до 321°C , а температура поверхні камери згоряння ($t_{\text{кз}}$) – від 145°C до 198°C . Концентрація СО у вихлопних газах залишалася в межах 0,06 %, а рівень незгорілих вуглеводнів СН коливався від 42 до 50 ppm.

На наступному етапі експериментальних досліджень було змінено кут впорскування на $\phi_{\text{впр}} = 213$ град. п.к.в. після ВМТ. У цьому режимі за всієї навантажувальної характеристики спостерігалось зростання коефіцієнта надлишку повітря в циліндрі. Значення $\alpha_{\text{цил}}$ змінювалися в межах від 1,55 ($p_e = 0,149$ МПа) до 1,85 ($p_e = 0,22$ МПа), після чого знижувалися до 1,62 ($p_e = 0,327$ МПа). При цьому питома витрата пального зменшилася від $g_e = 0,313$ кг/(кВт·год) ($p_e = 0,149$ МПа) до мінімального рівня $g_{\text{emin}} = 0,262$ кг/(кВт·год) ($p_e = 0,26$ МПа), після чого зросла до 0,269 кг/(кВт·год) при $p_e = 0,327$ МПа.

Зміщення моменту початку впорскування ближче до ВМТ ($\phi_{\text{впр}} = 224$ град. п.к.в. після ВМТ) сприяло зниженню питомої витрати пального. У зоні низьких навантажень ($p_e = 0,144$ МПа) витрата палива склала $g_e = 0,299$ кг/(кВт·год), а при часткових навантаженнях ($p_e = 0,192$ – $0,322$ МПа) досягала мінімального значення $g_{\text{emin}} = 0,259$ кг/(кВт·год). Ефективніший процес згоряння та зменшення теплових втрат у систему охолодження підтверджували зниження температури поверхні камери згоряння.

Формування глибоко розширеного збідненого паливоповітряного заряду в процесі згоряння дало змогу отримати найнижчий рівень викидів СО у відпрацьованих газах для всієї навантажувальної характеристики при частоті обертання $n = 3000$ хв⁻¹. У діапазоні мінімальних і часткових навантажень ($p_e = 0,144$ – $0,284$ МПа) вміст СО у вихлопних газах становив 0,02 %. Із підвищенням навантаження до максимального рівня ($p_e = 0,428$ МПа) концентрація СО у вихлопних газах зросла до 0,17 %.

Щодо вмісту незгорілих вуглеводнів (СН), то зі збільшенням навантаження від $p_e = 0,144$ МПа до $p_e = 0,192$ МПа їхня концентрація зменшувалася з 20 ppm до 15 ppm. Однак при подальшому підвищенні навантаження до максимального рівня ($p_e = 0,428$ МПа) концентрація СН зросла до 80 ppm.

При подальшому зміщенні кута впорскування на $\phi_{\text{впр}} = 238$ град. п.к.в. після ВМТ спостерігалось збагачення паливоповітряної суміші, що відобразилося на зміні коефіцієнта надлишку повітря: значення $\alpha_{\text{цил}}$ варіювалися від 1,71 ($p_e = 0,125$ МПа) до 1,55 ($p_e = 0,365$ МПа). Витрата пального залишалася найнижчою при малих навантаженнях ($g_e = 0,305$ кг/(кВт·год) при $p_e = 0,125$ МПа), проте мала тенденцію до зростання у межах часткових і підвищених навантажень.

Вміст СО у вихлопних газах при застосуванні кута впорскування $\phi_{\text{впр}} = 238$ град. п.к.в. після ВМТ поступово знижувався до 0,03 % при збіль-

шенні навантаження до $p_e = 0,168$ МПа, що дещо перевищувало значення для $\varphi_{\text{впр}} = 224$ град. п.к.в. після ВМТ. Надалі, при зростанні навантаження до максимального рівня ($p_e = 0,365$ МПа), концентрація СО у вихлопних газах збільшилася до 0,17 %.

Щодо рівня СН у відпрацьованих газах, то при застосуванні кута впорскування $\varphi_{\text{впр}} = 238$ град. п.к.в. після ВМТ спостерігалось зменшення концентрації з 42 ppm до 18 ppm при підвищенні навантаження до $p_e = 0,21$ МПа, що відповідало значенням, отриманим при $\varphi_{\text{впр}} = 224$ град. п.к.в. після ВМТ. Подальше збільшення навантаження до $p_e = 0,351$ МПа призвело до зменшення викидів СН до 12 ppm, що на 75 % менше порівняно з $\varphi_{\text{впр}} = 224$ град. п.к.в. після ВМТ. Максимальна концентрація СН у вихлопних газах при $\varphi_{\text{впр}} = 238$ град. п.к.в. після ВМТ досягала 52 ppm при максимальному навантаженні ($p_e = 0,365$ МПа).

Висновки

Результати досліджень двотактного двигуна 1Д 8,2/8,7 з іскровим запалюванням та безпосереднім впорскуванням бензину у режимі розширеного збідненого паливоповітряного заряду свідчать про те, що оптимальним є момент початку впорскування $\varphi_{\text{впр}} = 224$ град п.к.в. після ВМТ.

Цей режим дозволяє мінімізувати витрату пального та викиди шкідливих речовин (СО і СН), забезпечуючи оптимальний баланс між економічністю, екологічністю та ефективністю роботи двигуна при частоті обертання $n = 3000$ хв⁻¹ та куті випередження запалювання $\theta_{\text{зап}} = 10$ град п.к.в. до ВМТ.

Литература

1. Heywood, J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals [Text] / J. B. Heywood. – Second Edition. McGraw-Hill Education: New York, 2018. 1056 p.
2. Eichlseder H. Grundlagen und Technologien des Ottomotors / H. Eichlseder, M. Klüting, W.F. Piock. – Wien (Austria): Springer-Verlag, 2008. 264 p.
3. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згорання. Теорія: підручник для вузів / В. Г. Дяченко; Мін-во освіти і науки України; за ред. А. П. Марченка. – Х.: НТУ «ХПІ», 2008. 488 с.
4. Ottomotor mit Direkteinspritzung: Verfahren, Systeme, Entwicklung, Potenzial / R. van Basshuysen (Hrsg.). – Wiesbaden (Deutschland): Springer Vieweg, 2013. 465 p.
5. Корогодський В.А. Організація раціонального способу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням. Двигуни внутрішнього згорання, 2013. №1. С. 11-16, див: <http://dvs.khpi.edu.ua/article/view/21246>
6. Корогодський, В.А. Визначення раціонального циклу та способу організації робочого процесу двигуна за навантажувальною характеристикою [Текст] / В.А. Корогодський // Вісник ХНАДУ. 2020. Вип. 90. С. 80-94.
7. Korohodskyi, V., Voronkov, A., Rogovyi, A., Kryshchtopa, S. et al. (2021). Influence of the stratified fuel-air charge pattern on economic and environmental indicators of a two-stroke engine with spark ignition. AIP Conf. Proc.: Transport, Ecology - Sustainable Development EKO Varna, 2021. No. 2439 (2021) 020011, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0068466>

УДК 621.486

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ТІЛА В ЦИЛІНДРІ ПНЕВМОДВИГУНА

Нікітченко Ігор Миколайович, канд. техн. наук, доцент каф. ДВЗ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail:
igor.nikitchenko@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-9481-4296

Трофіменко Дмитро Олександрович, магістрант,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: dimatrof59@gmail.com

Особливістю автомобільного пневматичного двигуна конструкції ХНАДУ є те, що золотниковий механізм з'єднаний із циліндром за допомогою мідних труб діаметром 20 мм і довжиною 800 мм [1].

Методика розрахунку параметрів робочого тіла по експериментальним індикаторним діаграмам, що приведена в роботі [2] не дає можливості достовірно визначити вищезазначені необхідні параметри робочого тіла. Причиною є те, що в цій методиці не враховані процеси, що відбуваються в трубах під час газообміну (наповнення, випуск). Дослідження руху повітря дозволяє врахувати теплообмін і гідравлічні втрати на тертя в трубах.

Внаслідок використання золотникового механізму значно збільшується об'єму стиснення, V_0 (рис. 1).

Впускний (випускний) канал пневмодвигуна із золотниковим механізмом, створеним у ХНАДУ, представляє собою гладку мідну трубу, що з'єднує золотник з циліндром (рис.2).

При вимушеній течії повітря в трубі критерій (число) Рейнольдса обчислюється за формулою

$$Re = \frac{\bar{W} \cdot d}{\nu}, \quad (1)$$

де $\bar{W}$ – середня швидкість руху повітря, м/с;

d – діаметр труби, м;

ν – кінематична в'язкість повітря, м²/с.

Якщо критерій Рейнольдса менше 2000, то течія є ламінарною. У межах від 2000 до 10^4 режим течії називають перехідним. Якщо Re більше 10^4 , то режим течії є турбулентним.

Використовуючи залежність (1), можна визначити, що при $\bar{W} > 7,5$ м/с режим течії повітря в трубі з внутрішнім діаметром 20 мм буде турбулентним ($\nu = 0,15 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $t = 20$ °C).

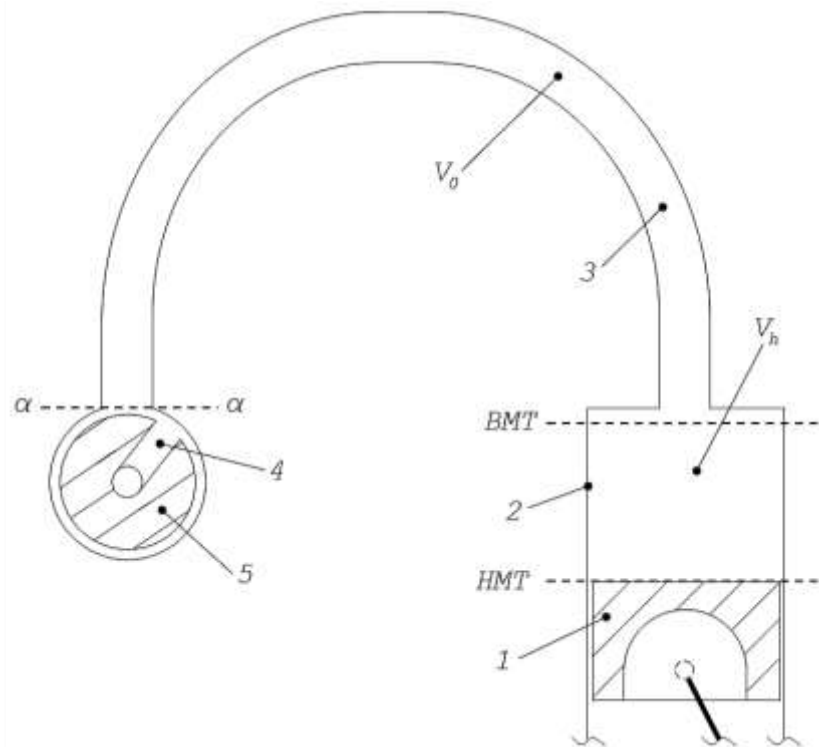


Рисунок 1 – Схема з'єднання циліндра пневмодвигуна із золотниковим механізмом:
 1 – поршень; 2 – циліндр; 3 – канал, що з'єднує циліндр із золотниковим механізмом;
 4 – впускне/випускне вікно золотника; 5 – золотниковий механізм (золотник)

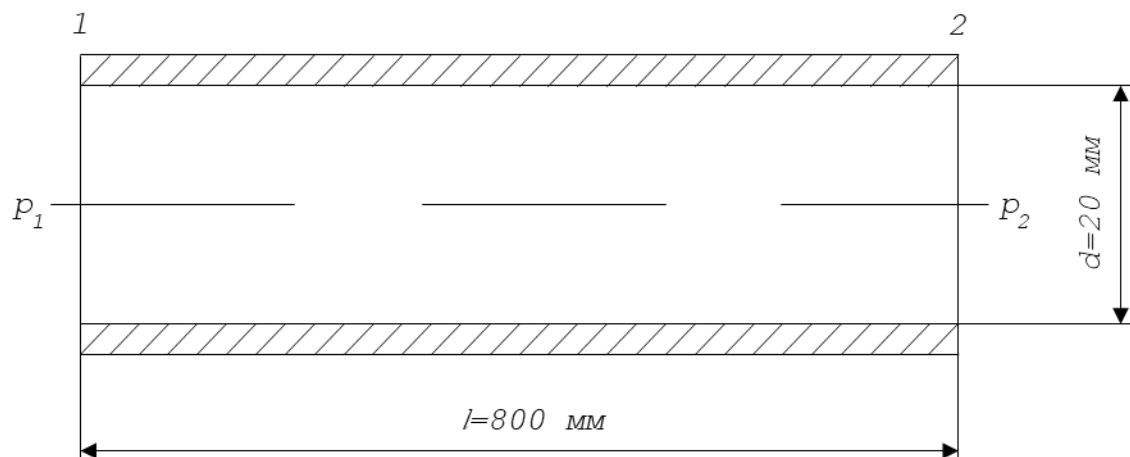


Рисунок 2 – Параметри мідної труби, що з'єднує золотник з циліндром пневмодвигуна

Для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при турбулентній течії газів у гладкі труби можна використати формулу [3]

$$Nu = 0,022 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_l, \quad (2)$$

де $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$ – середня швидкість руху повітря, м/с;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

d – діаметр труби, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності поверхневого шару повітря ($2,6 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м · К), $t = 20$ °С);

$Pr = \nu/a$ – критерій Прандтля ($Pr = 0,703$, $t = 20$ °С);

a – коефіцієнт температуропровідності повітря, м²/с;

ε_l – коефіцієнт, що враховує зміну середнього коефіцієнта тепловіддачі уздовж труби ($l/d = 40$, $\varepsilon_l = 1,02$).

Знаючи критерій Нуссельта, визначають коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha = (Nu \cdot \lambda)/d \quad (3)$$

На рис. 3 приведено залежності критеріїв Nu і коефіцієнтів тепловіддачі від середньої швидкості повітря у впускному (випускному) каналі пневмодвигуна.

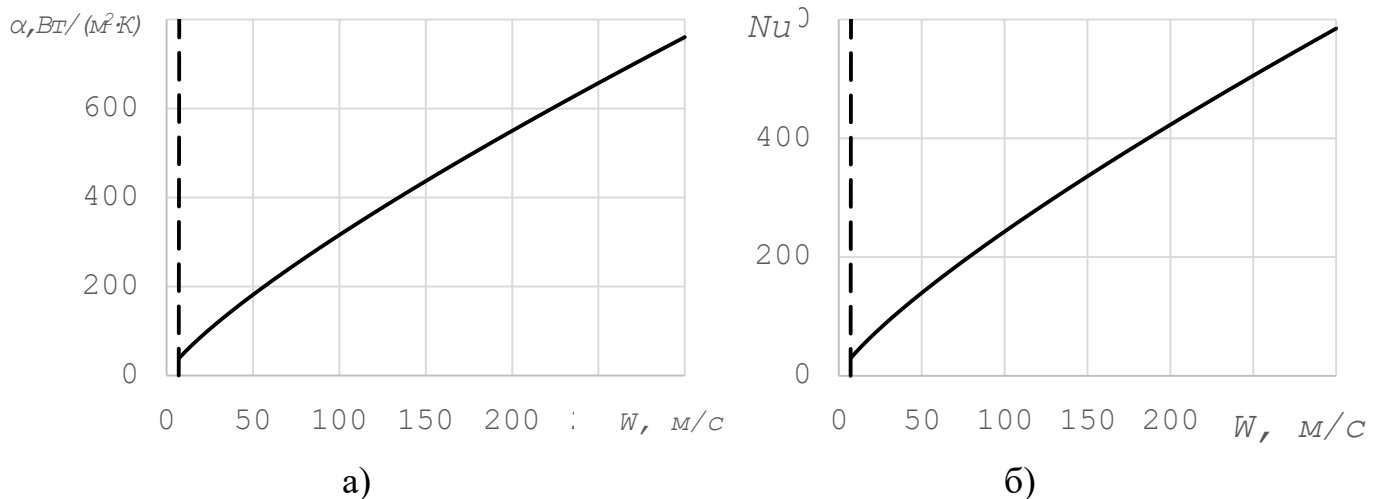


Рисунок 3 – Залежність α (а) та Nu (б) від середньої швидкості руху повітря

Для визначення втрат тиску уздовж труби при турбулентному режимі течії можна використати закон Дарсі. Згідно цього закону різниця тиску в двох перетинах труби 1 та 2 (рис. 3) $\Delta p = p_1 - p_2$

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot \overline{W}^2}{2}, \quad (4)$$

де ξ – коефіцієнт гідравлічного опору тертя при ізотермічній турбулентній течії в гладких трубах;

$l/d = 40$ – відношення довжини до діаметру труби;

ρ – густина повітря, кг/м³;

Для визначення ξ в залежності (4) доцільно використати формулу

$$\xi = 0,184 \cdot Re^{-0,2}. \quad (5)$$

Залежність (5) добре підтверджується експериментальними даними. На рис. 4 представлено залежності ξ та Δp від середньої швидкості руху повітря у каналах пневмодвигуна.

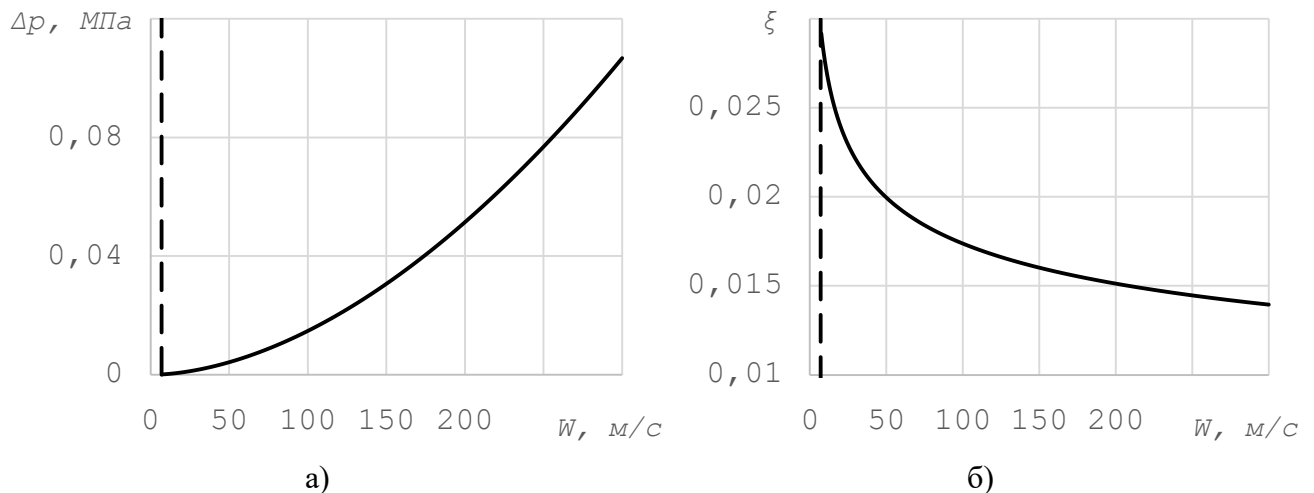


Рисунок 4 – Залежність Δp (а) та ξ (б) від середньої швидкості руху повітря

Наявні формули для розрахунку коефіцієнту витрати повітря золотникового механізму не враховують тепловіддачу під час руху повітря трубою (3) та гідравлічних втрат в ній (4).

Отже, необхідна корекція коефіцієнту витрати повітря в золотниковій системі, μ , який можна розрахувати наступним чином

$$\mu = G_d / G_T, \quad (6)$$

де G_d – дійсна витрата повітря, кг/с;

G_T – теоретична розрахункова витрати повітря, кг/с.

Висновки

Продовження дослідження пневматичного двигуна з золотниковим повітророзподілом, не зважаючи на доказану низьку ефективність використання енергоносія у порівнянні з пневмодвигуном, оснащеним клапанним ГРМ, пов'язане з наявністю великої кількості експериментальних даних. Ці результати стають основою для дослідження робочих процесів в циліндрі, теплопередачі та газообміну.

Література

1. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О.В. Сирота, Д.М. Трифонов. К. : НТУ, 2015. 244 с.
2. Нікітченко І. М. Обґрунтування основних параметрів пневмодвигуна комбінованої енергетичної установки автомобіля : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03. Харків, 2016. 20 с.
3. Основні залежності та приклади розрахунків теплообмінних апаратів. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. Л.Г. Воронін, А.Р. Степанюк, Л.І. Ружинська. Київ : НТУУ „КПІ”, 2011. 68 с.

ВІДРОДЖЕННЯ КАРБЮРАТОРНИХ ТА ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ДВИГУНІВ ЯК ЗАХИСТ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ВІД ЗАСОБІВ РЕБ

Грицюк Олександр Васильович, д.т.н., проф., професор каф. ДВЗ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: dthkbd@ukr.net , <http://orcid.org/0000-0002-5596-6254>

Міхедькін Микола Володимирович, провідний інженер відділу головного
конструктора, Державне підприємство «Завод імені В.О.Малишева»,
e-mail: nikolai.mikhedkin@gmail.com

Натепер дуже актуальною є проблема власного виробництва малолітражних двигунів номінальною потужністю до 20 кВт. Ця проблема обумовлена нагальною потребою у такій унікальній військовій техніці як квадроцикли та безпілотні літальні апарати (БПЛА).

Така техніка характеризується відкритою конструкцією, відсутністю кабіни та відносно компактними розмірами порівняно з транспортними засобами масового виробництва, наприклад автомобілями, і може бути легко освоєна у вітчизняному виробництві.

На перший погляд, немає сумніву в тому, що вітчизняні конструктори і виробники, як це вже описано у джерелі [1], при стартовій спробі налагодження такого виробництва не стануть «заморочуватися» над розробкою власного двигуна, а будуть пристосовувати виключно сучасні імпортовані енергетичні установки.

Для цього на ринку існує значна кількість сучасних малолітражних двигунів з іскровим запалюванням та дизелів, які можуть бути адаптовані для використання на квадроциклах і в БПЛА:

- а) авіамоделльні двигуни малої потужності ;
- б) мотоциклетні двигуни з повітряним охолодженням;
- в) промислові та сільськогосподарські малолітражні дизелі;
- г) малолітражні човнові мотори.

Найбільш поширеною, як на наш погляд, загрозою застосування саме сучасних енергетичних установок є використання в їх складі електронних систем керування двигунами. Серйозні виклики для вищезазначеної військової техніки спричинив розвиток засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ). В умовах сучасних збройних конфліктів здатність противника порушувати роботу електронних систем БПЛА стала критичним фактором, що обмежує їх ефективність та виживаність.

Особливо вразливими виявились електронні системи керування силовими установками (ЕСКУ), які використовуються в більшості сучасних БПЛА з бензиновими двигунами та дизелями.

Електромагнітні імпульси, прицільні перешкоди та інші методи РЕБ здатні викликати збої в роботі електронних блоків керування, датчиків та виконавчих механізмів, що призводить до нестабільної роботи двигуна або його повної зупинки. Така вразливість суттєво знижує надійність БПЛА та обмежує їх застосування в зонах з активною радіоелектронною протидією.

Дана робота пропонує переглянути підхід до конструювання як силових установок БПЛА, так і квадроциклів, повернувшись до перевірених часом механічних систем керування двигунами, які практично невразливі до засобів РЕБ.

Використання карбюраторних двигунів з іскровим неелектронним запалюванням та малолітражних дизелів з гідромеханічною паливною апаратурою суттєво підвищує стійкість квадроциклів та БПЛА до засобів РЕБ. Для вітчизняного двигунобудування повернення до цих технологій не є кроком назад у розвитку, а скоріше розумною адаптацією до сучасних умов ведення бойових дій з інтенсивним застосуванням засобів РЕБ.

Саме згідно технічних документів розробника і виробника [2, 3] ще на початку 90-х років минулого століття в Харківському конструкторському бюро з двигунобудування (ДП «ХКБД») було розроблено, а на ДП «Завод імені В.О. Малишева» («ЗІМ») впроваджено у виробництво чотириколісні мотоцикли ЗІМ-350 та ЗІМ-800Д з карбюраторним бензиновим двигуном ІжЮ-5М і дизелем 2ДТМ відповідно (рис. 1).

Ці технічні звіти розробника и виробника [2, 3] надали змогу опрацювати та поєднати у єдину табл. 1 існуючі характеристики вітчизняних енергетичних установок обох чотириколісних мотоциклів.



Рисунок 1 – Чотириколісний мотоцикл ЗІМ-800Д з дизелем 2ДТМ

Таблиця 1 – Технічні характеристики мотоциклів ЗІМ-350 і ЗІМ-800Д

Мотоцикл	ЗІМ-350	ЗІМ-800Д
Двигун	ІжЮ-5М	2ДТМ
Тип двигуна, тактність	Бензин, 2 - такти	Дизель, 4-ри такти
Кількість циліндрів двигуна, розташування	2V	2R
Визначальна складова системи живлення	Карбюратор	Паливний насос високого тиску з гідромеханічним регулятором
Номінальна потужність двигуна, кВт (к.с)	17,5 (24)	11,7 (16)
Частота обертання КВ при номінальній потужності, хв-1	5400	3600
Максимальний крутний момент, Н.м (кгс.м)	31,9 (3,26)	32,2 (3,28)
Частота обертання КВ при максимальному крутному моменті, хв ⁻¹	3800	2400
Швидкість руху мотоцикла ,км/год – min	2,0	1,5
max	75	60
Ємність паливного баку, л	25	20
Витрата палива при швидкості мотоцикла 40 км/год, л/100 км рух в місті	7,1	6,0
рух за містом	6,2	5,4

Ситуація, коли при заміні бензинового двигуна на дизельний допускається менша потужність дизеля, справді і дуже часто має місце в інженерній практиці [1]. Дизельні двигуни, незважаючи на нижчі показники питомої потужності (кВт/л об'єму), мають суттєві характеристики, які компенсують цю різницю. Як бачимо з даних табл. 1, дизель забезпечує вищий крутний момент при меншій частоті обертання колінчастого валу (КВ). Бензиновий двигун має більшу номінальну потужність, але дизель розвиває свій максимальний момент значно раніше і утримує його в ширшому діапазоні обертів колес мотоцикла.

У джерелі [3] визначено, що при заміні бензинового двигуна на дизель у транспортному засобі спостерігається:

- поліпшена динаміка розгону з місця;
- краща тяга при низькій частоті обертання КВ;
- зменшена потреба в перемиканні передач чотириступінчастої коробки;
- більший запас ходу навіть при баку палива меншого об'єму.

Під час реальної експлуатації дизельна версія демонструє кращі динамічні показники при русі по бездоріжжю, при буксируванні важкого причепа ПГУ-350 (600-650кг вантажу) та в умовах сільськогосподарських робіт. Отже, менша паспортна потужність дизеля компенсується його тяговими характеристиками, що робить таку заміну не тільки допустимою, але і бажаною з точки зору практичного використання технічного засобу.

Без сумніву, аналогічним чином, саме ці існуючу вітчизняні двигуни можуть бути адаптовані і до БПЛА. При цьому ключова ідея тез полягає в тому, що повернення до механічних систем не є кроком назад у технологічному розвитку, а навпаки – стратегічно обґрунтованим рішенням для підвищення стійкості БПЛА в умовах сучасної радіоелектронної протидії.

Висновок

Проведене дослідження показує, що використання саме вітчизняних карбюраторних двигунів з іскровим запалюванням та малолітражних дизелів з гідромеханічною паливною апаратурою суттєво підвищує стійкість квадроциклів і БПЛА до засобів РЕБ. Повернення до цих технологій не є кроком назад у розвитку, а скоріше розумною адаптацією до сучасних умов ведення бойових дій з інтенсивним застосуванням засобів РЕБ.

Література

1. Науково-технічний і виробничий потенціал України щодо виготовлення наукоємної продукції дизелебудування / О.В. Грицюк, А.П. Кузьменко, Б.О. Лазченко, В.В. Копилов // Двигуни внутрішнього згоряння. 2024. № 2. С. 55-61.
2. Звіт про науково-дослідну роботу «Попередні випробування спеціального чотириколісного мотоцикла ЗІМ-350 4ШП», Харків: ХКБД, №3953 від 06.12.1990 р. 20 с.

3. Технічний звіт «Про випробування дослідного зразка чотириколісного мотоциклу ЗІМ-800Д», Харків: ХКБД, №4078 від 28.03.1996 р. 22 с.

УДК 621.432.4

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ДВОТАКТНИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ БЕНЗОПИЛ

Слинько Георгій Іванович, докт. техн. наук, професор кафедра автомобілів,
теплових двигунів та гібридних енергетичних установок,
Національний університет «Запорізька політехніка»,
e-mail: gslynko@zr.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1954-8530

Сухонос Роман Федорович, аспірант, старший викладач кафедра автомобілів,
теплових двигунів та гібридних енергетичних установок,
Національний університет «Запорізька політехніка»,
e-mail: suh8888@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9683-3389

Через меншу питому масу двотактні двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) краще підходять для роботи у складі малогабаритних машин, в тому числі ручного інструменту (мотопили, садові ножиці, висоторізи, бензорізи тощо), ніж чотиритактні двигуни. А відсутність залежності від електричного живлення забезпечує кращу автономність таких машин, ніж електроінструмент (як акумуляторний, так і мережевий). Таким чином, питання дослідження робочих процесів та покращення показників малокубатурних двотактних ДВЗ залишається актуальним.

Метою роботи є дослідження тенденцій та техніко-економічна оцінка ефективності технічних рішень, впроваджених в конструкцію двотактних ДВЗ для бензопил за останні роки.

Протягом багатьох десятиліть конструкція двотактних ДВЗ для інструменту зазнавала мінімальних змін. Як зазначається в ряді робіт [1–3], основними напрямками удосконалення двотактних бензинових ДВЗ є покращення паливної економічності та зменшення рівня викидів токсинів. Для покращення екологічних властивостей двотактного ДВЗ компаніями Husqvarna AB, а згодом і Andreas Stihl AG & Co, під назвами X-Torq (2-MIX) впроваджено в серійне виробництво двигуни з технологією пошарового продування в карбюраторному двигуні [4]. Карбюраторні двигуни з пошаровим продуванням, в яких на початковому періоді продування в циліндр подається чисте

повітря, а тільки потім – паливоповітряна суміш, забезпечують зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу, головним чином вуглеводнів, а також економію палива.

Проведено аналіз технічних характеристик 111 моделей ДВЗ бензопил провідних фірм-виробників за 2015–2025 роки. Встановлено, що перехід від класичних карбюраторних двигунів на карбюраторні двигуни з пошаровим продуванням забезпечує зменшення витрати палива до 17 %:

- у карбюраторних ДВЗ $g_e = 490 \dots 725$ г/(кВт·год);
- у карбюраторних ДВЗ з пошаровим продуванням $g_e = 407 \dots 725$ г/(кВт·год).

Встановлено, що літрова потужність двигунів, як класичних карбюраторних, так і карбюраторних з пошаровим продуванням, від способу продування практично не залежить, і складає $N_{\text{л}} = 36,6 \dots 61,0$ кВт/л – по мірі збільшення робочого об'єму циліндра двигунів їх літрова потужність зростає (рис. 1, а).

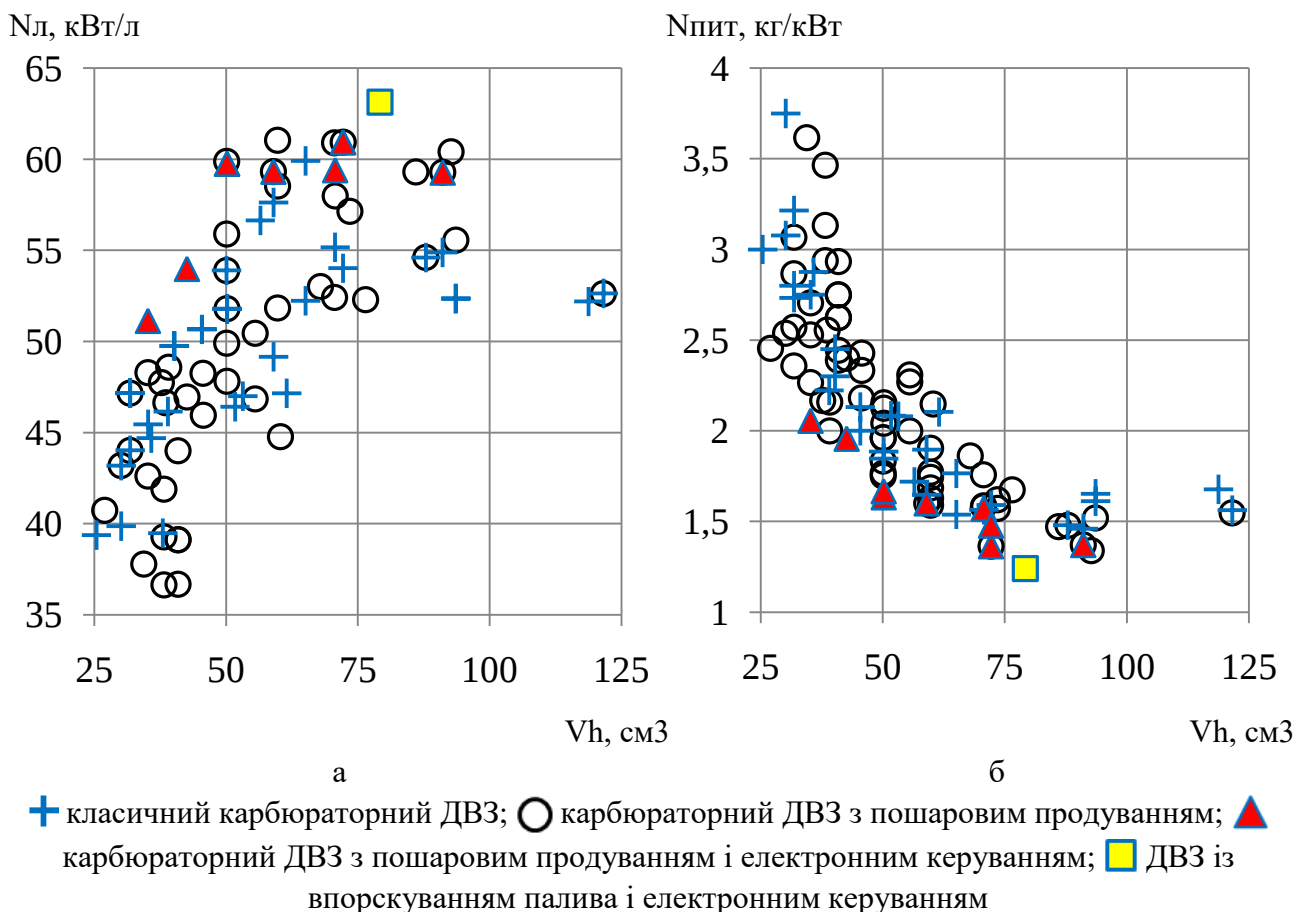


Рисунок 1 – Залежність літрової потужності $N_{\text{л}}$ (а) і питомої потужності $N_{\text{пит}}$ (б) 2-тактних двигунів бензопил Husqvarna і Stihl від об'єму циліндра V_h

Питома маса класичних карбюраторних двигунів, а також карбюраторних з пошаровим продуванням, від способу продування практично не

залежить, і складає 1,3...3,8 кг/кВт – по мірі збільшення робочого об'єму циліндра двигунів їх питома маса зменшується (рисунок 1, б).

Також виробниками заявлено зменшення викидів окремих компонентів відпрацьованих газів (головним чином, вуглеводнів) ДВЗ з пошаровим продуванням до 75...80 %. Проте такі дані в технічній та науковій літературі відсутні.

Подальшим покращенням показників малокубатурних двотактних ДВЗ є електронне керування запалюванням і паливоподачею за допомогою мікроконтролера (система Stihl M-Tronic), який отримує сигнали з датчиків температури двигуна, частоти обертання колінчастого валу, положення дросельної заслінки. В залежності від зовнішніх умов, що діють на двигун бензопили, мікроконтролер коригує якість паливоповітряної суміші і кут випередження запалювання. Така система керування забезпечує більш оптимальну підготовку суміші та час її запалювання при зміні умов роботи ДВЗ, ніж система з карбюратором з механічним регулюванням кількості та якості паливоповітряної суміші гвинтами.

Літрова потужність двигунів з пошаровим продуванням і електронним керуванням Stihl 2-MIX M-Tronic складає $N_l = 51,1...60,9$ кВт/л – до 32 % більше, ніж у моделей з традиційною системою керування аналогічного об'єму.

Питома маса двигунів Stihl 2-MIX M-Tronic складає 1,36...2,06 кг/кВт – до 50 % менше, ніж у моделей з традиційною системою керування аналогічного об'єму.

Подальшим розвитком системи керування двотактного ДВЗ є відмова від карбюратора і перехід до впорскування палива в картер або у впускний колектор. На ринку наразі наявна одна модель двотактного двигуна для бензопили із впорскуванням палива у впускний колектор Stihl MS500i [5]:

- робочим об'ємом 79,2 см³;
- номінальною потужністю $N_e = 5,0$ кВт;
- літровою потужністю $N_l = 63,1$ кВт/л – найбільше значення із всіх розглянутих;
- питомою масою 1,24 кг/кВт – найменше значення із всіх розглянутих.

Окрім кращих показників, інжекторний двигун забезпечує кращу прийомистість – час прискорення від холостого ходу до максимальної частоти обертання складає 0,25 с.

Висновки

В результаті проведеної роботи визначено, що у двотактних бензинових ДВЗ для бензопил є тенденція до збільшення літрової потужності, зменшення

питомої маси, зменшення питомої витрати палива за рахунок застосування наступних технічних рішень:

- організація пошарового продування за рахунок альтернативних схем газообміну (Husqvarna X-Torq, Stihl 2-MIX);
- впорскування палива (Stihl Injection);
- керування запалюванням і паливоподачею за допомогою мікроконтролера (Stihl M-Tronic).

Виходячи з аналізу питомих показників, найбільш перспективними для подальшого широкого використання на малокубатурних двотактних ДВЗ є технології двигунів Stihl 2-MIX M-Tronic та Stihl Injection.

Література

1. Mavinahally N. S. An Historical Overview of Stratified Scavenged Two-Stroke Engines - 1901 through 2003 // SAE Technical Paper 2004-32-0008 (2004), <https://doi.org/10.4271/2004-32-0008>.
2. Слинько Г. І., Сухонос Р. Ф., Слинько В. В. Аналіз напрямків покращення економічності та екологічності 2-тактних двигунів внутрішнього згорання // Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України : Міжнарод. наук.-практ. конф., 16-18 травня 2023 р. : Тези доповідей. Кам'янське : ДДТУ, 2023. С. 123–125.
3. Slynko G., Sukhonos R. Methods for Improving 2-stroke Internal Combustion Engines // Тиждень науки-2024. Транспортний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 15-19 квітня 2024 р. / Редкол. : Вадим ШАЛОМЄЄВ (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. С. 81–83.
4. Two-Stroke Internal Combustion Engine : Patent WO 00/43650 A1: F02B 25/22, 25/14, 33/04 / L. Andersson, G. Dahlberg, B. Jonsson, H. Strom. – опубл. 27.07.2000. 25 с.
5. Система впорскування Stihl Injection – електронне управління двигуном [Електронний ресурс]. – Stihl. 2024. – Режим доступу: <https://www.stihl.ua/uk/professional/innovatsii-ta-tekhnohii/injection-system>

APPLICATION OF MODERN METHODS OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING IN CONTROLLING POWER ACTIVE FILTERS

Volodymyr Nerubatskyi, Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport, e-mail: NVP9@i.ua, ORCID: 0000-0002-4309-601X

Denys Hordiienko, Senior engineer, Private JSC “ELAKS”, e-mail: D.Hordiienko@i.ua, ORCID: 0000-0002-0347-5656

Serhii Ohurtsov, Master of Department of Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport, e-mail: ogurcov2024@kart.edu.ua

One of the main reasons for the deterioration of the quality of electricity in distribution networks is the increase in the number of nonlinear devices that create non-sinusoidal currents during operation. Such devices are switching power supplies, variable speed electric motor drives, ballasts for electroluminescent lamps, etc. [1, 2]. Non-sinusoidal currents and voltages can be represented as the sum of harmonics, the frequencies of which are multiples of the fundamental frequency of the power supply network. The result of the “clogging” of the power supply system with harmonics is an increase in losses in rotating machines, transformers, power transmission lines, accelerated aging of electrical equipment insulation, false triggering of relay protection and automation devices [3].

An active filter is a complex device consisting of a power unit (inverter) and a power unit control unit. The active filter analyzes the harmonic composition of the distorted current (voltage) at the connection point and generates a similar spectrum of harmonics in antiphase. As a result, the higher harmonics are compensated (neutralized) and the current consumed from the source retains a sinusoidal shape.

The spectral composition of the signal generated by the active filter control system must match the harmonic composition of the non-sinusoidal current generated by the nonlinear load. The only exception is the fundamental harmonic. It must be absent in the compensating current. To obtain the signal, can use a notch filter tuned to the frequency of the fundamental harmonic. However, this approach has disadvantages. First, the notch filter is a static device, and its characteristics cannot change when the frequency and amplitude of the fundamental harmonic change. Second, the nonlinear phase-frequency characteristic of the notch filter causes distortion of the compensating signal. Thus, to form the control signal of the active filter, an adaptive device is required, the characteristics of which change when the spectral composition of non-sinusoidal currents changes.

The block diagram of an adaptive noise compensator based on an FIR filter (with a finite impulse response) in the form of a digital delay line is shown in Fig. 1.

Two signals are simultaneously input to the active filter input:

- input signal $x(n)$ – unknown in advance;
- reference signal $d(n)$ – known in advance.

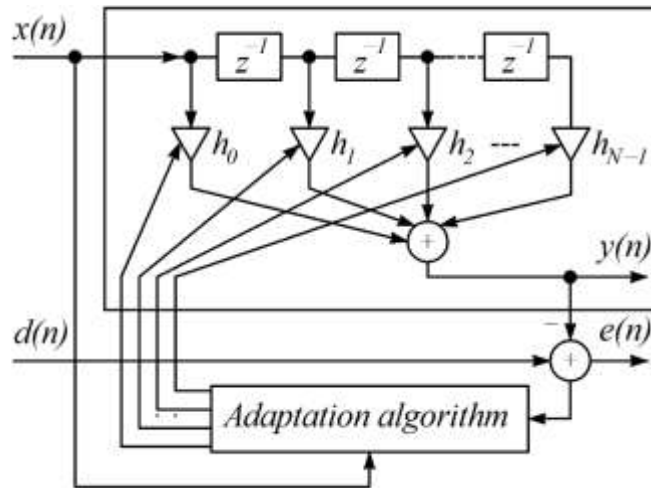


Figure 1 – Block diagram of an adaptive noise compensator

The signal $x(n)$ is fed simultaneously to the input of the FIR filter and the adaptation algorithm. At the output of the active filter, two signals are formed: the output signal $y(n)$ and the error signal $e(n)$.

The goal of adaptive processing is to ensure the best approximation of the output signal $y(n)$ to the reference signal $d(n)$ according to a given criterion. The main difficulty in designing an active filter is associated with the development of adaptation algorithms.

The value of the adaptation step is chosen taking into account trade-off considerations: on the one hand, it affects the convergence rate of the LMS algorithm (the larger μ , the higher the LMS), and on the other hand, it affects the error signal $e(n)$ (the larger μ , the more $e(n)$ differs from the error signal in the filter).

The main advantage of the LMS algorithm is its simplicity (only N multiplication-addition operations are required at each step), and the disadvantage is the relatively slow convergence of the iterative procedure for calculating the parameters of the active filter.

Conclusion

Thus, the use of the proposed digital signal processing method to control the characteristics of the active filter allows the use of various adaptive methods of spectral estimation and interference compensation, as well as efficient and inexpensive hardware. The results of the research show that active filters using

digital signal processing methods can change their characteristics in real time when the non-sinusoidal mode in the network changes.

References

1. Islam M. K., Tasnim K. N., Choi S., Kwak S., Arafat A. Designing high-power ultra-high-speed motor using a new multiphysics multi-objective optimization method for mechanical antenna applications. IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 106305–106323. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3211948>.
2. Khomenko I. V., Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A., Shelest D. A. Research and calculation of the levels of higher harmonics of rotary electric machines in active-adaptive networks. 4th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF-2023). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1254. 012040. P. 1–15. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012040>.
3. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A., Syniavskyi A. V., Philipjeva M. V. Use of modern technologies in the problems of automation of data collection in intellectual power supply systems. Modern engineering and innovative technologies. 2022. Issue 19. Part 1. P. 38–51. doi: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-19-01-058>.

Секція 3. КОНСТРУКЦІЯ МАШИН, СПОРУД ТА КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

УДК 62-629.02

ПЕРЕВАГИ ДВОПОТОЧНИХ ТРАНСМІСІЙ ПОРІВНЯНО З МЕХАНІЧНИМИ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН З БОРТОВОЮ СХЕМОЮ ТРАНСМІСІЇ

Веретенніков Євгеній Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри Інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: everetennikov1987@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6773-0388

Карпов Вадим Олегович, PhD, старший викладач Інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: kvo_cn@ukr.net ORCID: 0000-0002-7851-2458

Дудка Олексій Борисович, аспірант кафедри Інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: dudka1705@ukr.net, ORCID: 0009-0002-1491-7592

Робота пов'язана з покращенням тактико-технічних характеристик військових гусеничних машин (ВГМ). Безумовно, першочерговим завданням ВГМ є виїзд на позицію та виконання бойового завдання (ураження цілей, доставка десанту під прикриттям тощо). Але, як показав досвід війни в Україні, не менш значущим є своєчасне залишення позиції до того, як машина буде виявлена та уражена.

Традиційно в українському танкобудуванні склалася традиція застосування бортової схеми трансмісії для ВГМ. Таке компонувальне рішення має безперечну перевагу: можливість зробити моторно-трансмісійне відділення найбільш компактним, а отже і зменшити розміри та вагу машини. Причому трансмісія завжди була і залишається механічною. В той же час більшість танкобудівних держав світу (США, Німеччина, Франція тощо) прийняли для себе іншу концепцію: центральна двопоточна трансмісія з механічною та гідравлічною частинами та поздовжнім розташуванням двигуна, яка також має свої беззаперечні переваги [1].

То ж метою цієї роботи є порівняння механічних та двопоточних гідрооб'ємно механічних трансмісій за умови їх використання у бортовій схемі трансмісії, традиційної для українського танкобудування.

Як було зазначено, бортова схема трансмісії (рис. 1) [2] має свої переваги: можливість поперечного розташування двигуна, а, отже, зменшення об'єму моторно-трансмісійного відділення та, зрештою, ваги машини. Найбільш простим варіантом є використання при цьому бортових планетарних коробок передач, які дозволяють реалізувати великий діапазон зміни передатних чисел трансмісії у адекватних габаритах. Крім того, такі коробки передач є найбільш надійними та простими з точки зору виготовлення.

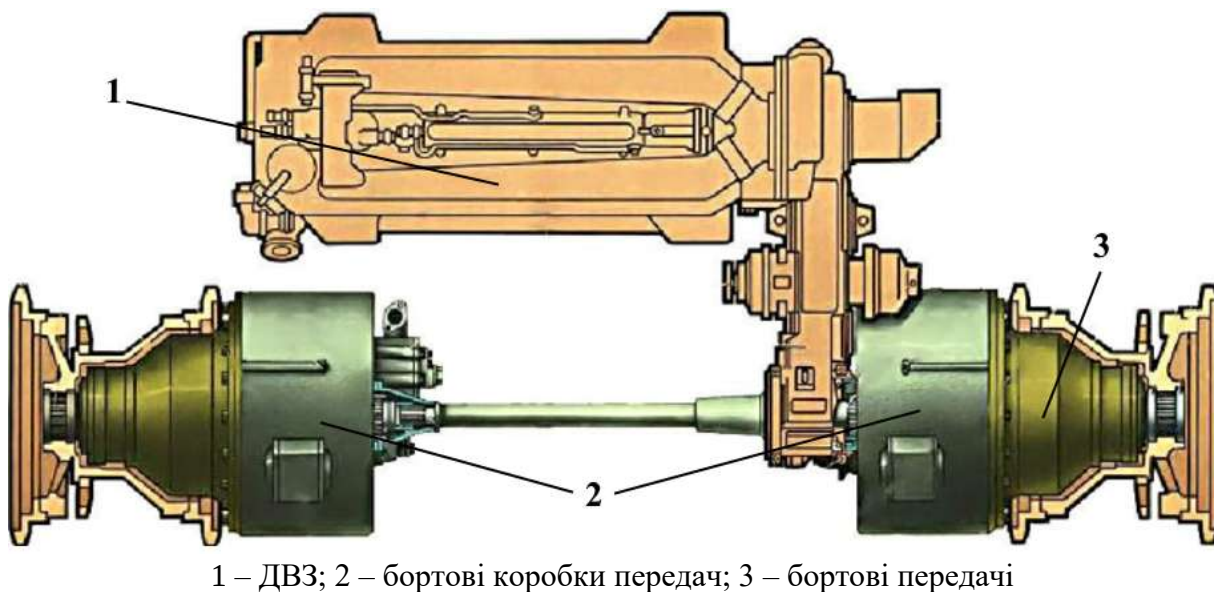


Рисунок 1 – Схема бортової трансмісії

Недоліком такої трансмісії, як і будь-якої механічної, є, в першу чергу, необхідність жорстких кінематичних зв'язків між агрегатами трансмісії, що ускладнює компоновку. Другим суттєвим недоліком є ступінчастість трансмісії. Це не дає змоги реалізувати передачу потужності без розриву потоку та експлуатувати двигун на зовнішній характеристиці, адже ступінчаста трансмісія майже ніколи не дає повного збігу потрібної та реалізованої сил тяги.

Наступна проблема з механічною ступінчастою коробкою передач в бортовій схемі трансмісії гусеничної машини пов'язана з виконанням повороту. Гусенична машина здійснює поворот за рахунок зменшення швидкості обертання відстаючої гусениці. При використанні механічної трансмісії на відстаючому борту вмикається нижча передача, то ж машина здійснює поворот з радіусом, який відповідає співвідношенню передатних відношень ввімкнених на бортах передач. Таким чином, машина має кількість фіксованих радіусів повороту, яка

дорівнює кількості передач в механічній трансмісії. Поворот з усіма іншими радіусами повороту досягається за рахунок буксування фрикційних елементів трансмісії на відстаючому борту, отже поворот виходить нестійкий і точність руху заданою траєкторією визначається навичками механіка-водія. Варто відзначити, що останнім часом проблему зі стійкістю повороту вдалося вирішити завдяки за рахунок встановлення на машини штурвалу та використання автоматичної системи керування поворотом. Але механіка процесу залишилася незмінною, отже незмінним залишилося буксування фрикційних елементів (як наслідок – їх перегрівання та зношування).

Двопоточна гідрооб'ємно механічна (рис. 2) [3] трансмісія також має свої переваги та недоліки.

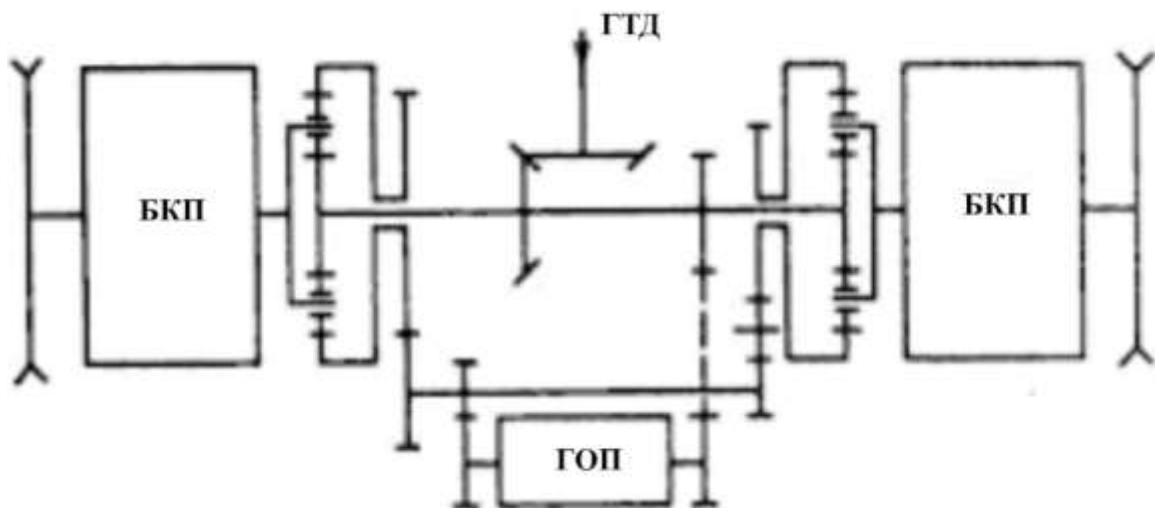


Рисунок 2 – Схема ГОМТ

Першою і беззаперечною перевагою такої трансмісії є менша кількість передач в механічній частині. Очевидно, що при цьому перемикання (а отже і розрив потоку потужності) здійснюється не так часто, що покращує динаміку машини. Крім того, маючи меншу кількість передач, механічна частина має значно менші розміри (також це пов'язано з тим, що механічна частина передає не всю потужність, а лише її частину), що дозволяє спростити компоновку моторно-трансмісійного відділення. Але необхідність жорсткого кінематичного зв'язку для цієї частини трансмісії зберігається.

Іншою перевагою гідрооб'ємно механічної трансмісії є можливість частково або повністю відмовитися від фіксованих радіусів повороту. При цьому поворот також виконується за рахунок зменшення швидкості відстаючої гусениці, але це зменшення забезпечується зміною швидкості та, можливо, напрямком обертання гідравлічної частини трансмісії. Такий спосіб здійснення повороту також дозволяє усунути буксування фрикційних елементів, що робить агрегати трансмісії більш надійними.

Варто також відзначити спрощення процесу автоматизації такої трансмісії порівняно з механічною. В механічній коробці передач перемикавання здійснюється за допомогою переміщення шестерень або муфт, або вмикання та вимикання фрикційних елементів. Це потребує додаткових тяг та приводів керування, що ускладнює привід загалом та зменшує його надійність. В той же час, при зміні передатного відношення в гідравлічній гілці регулювання здійснюється за рахунок зміни параметрів гідроагрегатів. Цей факт дає значно простіший та надійніший привід, меншу кількість механізмів перемикавання, а отже, спрощення процесу перемикавання передач та його автоматизацію.

Першим недоліком двопоточної гідрооб'ємно механічної трансмісії для ВГМ порівняно з механічною є її ускладнення. Однією з головних вимог до ВГМ є простота та надійність конструкції. Але введення в конструкцію трансмісії чотирьох гідроагрегатів її ускладнює. Хоча варто відзначити, що агрегати трансмісії ВГМ повинні мати ресурс до капітального ремонту, а рівень розвитку сучасних українських шкіл проектування трансмісій та сучасні технології дозволяють цей ресурс забезпечити. Збільшення вартості трансмісії, викликане додаванням гідроагрегатів компенсується зменшенням вартості механічної частини, пов'язаної її зменшенням як агрегату.

Другий суттєвий недолік двопоточної гідрооб'ємно механічної трансмісії пов'язаний з виконанням повороту на ґрунтах з великим моментом опору при повороті з малим радіусом на великій швидкості. При здійсненні такого повороту опір на ведучому колесі відстаючого борту значно зростає, а отже, зростає тиск у гідромоторі гідравлічної гілки трансмісії цього ж борту. Оскільки потужність гідромотору при проектуванні обирається виходячи з умов забезпечення необхідної динаміки прямолінійного руху, то в повороті зазначений гідромотор досягає свого максимального тиску. Це призводить до спрацьовування запобіжного клапану в гідромоторі, і він перестає забезпечувати необхідний момент на ведучому колесі. Таким чином, машина відхиляється від заданої траєкторії і навіть втрачає керованість. Крім того, в повороті гідромотор працює на межі своїх можливостей з постійним спрацьовуванням запобіжного клапану, що негативно відображається на його ресурсі. Цю проблему можна вирішити, встановивши гідроагрегати більшої потужності, але це призведе до того, що більшість часу експлуатації машина не буде використовувати доступну потужність гідроагрегатів, то ж вони просто будуть займати і без того обмежений об'єм моторно-трансмісійного відділення.

Висновок

Отже, у зв'язку з зазначеними перевагами та недоліками механічної та двопоточної гідрооб'ємно механічної трансмісій для ВГМ з бортовою схемою варто відзначити, що для сучасних умов ведення війни двопоточна

гідрооб'ємно механічна трансмісія має більше переваг, а її недоліки можна нівелювати при подальшій оптимізації її конструкції.

Література

1. Волонцевич Д. О. Бортовая планетарная коробка передач для основного танка / Д. О. Волонцевич, Е. А. Веретенников, А. Е. Истомин // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы механического привода. Харьков : НТУ "ХПИ". 2012. № 36. С. 32-36.
2. Чобиток В.А. Теория движения танков и БМП. Учебник / Чобиток В.А. М.: Воениздат, 1994. 246 с.
3. Матеріали сайту <http://armor.kiev.ua>.

UDC 666.94

REFRACTORY CEMENTs BASED ON CALCIUM ALUMINATES AND TITANATES

Alla Korohodska, Sci.D., Head, Department of General and Inorganic Chemistry,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
e-mail: Alla.Korohodska@khpi.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1534-2180

Andriy Kitchenko, post graduate student,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
e-mail: andrii.kitchenko@ihti.khpi.edu.ua, ORCID: 0009-0002-0216-2196

Halyna Shabanova, Sci.D., Professor, Department of Ceramic, Refractory
Materials, Glass and Enamels Technology,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
e-mail: Halyna.Shabanova@khpi.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7204-940X

Maksym Volobuev, PhD (Chem), Professor, Department of General and Inorganic
Chemistry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
e-mail: Maksym.Volobuev@khpi.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9779-1176

Calcium titanate is used in a variety of scientific research, including bioceramics, fuel cells, electrochemical capacitors, and catalytic converters. In bioceramics, calcium titanate is used as a scaffold material for tissue engineering. In fuel cells, calcium titanate is used as an electrode material, while in electrochemical capacitors it is used as an active material. In catalytic converters, calcium titanate was used as a catalyst support material.

In recent years, in various industries that use high-temperature units, there has been a trend of increasing production volumes and use of unshaped materials based on refractory cements, which provides significant savings in raw materials, energy and labor resources.

Unshaped materials operated under conditions of simultaneous exposure to high temperatures and aggressive environments must have high fire resistance, heat resistance, slag and corrosion resistance. From this point of view, the creation of new effective refractory unshaped special-purpose materials based on modified cements that have a set of specified operational properties is promising.

An integral part of unformed refractories is a binder material, which provides strength after hardening and forms a wear-resistant structure. Most often, cements are used as binders in refractory unshaped materials, which have lower cost and improved technological properties compared to organic or other inorganic binders. The possibility of varying the phase composition of the binder material allows achieving matrix affinity with the aggregate, giving the finished material increased strength, low porosity, fire resistance, reduced softening at high temperatures, heat resistance, and resistance to aggressive environments. One of the main directions of creating new types of refractory binders is the partial or complete replacement of the components of alumina cement with other types of oxides. This type of modification can include partial replacement of aluminum oxide with titanium oxide, which will provide astringent materials with increased corrosion resistance to the effects of slag and metal melts.

The aim of the research is to develop and obtain refractory cements based on calcium aluminates and titanates with high strength and corrosion resistance for the creation of refractory composite materials.

The basis of such binders is the three-component system $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$, which has been studied in detail. From the point of view of obtaining refractory, corrosion-resistant binding materials, it is rational to develop compositions based on compositions of the $\text{CaAl}_2\text{O}_4 - \text{CaAl}_4\text{O}_7 - \text{CaTiO}_3$ cross-section, containing hydraulically active phases of alumina cement and calcium titanate to increase corrosion resistance.

To predict the compositions of cements with increased strength, fire resistance, and corrosion resistance, the temperatures and compositions of eutectics in binary and ternary sections of the selected rational region were calculated. Based on the calculations performed, it was established that double and triple sections of the $\text{CaAl}_2\text{O}_4 - \text{CaAl}_4\text{O}_7 - \text{CaTiO}_3$ region can be used as heat-resistant materials with an operating temperature of 1470 – 1660 °C. The ternary eutectic is shifted to the angle corresponding to CaAl_2O_4 , and is 1479 °C. The highest temperature is the eutectic located on the edge $\text{CaAl}_4\text{O}_7 - \text{CaTiO}_3$ (1665 °C). Thus, to obtain a refractory unformed material based on calcium alumino-titanate cement, it is necessary to

adjust the phase composition of the cement towards a higher content of CaTiO_3 as the most refractory phase, and the total composition of the composition should contain no more than 60 wt. % of hydraulically active compounds.

The microstructure of calcium aluminate – calcium titanate compositions was investigated and it was found that an increase in the number and size of irregularly shaped pores was observed, and phase formation processes occur around these concentrators. The formation of CaTiO_3 along with calcium aluminates affects the microstructure, density, porosity, and hardness of the composition. At the same time, the density decreases, and the porosity and hardness increase compared to calcium aluminates without CaTiO_3 .

Thus, the possibility of obtaining refractory cements through the targeted synthesis of hydraulically active aluminates and refractory corrosion-resistant calcium titanate in their composition has been theoretically substantiated and experimentally proven.

Секція 4. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА, ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕНЕРГОСИСТЕМ, ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

UDC 621

DEVELOPMENT OF AN APPROACH TO ASSESSING RELIABILITY OF POWER EQUIPMENT

Natalia Smetankina, DSc, Professor, Head of Department of Vibration and Thermostability Studies, Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine,
e-mail: nsmetankina@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9528-3741

Improving equipment repairs and maintenance based on the analysis of its damage is one of the effective ways to increase reliability and reduce operating costs [1, 2]. One of the important conditions for changing the existing approaches to equipment repair should be the exclusion of a large number of unscheduled repairs caused by the low reliability of individual equipment components. The experience of operation and repair allows us to identify design flaws inherent in specific equipment sizes. The generalization of such data is used by manufacturers when developing new equipment or reconstructing existing equipment.

An analysis of reliability research papers [3, 4] showed that most papers contain information on failures that occurred during operation, while a small number of papers provide information on damage detected during repair. Given the imperfection of the information collection system, some of it may not be reflected in official documents (on failures and defects detected during the repair process) There is no generalized information on the causes of equipment damage; there is insufficient information on turbine auxiliary equipment. There is virtually no information on damages summarized by operation and repair data. It is necessary to collect and analyze information on all equipment of the turbine unit using data from official statistics on failures, data on damage detected during repairs, information from operating and maintenance personnel. The reliability analysis of all equipment should be performed using a unified approach. Based on this analysis, it is necessary to identify the elements that limit and determine the reliability of turbine equipment.

The aim of the study is to develop an approach to improving the reliability of power equipment based on statistical analysis of power plant operation data.

The physical life of equipment is limited only by the condition of the metal and welded joints. The results of the statistical analysis show that the largest

contribution to the overall damageability of power equipment is made by the destruction of welded structures. At the same time, the comparison of the safety factors for long-term strength and damage statistics shows a complete absence of any connection. It is emphasized that the existing methods of reliability research both in our country and abroad increasingly do not meet the requirements of practice and the level of production technology, since forecast estimates and actual values of reliability indicators often and significantly diverge.

Statistical research methods are most often used. In this case, the methodology for obtaining the final results on the reliability of products in accordance with the probabilistic (statistical) theory is as follows. Product failure statistics are obtained from testing or operation. Then, using known statistical criteria of agreement, the most appropriate model of distribution of random variables developed in probability theory (exponential, normal, Weibull, logarithmic, etc.) is selected and accepted as a theoretical model of probability distribution of failure-free operation (reliability model), based on which the required quantitative reliability indicators are determined. The reliability of systems is assessed by calculating the probabilities of the serviceable states of elements.

The statistical methods of reliability assessment included in the main regulatory materials are not effective enough in assessing the reliability of new highly reliable or single products in operation, i.e. where there are few or no failure statistics. Reliable information can be obtained by studying the mechanical and chemical properties and some physical parameters of products that characterize the technical condition of the latter, using probabilistic methods. In this case, the methodology for establishing quantitative reliability indicators based on the study of certain physical parameters characterizing the technical condition of products is to identify the kinetic laws of degradation processes (building mathematical models of degradation processes) and determine the analytical relationship of these laws with reliability indicators. It is of fundamental importance to reveal failure mechanisms and their impact on the reliability of products. The models obtained with this approach are incomplete, and the extension of the results of the model obtained in this way, even to a similar object, but in a different mode, can only be of a qualitative nature.

An integrated approach to collecting and processing information on the reliability of power equipment is proposed, as well as a methodology for determining the main elements governing the reliability of a particular unit based on statistical analysis of turbine plant operation data. Reliability analysis is based on information about the damage that caused equipment failures, damage detected during scheduled equipment repairs, as well as data on equipment malfunctions detected during the operation of turbine units. The initial information used is the following: equipment failure reports, repair documentation, operational reporting documentation, information obtained by process monitoring systems, as well as information obtained

by expert assessments from technical specialists involved in the operation and repair of turbine equipment at power plants.

Based on the analysis of information on damage in the operating conditions of the equipment, a methodology for improving the reliability of turbine components and auxiliary equipment that limit the reliability of the turbine installation, analyzing their effectiveness, and developing proposals for improving the repair is proposed. Reliability analysis is based on information about the damage that caused equipment failures, damage detected during scheduled equipment repairs, as well as data on equipment malfunctions detected during the operation of turbine units. The following information is used as initial information: equipment failure reports, repair documentation, operational reporting documentation, information obtained by process monitoring systems, as well as information obtained by expert assessments from technical specialists involved in the operation and repair of steam turbine equipment at power plants.

The aim of this work corresponds to the priority directions of equipment development and allows further improvement of equipment based on solving problems of optimal design of structural elements [5].

Conclusions

An integrated approach to the collection and processing of information on the reliability of power equipment is proposed, as well as a methodology for determining the main elements that regulate the reliability of a particular unit based on statistical analysis of power equipment operation data.

References

1. Gontarovskiy P., Smetankina N., Garmash N., Melezhyk I. Numerical analysis of stress-strain state of fuel tanks of launch vehicles in 3D formulation. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds.) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020, 2021, vol. 188. Springer, Cham, pp. 609-619. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_52
2. Hontarovskiy P.P., Smetankina N.V., Ugrimov S.V., Garmash N.H., Melezhyk I.I. Computational studies of the thermal stress state of multilayer glazing with electric heating. Journal of Mechanical Engineering – Problemy mashynobuduvannia, 2022, vol. 25, no 1, pp. 14-21. <https://doi.org/10.15407/pmach2022.02.014>
3. Malla C., Panigrahi I. Review of condition monitoring of rolling element bearing using vibration analysis and other techniques. Journal of Vibration Engineering & Technologies, 2019, vol. 7, pp. 407-414. <https://doi.org/10.1007/s42417-019-00119-y>
4. Mayadevi N., Vinodchandra S.S., Ushakumari S. A review on expert system applications in power plants. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2014, vol. 4, no. 1, pp. 116-126. <https://doi.org/10.11591/ijece.v4i1.5025>
5. Smetankina N., Semenets O., Merkulova A., Merkulov D., Misura S. Two-stage optimization of laminated composite elements with minimal mass. In: Smart Technologies in Urban Engineering. STUE-2022. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, vol. 536. Springer, Cham. pp. 456-465. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_42

UDC 666.94

RADIATION-RESISTANT CEMENT BASED ON BARIUM ALUMINATES AND CHROMITES

Alla Korohodska, Sci.D., Head, Department of General and Inorganic Chemistry,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
e-mail: Alla.Korohodska@khpi.edu.ua, ORCID: [0000-0002-1534-2180](https://orcid.org/0000-0002-1534-2180)

Ievgenii Grudina, post graduate student,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
e-mail: Yevhenii.Hrudyna@ihti.khpi.edu.ua

Halyna Shabanova, Sci.D., Professor, Department of Ceramic, Refractory
Materials, Glass and Enamels Technology, National Technical University «Kharkiv
Polytechnic Institute»,
e-mail: Halyna.Shabanova@khpi.edu.ua, ORCID: [0000-0001-7204-940X](https://orcid.org/0000-0001-7204-940X)

Maksym Volobuev, PhD (Chem), Professor, Department of General and Inorganic
Chemistry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
e-mail: Maksym.Volobuev@khpi.edu.ua, ORCID: [0000-0001-9779-1176](https://orcid.org/0000-0001-9779-1176)

Currently, nuclear energy is one of the main types of energy production in both Ukraine and European countries. Improving the safety of operating power plants requires not only improving the designs of nuclear installations, but also creating new effective materials that provide reliable protection against various types of ionizing radiation, as well as creating reliable containers for collecting, storing, and disposing of radioactive waste, which makes such research relevant and important. The aim of the research is to develop and produce cements based on compositions of aluminates and chromites of alkaline earth elements, which include hydraulically active phases with high strength characteristics and a high mass absorption coefficient of ionizing radiation for the creation of protective concretes.

As a result of previously conducted theoretical calculations and experimental studies, areas optimal for obtaining protective heat-resistant aluminochromite cements were identified in the three-component aluminochromite $\text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$ system. The choice of these areas was determined by the presence in their composition of hydraulically active aluminates and heat-resistant, corrosion- and radiation-resistant barium chromites. According to the results of thermodynamic, geometric-topological, eutectic and X-ray phase analyses in the $\text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$ system, the $\text{BaAl}_2\text{O}_4 - \text{BaCr}_2\text{O}_4 - \text{Ba}_3\text{Cr}_2\text{O}_6$ and $\text{BaAl}_2\text{O}_4 - \text{Ba}_3\text{Cr}_2\text{O}_6 - \text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ cross-sections are rational for the synthesis of protective binders.

Raw material mixtures were prepared from the following starting technical materials: technical barium carbonate (CAS 513-77-9), metallurgical alumina (CAS

1344-28-1), chromite concentrate (TU U 26.2-00190503-348:11). Raw material mixtures were fired at temperatures of 1350 – 1400 °C with isothermal holding at the maximum temperature for 3 hours under a layer of kryptol to prevent the transition of Cr^{+3} to Cr^{+6} .

To optimize cement compositions, the simplex lattice experiment planning method with lattices for an incomplete third-order polynomial was used. Based on experimental data, regression equations were derived for the dependence of the compressive strength at the age of 28 days of hardening, the melting point, and the mass absorption coefficient of γ -radiation on the phase composition. From the obtained results, it was established that the calculated regression equations are adequate, since the calculated data on mechanical strength, melting point, and mass absorption coefficient of γ -radiation are in satisfactory agreement with the experimental ones.

Since the data on mechanical strength, melting points, and mass absorption coefficient of γ -radiation for the $\text{BaAl}_2\text{O}_4 - \text{BaCr}_2\text{O}_4 - \text{Ba}_3\text{Cr}_2\text{O}_6$ and $\text{BaAl}_2\text{O}_4 - \text{Ba}_3\text{Cr}_2\text{O}_6 - \text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ cross-sections practically coincide, the most interesting is the binary cross-section $\text{BaAl}_2\text{O}_4 - \text{Ba}_3\text{Cr}_2\text{O}_6$ common to them, in which it is possible to vary the content of the main phases in a wide concentration range and not to achieve strict dosage of the initial components.

It was established that the obtained cements are high-strength (compressive strength at the age of 28 days – 28 – 79 MPa, bending strength – 5.0 – 6.5 MPa; fast-hardening – the beginning of hardening from 10 min. to 2 h. 05 min., the end – from 30 min. to 3 h. 10 min.; compressive strength at the age of 3 days of hardening – 22 – 51 MPa) air-hardening binders with a water-cement ratio of 0.18 – 0.23, fire resistance 1580 – 1800 °C, mass absorption coefficient of γ -radiation 220 – 280 cm^2/g .

From the point of view of increased radiation resistance, strength and fire resistance, the optimal composition is one that contains the maximum amount of barium oxide and has the following phase composition: 60 wt. % $\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ and 40 wt. % $\text{Ba}_3\text{Cr}_2\text{O}_6$. This binder is characterized by a strength of 46 MPa after 28 days of hardening, a fire resistance of 1580 °C, and a mass absorption coefficient of γ -radiation of 277 cm^2/g . However, rapid setting times (start – 10 min., end – 30 min.) require the use of setting retarders.

The results obtained indicate that the developed cement based on barium aluminates and chromites can be recommended for the production of refractory concretes, shotcrete masses, and mortars for use in high-temperature units of various industries, as well as for the production of concrete protective screens, shells, structural elements of biological protection of nuclear power systems, and containers for the burial of radioactive waste of various levels of activity.

Секція 5. НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ДІАГНОСТИКА, ВИПРОБУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕНЕРГОСИСТЕМ. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 629.7.036.3

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ ПРИ ВИПАДІННІ КОНДЕНСОВАНОЇ ФАЗИ ТА ЇЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА СТІНКАХ КРІОГЕННИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

Петухов Ілля Іванович, канд. техн. наук, доцент каф. аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», e-mail: i.petukhov@khai.edu, ORCID: 0000-0002-0645-7912

Лисиця Олексій Юрійович, канд. техн. наук, доцент каф. аерокосмічної теплотехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», e-mail: a.lisitsa@khai.edu, ORCID: 0000-0002-5679-8459

В процесі експлуатації кріогенних теплообмінних апаратів на їх холодних стінках можуть реалізовуватися умови, коли випадатиме конденсована фаза і в подальшому кристалізуватиметься. Наявність рідкої плівки або твердого шару на стінках теплообмінника може в значній мірі вплинути на теплообмін та змінити режим роботи теплоенергетичного обладнання. Конденсація інтенсифікує теплообмін, кристалізація змінює умови обтікання та шорсткість зовнішньої поверхні. Внаслідок формування на стінках твердої фази збільшується їх термічний опір, а за умов розміщення теплообмінника у високошвидкісному потоці кристали льоду при сколюванні можуть пошкодити сусідні елементи конструкції. Аналіз літератури показав, що питання моделювання тепломасопереносу при випадінні конденсованої фази та її кристалізації вивчені недостатньо і потребують подальшого дослідження.

Метою роботи є удосконалення моделі тепломасопереносу при випадінні конденсованої фази та її кристалізації на стінках кріогенних теплообмінників.

Представлена модель описує утворення багатокомпонентного шару твердої конденсованої фази гарячого потоку на зовнішніх стінках теплообмінника при охолодженні холодним теплоносієм через внутрішню стінку. За умови температури на міжфазній поверхні нижчої за температури плавлення будь-якого з дифузних компонентів на стінці утворюється тверда фаза, а при більш високій температурі – рідка плівка. Структура шару конденсованої фази

залежить від інтенсивності переносу дифузних компонентів з гарячого потоку до поверхні розділу фаз, а також від температури міжфазної поверхні. Товщина плівки визначається адгезійними властивостями середовищ та в'язкістю рідини, а також силами тяжіння та зсуву на межі розділу з потоком газу.

При збільшенні на поверхні теплообмінника товщини льоду температура його поверхні підвищується. Процес десублімації кожного з дифузних компонентів набігаючого потоку припиняється при досягненні температури їх плавлення. В подальшому на поверхні формується рідка плівка. Зі збільшенням температури міжфазної поверхні дифузійний потік будь-якого з компонентів зменшується, а при рівності густин припиняється. Ще одна умова утворення конденсованого шару пов'язана зі зміною агрегатного стану конденсованого компонента, який визначається температурою його потрійної точки.

Рідка плівка конденсату на поверхні зростаючого шару льоду спочатку утворюється з дифундуючого компонента, який має найнижчу температуру потрійної точки. Ця плівка може запобігти агломерації інших дифундуючих компонентів із цим шаром. Разом із впливом аеродинамічної взаємодії утвореної плівки рідини з прилеглим газовим потоком може змінюватися форма поверхні. У цьому випадку принципово можливе утворення шуго подібного середовища.

До міжфазної поверхні теплота переноситься випромінюванням, конвекцією і завдяки теплоті фазового переходу потоку маси компонентів, що дифундують. Температура поверхні на межі з потоком парогазової суміші визначається з рівняння теплового балансу, в якому сума теплопритоків до цієї поверхні дорівнює теплоті, що витрачається на фазовий перехід. Відведена теплота визначається термічним опором шару конденсованої фази та стінки. Граничні умови з боку холодного теплоносія визначаються у вигляді коефіцієнта тепловіддачі. Процеси масопереносу до міжфазної поверхні для кожного з дифузних компонентів описуються окремими рівняннями масовіддачі. В моделі зроблено припущення, що густина парової фази на міжфазній поверхні відповідає стану насичення при її температурі. Коефіцієнт масовіддачі розраховується за допомогою критеріальних рівнянь з використанням чисел Шервуда і Шмідта з урахуванням аналогії з процесами теплообміну.

В стаціонарному процесі структура конденсованого шару та його температурне поле визначаються параметрами гарячого та холодного теплоносіїв. Для більшості умов та режимів роботи кріогенних теплообмінників можна розглядати утворення тільки водяного льоду, оскільки решта компонентів мають дуже низьку температуру потрійної точки. За умов високої швидкості потоку парогазової суміші рідка плівка здувається з поверхні. Для таких умов температура міжфазної поверхні відповідає температурі танення водяного

льоду. Тепловий потік з боку гарячого теплоносія визначається сумою конвективного і дифузійного потоків. З урахуванням відомих різниць температур і концентрацій дифузних компонентів розраховується термічний опір багатошарової стінки і товщина льоду.

В нестаціонарному процесі збільшення товщини шару конденсованої фази супроводжується зміною температури міжфазної поверхні. При досягненні стаціонарного режиму ця температура дорівнює температурі танення водяного льоду. Розраховується тепловий потік з боку парогазової суміші, термічний опір багатошарової стінки і максимальна товщина льоду на стінці.

Висновки

Розроблена модель дозволяє розрахувати параметри теплообміну в стаціонарній і нестаціонарній постановках з урахуванням утворення багатокомпонентної конденсованої фази на стінках кріогенних теплообмінників. Модель враховує усі значущі фактори процесу, дозволяє визначити коефіцієнти теплопередачі в умовах випадіння конденсованої фази на стінках, тривалість перехідних процесів та максимальну товщину шару льоду. Це дозволить більш надійно проектувати кріогенні теплообмінні апарати, точніше визначати їх характеристики та режими роботи теплоенергетичних систем.

УДК 621:43.016

ВПЛИВ НЕСПРАВНОСТЕЙ РІДИННИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ

Куликівський Володимир Леонідович, канд. техн. наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу, Поліський національний університет,
e-mail: kylikovskiyv@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4652-0285

Аналіз сучасних систем рідинного охолодження автотракторних двигунів доводить, що їхня функціональна, конструктивна та технологічна складність останнім часом значно зросла. Це є наслідком постійно зростаючих вимог щодо ефективності систем охолодження, на тлі безперервного підвищення рівня форсування двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) [1, 2]. Вивчення даних з експлуатації автотранспортної техніки показує, що 20...35 % відмов та несправностей двигунів припадає на системи охолодження. Здебільшого несправності в рідинних системах охолодження виникають після 160...190 тис.

км пробігу автомобіля. У двигунів тракторів та вантажних автомобілів, які зазвичай працюють із 75...90 % навантаженням, з огляду на важкі умови експлуатації, несправності систем охолодження можуть з'явитися вже після 550...650 годин роботи.

До основних несправностей рідинних систем охолодження належать: всілякі підтікання; руйнування прокладок і сальників; відхилення, помилки у спрацьовуванні термостатів та датчиків; забивання проточних каналів (радіаторів, блоків і головок циліндрів).

Під час експлуатації двигуна, в системі охолодження та її елементах протікають процеси кавітаційної ерозії і хімічної корозії, з'являються відкладення (накипи) на теплообмінних поверхнях, утворюються продукти розкладання антифризів. Все це призводить до погіршення передачі тепла від нагрітих деталей двигуна, що може спричинити його перегрів та зниження енергетичних показників, а також значно підвищує ризик виходу енергосилової машини з ладу.

У двигунах із великим робочим об'ємом та «мокрими» гільзами циліндрів, які безпосередньо контактують з охолоджувальною рідиною, кавітація відповідальних елементів є однією з головних проблем, що впливає на надійність і строк експлуатації ДВЗ. За поперечних коливань гільзи, викликаних рухом поршня, у навколишній рідині виникають хвилі розрідження та стискання. Нагріта рідина постійно закипає і припиняє кипіти під час зниження та підвищення тиску. Це провокує кавітаційну ерозію гільзи, що призводить до її руйнування.

Руйнування гільз потребує капітального ремонту двигуна. Кавітаційного впливу зазнає також крильчатка насоса системи охолодження. Здебільшого кавітація (утворення, стискання та зменшення бульбашок) виникає на периферії лопатей крильчатки, за рахунок зменшення тиску при підвищенні швидкості. Бульбашки руйнують краї лопатей, а у кінцевому підсумку і крильчатку загалом. В результаті доводиться замінювати насос системи охолодження.

Корозійний шар (іржа) на стінках каналів двигуна і радіатора стає ізолятором тепла, оскільки має теплопровідність приблизно у 50 разів меншу, ніж метал. Виникає наступний причинно-наслідковий зв'язок: двигун погано віддає тепло, а радіатор гірше його приймає, у підсумку ДВЗ та охолоджувальна рідина перегріваються, тобто відведення теплової енергії відбуватиметься за підвищених температур.

Забивання, засмічення прохідного перерізу трубок радіатора продуктами накипу та корозії призводить до підвищення температури охолоджувальної рідини, що зрештою спричиняє перегрів двигуна із тяжкими наслідками:

- пошкодження компресійних кілець поршнів;

- потрапляння робочих газів у картер двигуна та швидка втрата властивостей присадок (протидія корозії, зношуванню) у моторній оливі;
- втрата потужності двигуна;
- зміна зазорів в циліндро-поршневій групі та кривошипно-шатунному механізмові, зростання витрат моторної оливи, заклинювання і руйнування рухомих деталей ДВЗ.

Через продукти корозії, частинки іржі, які містяться в охолоджувальній рідині, можливе: заклинювання рухомих деталей термостата; порушення герметичності рідинного насоса; засмічення радіатора, а також каналів блоку двигуна. В найгіршому випадку, радіатор або головка блоку циліндрів можуть отримати пошкодження у вигляді наскрізної корозії.

Неодноразово зустрічаються випадки, коли в систему охолодження, внаслідок негерметичності прокладок, потрапляє моторна олива. Масляна плівка лягає на стінки деталей системи охолодження та різко знижує теплопровідність. Дані відкладення призводять до: перегріву двигуна в літню пору; псування, зносу ущільнювальних матеріалів; невчасного спрацювання термостата, датчиків температур тощо. Внаслідок чого спостерігається зниження ресурсу двигуна та підвищення кількості відмов.

Висновки

Таким чином, можемо дійти висновку, що всі зазначені несправності, які виникають в рідинних системах охолодження автотракторних двигунів, неминуче призводять до змін у роботі ДВЗ, погіршують їх експлуатаційну надійність та функціональні характеристики. Значний відсоток відмов і несправностей системи охолодження та її елементів викликаний циркулюючими з антифризом забрудненнями, які згодом перетворюються на відкладення на стінках поверхонь, що передають тепло, а також у проточних каналах. Очищення водних розчинів є перспективним напрямом удосконалення систем охолодження автомобільних та тракторних двигунів.

Література

1. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. / О. М. Артюх та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 264 с.
2. Шелестов М. С. Розвиток системи наддуву високофорсованих дизелів. Двигуни внутрішнього згоряння, 2020. № 2. С. 20–27.

Секція 6. ЕЛЕКТРИЧНІ, ГІБРИДНІ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ, СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

ГІБРИДНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОНІКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Багач Руслан Володимирович, доктор філософії (PhD), доцент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: bagach.ruslan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0157-5933

Латвинський Владислав Дмитрович, асистент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: latvin2000@gmail.com, ORCID: 0009-0002-4891-2925

Автомобільна промисловість зараз є свідком безпрецедентного інтересу до розробки нових електричних силових установок з метою переходу від звичайних двигунів до економічних гібридних транспортних засобів із двигуном внутрішнього згоряння в найближчій перспективі та до транспортних засобів на паливних елементах і електромобілів у довгостроковій перспективі. Особливе значення в цьому контексті мають електромобілі, які стають ключовим компонентом у глобальній стратегії переходу до екологічно чистого транспорту. Докази цього переходу можна знайти в програмах Freedom CAR і Fuel Partnership, які очолює Міністерство енергетики США [1-3].

Метою даної статті є аналіз сучасних підходів до гібридного охолодження електроніки електромобілів, визначення перспектив розвитку таких систем та їх впливу на ефективність, надійність і енергоспоживання транспортних засобів. Особлива увага приділяється викликам, що стоять перед інженерами, та розробці інноваційних технологій для підвищення теплових характеристик електромобілів [4-6].

Виклики та перспективи. Для успішного впровадження силової електроніки та електричних машин у гібридні транспортні засоби, транспортні засоби на паливних елементах та електромобілі необхідно відповідати різноманітним тепловим характеристикам і робочим характеристикам. Управління теплопостачанням відіграватиме першорядну роль у досягненні цих цілей, але спочатку потрібно подолати кілька перешкод. Наприклад, існуючі методи управління температурою в електромобілях недостатні для розсіювання високих теплових потоків, які виникають у силовій електроніці та акумуляторних батареях, при обмеженні роботи електронних компонентів на основі кремнію температурою нижче 125°C. Крім того, сучасні компоненти

охолодження можуть бути громіздкими та важкими, що ускладнює інтеграцію в компактні конструкції електромобілів.

Для силової електроніки (а також акумуляторних батарей) електромобілів шукають нові технології охолодження, які можуть працювати з більшою щільністю потужності, мінімізуючи розміри та вагу систем. Охолодження досягається шляхом направлення тепла від чіпів, акумуляторних елементів та інших компонентів через різні шари матеріалів, що забезпечують ізоляцію і передачу тепла до охолоджуючої рідини. Щоб досягти вищезазначених теплових цілей, розроблено кілька двофазних теплових рішень [7–9].

1. Струменеве зіткнення. Цей метод забезпечує високоефективне перенесення тепла шляхом спрямування струменів рідини на поверхню, що охолоджується. Його можна застосовувати для силової електроніки інверторів та зарядних пристроїв [10].

2. Охолодження розпиленням. Тепло ефективно розсіюється завдяки тонкому шару рідини, яка розпорошується на поверхню. Ця технологія може бути корисною для систем охолодження акумуляторних батарей [11].

3. Охолодження мікроканалів. Цей підхід дозволяє мінімізувати розміри охолоджуючої системи завдяки використанню мікроканалів для циркуляції рідини, що є особливо важливим для компактних електромобілів.

Типи охолоджувачів. Одним із можливих типів охолоджувача є холодоагент, такий як R134a, який може циркулювати в підконтурі з підтримкою насоса. Підконтур підключатиметься до основного контуру охолодження автомобіля, а також відводитиме тепло до конденсатора повітряного охолодження електромобіля (рис. 1).

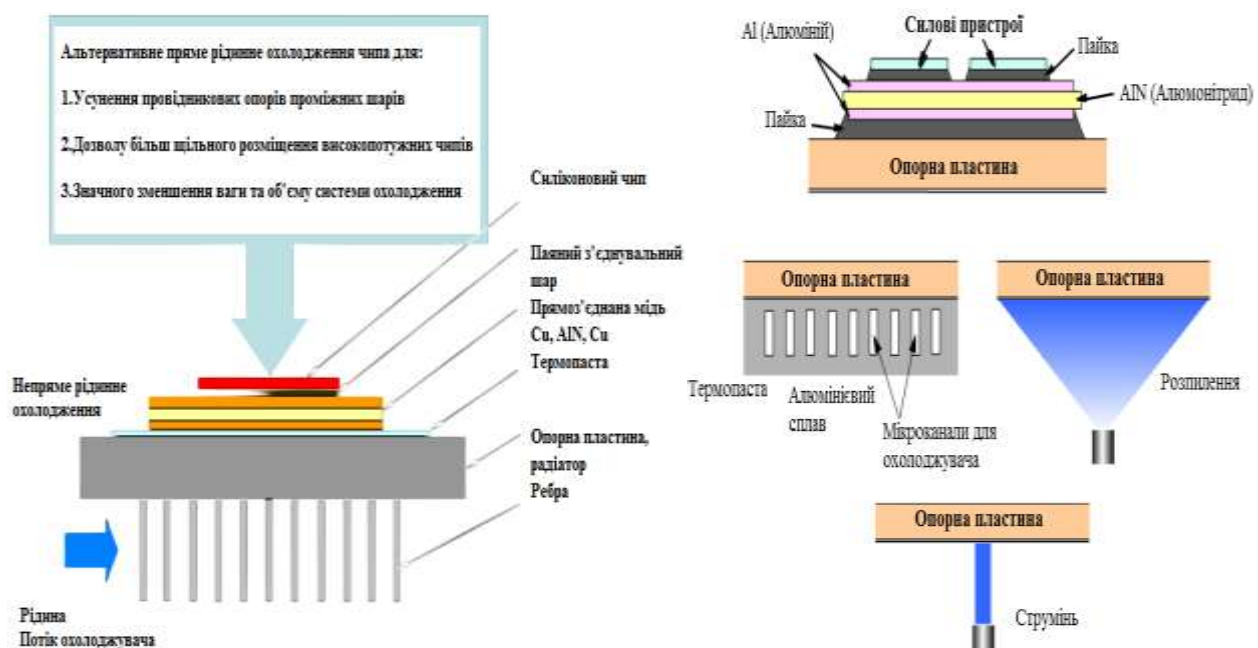


Рисунок 1 – Двофазне охолодження силової електроніки

Інша можливість – використання діелектричного охолоджувача типу HFE 7100 з окремим контуром охолодження. Ці охолоджувачі забезпечують ефективне розсіювання тепла без ризику пошкодження електроніки [12, 13].

Переваги гібридних рішень для електромобілів. Використання гібридних методів охолодження дозволяє:

- забезпечити ефективне розсіювання тепла навіть у високопотужних системах, таких як тягові інвертори та високовольтні акумулятори.
- зменшити вагу та обсяги охолоджуючої системи, що сприяє зниженню енергоспоживання електромобіля.
- підвищити надійність роботи електроніки та батарей завдяки ефективному контролю температури.

Висновки

Гібридне охолодження відкриває нові горизонти для розробки економічних і високоефективних електромобілів майбутнього. Основними напрямками удосконалення таких систем є:

- розробка нових матеріалів із покращеними теплопровідними властивостями, що дозволить підвищити ефективність тепловідведення в електромобілях.
- впровадження інтелектуальних систем керування охолодженням, які адаптуються до змін робочих умов електромобіля.
- зменшення енергоспоживання охолоджуючих систем завдяки використанню ефективніших насосів і теплообмінників.

Інновації в гібридних охолоджуючих системах стануть ключовим фактором у створенні електромобілів, які поєднують екологічність, енергоефективність і надійність. Таким чином, вони сприятимуть переходу до сталого транспорту, який відповідатиме вимогам сучасності та майбутнього [14,15].

Література

1. Багач Р. В. (2024). Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електро-транспорту з використанням зарядних станцій постійного струму (Doctoral dissertation, Харківський національний автомобільно-дорожній університет). <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/20343>
2. Багач, Р.В. (2021). Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів. Міжнародна науково-практична конференція присвячена 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету "Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців" (pp. 346-349). Харків: ХНАДУ. <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/f2cddad8-ee08-4314-831e-018403b09d23/content>
3. Багач Р, В. (2024). Відновлювана енергетика електротранспорту. Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : матеріали Міжнар. наук.-

практ. конф., 6 листопада 2024 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. –Харків, 2024. – 312 с. – С. 60-61. Електронні текстові дані. – Режим доступу : <http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiyi/>

4. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., Багач, Р. В., Гнатова, Г. А., Тарасова, В. В., & Ручка, О. О. (2021). Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання, (20), 17–26. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.02>

5. Багач, Р.В., Козаченко, Є.М. (2024). Розвиток технологій охолодження та управління теплом у швидкісних зарядних станціях для електромобілів. «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» Збірка матеріалів IX Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції (Харків, 21-22 листопада 2024 р.). Харків: ХНАДУ – С. 98-100. https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-AUTOMOBILE/Автомобільної_електроніки/Документи/Крнференції/Збірка_тез_доповідей_2024_1_.pdf

6. Багач Р. В., Гнатов А. В. (2024). Інтеграція електромобілів у розподілені енергетичні системи Vehicle-to-Grid (V2G). Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. –Харків, 2024. – 312 с. – С.62-63. Електронні текстові дані. – Режим доступу : <http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiyi/>

7.Zhang Y., Wang J., Yang C. Thermal Management Strategies for Electric Vehicle Power Electronics and Batteries / Y. Zhang, J. Wang, C. Yang // International Journal of Vehicle Energy. – 2019. – Vol. 7, № 3. – P. 221-234. – DOI: 10.1016/j.vehenergy.2019.07.002.

8.Muhammed M., Khaligh A. Advanced Cooling Systems for Electric Vehicles: A Comprehensive Review / M. Muhammed, A. Khaligh // Journal of Power Electronics and Drives. – 2020. – Vol. 14, № 2. – P. 135-154. – ISSN: 2346-9383.

9.Lienhard J. H. A Heat Transfer Textbook / J. H. Lienhard IV, J. H. Lienhard V. – Cambridge, MA: Phlogiston Press, 2021. – 768 p. – ISBN: 978-0-9707075-1-2.

10. Zhang J., Mi X. Design and Development of Liquid Cooling Systems for High-Performance Electric Vehicles / J. Zhang, X. Mi // Energy Storage Systems for EVs. – 2021. – Vol. 3, № 1. – P. 89-102. – DOI: 10.1016/j.evs2021.01.008.

11. Jang H., Nguyen T. Q. Dielectric Coolants in Electric Vehicle Powertrains / H. Jang, T. Q. Nguyen // Proceedings of the International Conference on Thermal Engineering. – 2020. – P. 45-56. – ISBN: 978-1-1198-7702-3.

12. Chau K. T., Chan C. C., Liu C. Overview of Electric Vehicle Development: From Components to Systems / K. T. Chau, C. C. Chan, C. Liu // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2018. – Vol. 62, № 12. – P. 7534-7545. – DOI: 10.1109/TIE.2018.2847591.

13. Tran C., Dubey R. Two-Phase Cooling Solutions for Electric Vehicle Electronics / C. Tran, R. Dubey // Thermal Science Journal. – 2019. – Vol. 25, № 5. – P. 300-315. – ISSN: 1333-7741.

14.Krishnamurthy M., Stone D. FreedomCAR and US DoE Reports on Thermal Management Systems for EVs / M. Krishnamurthy, D. Stone // US Department of Energy Publications. – 2020. – P. 12-27. – Режим доступу: <https://www.energy.gov/ev-thermal-reports>.

15.Nomura S., Ito K. Development of Heat Pipe Solutions for Battery Packs in EVs / S. Nomura, K. Ito // Journal of Thermal Engineering. – 2021. – Vol. 67, № 4. – P. 412-425. – DOI: 10.1299/jote.2021.040123.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ АКУМУЛЯТОРІВ У МОБІЛЬНИХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЯХ

Латвинський Владислав Дмитрович, асистент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: latvin2000@gmail.com, ORCID: 0009-0002-4891-2925

Багач Руслан Володимирович, доктор філософії (PhD),
доцент кафедри автомобільної електроніки,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: bagach.ruslan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0157-5933

На сьогодні у світі лише кілька підприємств займаються промисловою переробкою літій-іонних акумуляторних батарей (ЛІАБ). Це означає, що на поточному етапі розвитку електромобільного транспорту існує ризик нестачі потужностей для утилізації його найбільш екологічно небезпечних компонентів [1-3].

Досвід експлуатації електромобілів свідчить, що після 3–5 років використання тягові акумуляторні батареї втрачають 30–40% своєї ефективності. Однак навіть за таких умов вони ще придатні для подальшого використання, зокрема як накопичувачі електроенергії, витримуючи сотні додаткових циклів [4]. Одним із перспективних напрямків повторного застосування ЛІАБ є їхнє використання у складі мобільних зарядних станцій для електромобілів. Формування таких енергосховищ із 3–5 батарей дозволить продовжити термін служби акумуляторів та суттєво зменшити навантаження на підприємства, що займаються їхньою утилізацією [4, 5].

Мета дослідження. Оцінити перспективи використання відпрацьованих літій-іонних акумуляторних батарей у складі мобільних зарядних станцій (МЗС) для електромобілів, а також проаналізувати їхню економічну доцільність, технічні можливості та потенційний вплив на інфраструктуру електро-транспорту [6, 7].

Мобільна зарядна станція (МЗС) – це сучасний тип зарядного обладнання, що забезпечує можливість заряджати електромобілі будь-де та будь-коли. Такі станції сприяють ефективному повторному використанню відпрацьованих літій-іонних тягових акумуляторних батарей (рис. 1).

Окремий різновид таких станцій – мобільні зарядні станції на базі вантажівок (МЗСГ). Це електричні або гібридні транспортні засоби (вантажівки, фургони), оснащені одним або кількома зарядними акумуляторами. Вони можуть пересуватися певною територією, забезпечуючи зарядку електромобілів у зручному для користувачів місці [6, 7].



Рисунок 1 – Мобільні зарядні станції з акумуляторними системами зберігання енергії

Переваги мобільних зарядних станцій (МЗС).

1. Переваги для власників електромобілів:

- гарантований запас ходу;
- швидке заряджання та зручний доступ до енергії.

2. Доступність зарядки:

- МЗС надає можливість заряджати електромобіль у будь-який час і в будь-якому місці, що підвищує зручність експлуатації електротранспорту;
- крім того, такі станції можуть використовуватися як мобільна допомога для електромобілів, у яких розрядився акумулятор у дорозі;
- з зростанням кількості електромобілів мобільні зарядні станції стають ефективнішою альтернативою буксируванню, оскільки дозволяють заряджати авто безпосередньо на місці.

3. Економія часу на зарядку:

- процес зарядки електромобіля зазвичай триває довше, ніж заправка авто з ДВС паливом, МЗС можуть суттєво скоротити цей час завдяки можливості швидкого заряджання;
- додатково, з огляду на час, який витрачається на поїздку до стаціонарної зарядної станції, використання мобільних зарядних станцій дозволяє зекономити ще більше часу, забезпечуючи зарядку безпосередньо там, де знаходиться власник електромобіля.

Габаритні розміри тягової акумуляторної батареї на прикладі Nissan Leaf: а – 1188 мм, b – 1007 мм, с – 264 мм, d – 1547 мм наведені на рис. 2.

Виходячи з габаритних розмірів тягових акумуляторних батарей та кузова.

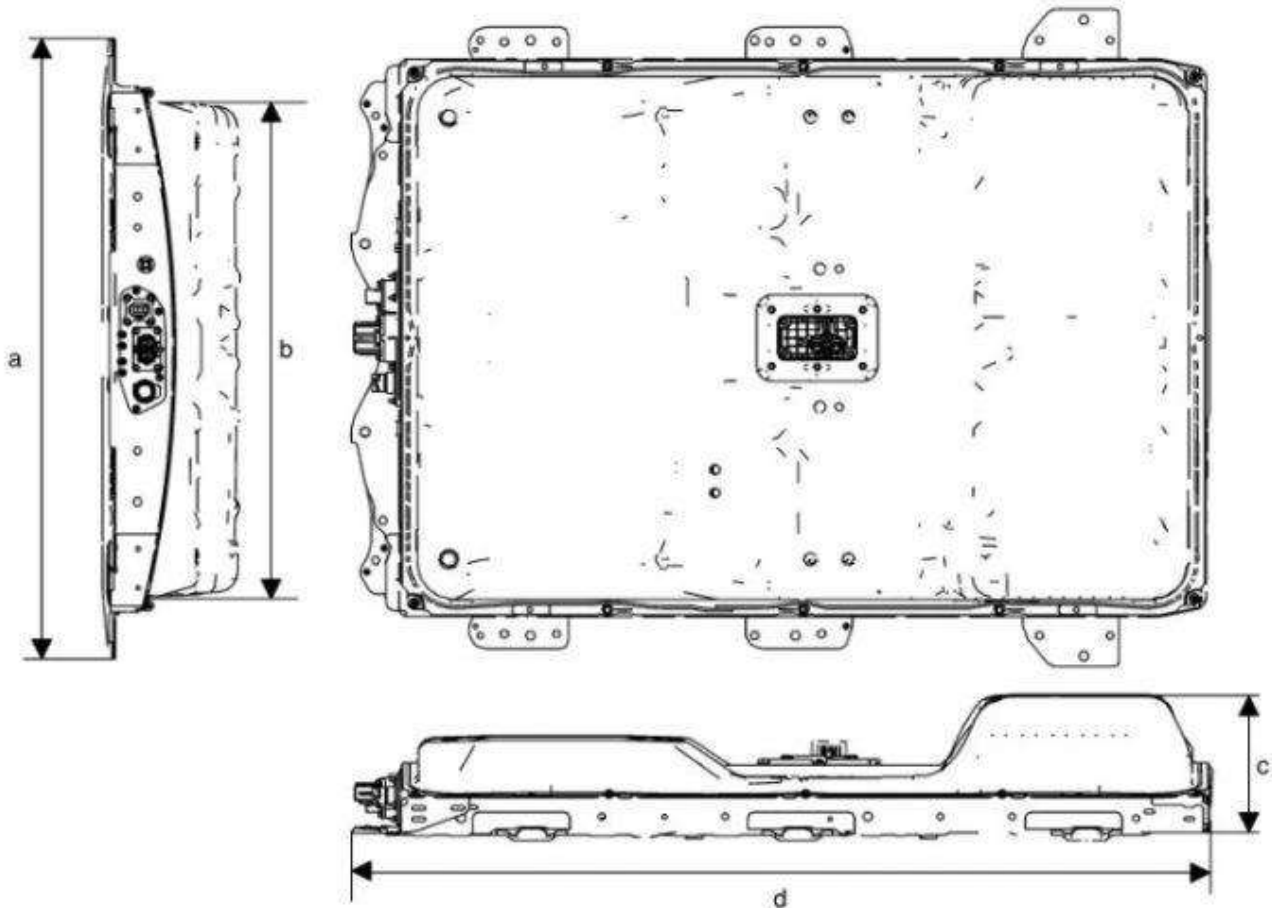


Рисунок 2 – Габаритні розміри тягової акумуляторної батареї

Газель 3302, можна зробити висновок, що в кузові розміщується 5 батарей, залишаючи при цьому додатковий вільний простір:

- вартість вживаних батарей: $5 \cdot 45\,000 = 225\,000$ грн;
- вартість нових батарей: $5 \cdot 210\,000 = 1\,050\,000$ грн;
- загальна ємність 5 вживаних батарей (60% від номінальної) $5 \cdot 14.4 = 72$ кВт·год;
- загальна ємність 5 нових батарей $5 \cdot 35 = 175$ кВт·год;
- співвідношення ємностей нових та вживаних батарей $175 / 72 = 2.4$;
- вартість Газель 3302 (2005 р.в.) 61 000 грн;
- підсумкова вартість мобільної зарядної станції (МЗС) на вживаних батареях 286 000 грн;
- підсумкова вартість МЗС на нових батареях 1 111 000 грн.

Для розрахунків вартості, використовувався середній ціновий діапазон в Україні.

Отже, використання вживаних акумуляторних батарей дозволяє знизити витрати у 3,88 раза порівняно з новими батареями, однак загальна енергоемність системи буде меншою у 2,4 раза.

Висновки

Мобільні зарядні станції (МЗС) є актуальним та перспективним рішенням для вторинного використання тягових акумуляторних батарей електромобілів. Їх застосування дозволяє не лише продовжити життєвий цикл акумуляторів, але й сприяє розвитку інфраструктури електротранспорту, підвищуючи доступність зарядних пунктів у місцях, де стаціонарні зарядні станції встановити складно або економічно недоцільно.

У цій роботі розглядається один із варіантів експлуатації МЗС, аналізуються переваги та недоліки такого підходу, а також проводиться економічний розрахунок ефективності їх використання. Серед основних переваг мобільних зарядних станцій можна виділити їхню мобільність, гнучкість у розміщенні та можливість швидкого реагування на зміну попиту на зарядні послуги. До недоліків належать обмежена ємність акумуляторного модуля, необхідність регулярного обслуговування та можливі втрати енергії при транспортуванні та перетворенні [8, 9].

Застосування МЗС суттєво розширює можливості використання електротранспорту, дозволяючи ефективніше організовувати зарядну інфраструктуру в містах, на автомагістралях та в сільській місцевості. Це сприяє підвищенню рівня комфорту для власників електромобілів, зменшенню навантаження на стаціонарні зарядні станції та розвитку екологічно чистого транспорту.

Література

1. Багач, Р.В. (2021). Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів. Міжнародна науково-практична конференція присвячена 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету "Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців" (рр. 346-349). Харків: ХНАДУ.
2. Багач, Р.В., & Кальченко, О.О. (2023). Перспективи та розвиток літєвих акумуляторів в Україні. Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 25–27 жовт. 2023 р. (с. 31–34). Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.
3. Багач, Р.В., Ященко, М.С. (2024). Літій-іоні батареї переваги, проблеми та утилізація. «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» Збірка матеріалів ІХ Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції (Харків, 21-22 листопада 2024 р.). Харків: ХНАДУ – С.38-40.
4. Латвинський, В. Д. Порівняльний аналіз характеристик тягових акумуляторів для сучасних електромобілів / В. Д. Латвинський, Р. В. Багач // Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт : Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції до Дня автомобіліста та дорожника, 22–23 жовт. 2024 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2024. – С. 267–271.
5. Багач, Р. В. Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму : дис. ... д-ра філософії : спец.

274 Автомобільний транспорт / Р. В. Багач ; Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2024. – 179 с.

6. Багач, Р. В., Ульянець, О. А., Stella Hadjistassou, Irina Ciornei, & Lenos Hadjidemetriou. Сучасні технології мобільних зарядних станцій для електромобілів // Збірка матеріалів VIII Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції. Харків: ХНАДУ, 2022. С. 56–59.

7. Багач, Р. В., Гнатов, А. В. (2024). Аналіз та дослідження основних типів зарядних станцій для електромобілів. Проблеми ресурсозбереження в промисловості та на транспорті : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 23–25 жовт. 2024 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова [та ін. ; редкол.: В. Х. Далека, Н. І. Кульбашна, О. В. Донець]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 137с. – С.20-23.

8. Hnatov, A., Arhun, S., Bagach, R., Hnatova, H., Tarasova, V., & Ruchka, O. (2021). Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. Vehicle and electronics. Innovative technologies, (20), 17-26.

9. Багач, Р. В. (2023). Використання зарядних станцій для електромобілів у Харківській області. Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2023, 323-327.

АВТОНОМНІ ПЕРЕНОСНІ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Гнатов Андрій Вікторович, докт. техн. наук, зав. каф. Автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: kalifus@khadi.kharkov.ua, ORCID: 0000-0003-0932-8849

Дорош Олег Володимирович, студент автомобільного факультету Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: ae121tdv@stud.khadi.kharkov.ua

Розвиток електромобілів вимагає вдосконалення систем електроживлення. Пропонується дослідити автономні переносні та альтернативні системи живлення для електромобілів, їх ефективність, технологічні особливості та перспективи використання [1-6].

Зростаюча популярність електромобілів спричиняє необхідність пошуку нових рішень для їх автономного живлення. Традиційна зарядна інфраструктура не завжди доступна, що вимагає розробки альтернативних джерел енергії.

Швидке розширення ринку електромобілів висуває підвищені вимоги до інфраструктури зарядних станцій, які часто є недостатньо розвиненими в окремих регіонах. Виникає потреба у створенні автономних переносних та альтернативних систем електроживлення, що дозволяють збільшити мобільність власників електромобілів і знизити залежність від стаціонарних зарядних

пристроїв. Використання таких систем також сприяє розвитку екологічно чистих технологій та підвищенню енергонезалежності транспорту [7–13].

Автономні переносні системи та альтернативні системи

Автономні переносні системи живлення забезпечують зарядку електромобілів у віддалених місцях або за відсутності стаціонарних зарядних станцій. До основних варіантів належать:

– переносні акумуляторні станції, рис. 1 – мобільні батареї великої ємності, які можуть забезпечити тимчасове живлення електромобіля;



Рисунок 1 – Переносні акумуляторні зарядні станції

– генератори на паливних елементах, рис. 2 – використовують водень або інші види палива для вироблення електроенергії;



Рисунок 2 – Генератор на паливних елементах
Honda Fuel Cell Power Generator

– гібридні модулі (сонячні панелі + акумулятор, рис. 3) – дозволяють заряджати транспортні засоби без використання зовнішньої мережі.

Крім традиційних зарядних станцій, існують альтернативні джерела енергії. Коротко перелічимо їх.



Рисунок 3 – Гібридний модуль автономної переносної системи живлення

Сонячні панелі на корпусі електромобіля, рис. 4 – забезпечують додатковий заряд акумулятора під час руху [14-21].



Рисунок 4 – Сонячні панелі на корпусі електромобіля

Індуктивне заряджання – безконтактний спосіб передачі енергії, що може використовуватись як під час стоянки, так і в русі.

Вітрові генератори – використовуються рідко, але можуть бути корисними в умовах постійного руху з достатньою швидкістю.

Порівняння ефективності автономних та альтернативних систем

Нище у вигляді таблиці приведемо Порівняння ефективності автономних та альтернативних систем, табл. 1

Таблиця 1 – Порівняння ефективності автономних та альтернативних систем

Тип системи	Переваги	Недоліки
Переносні акумулятори	Компактність, мобільність	Обмежена ємність
Генератори на паливних елементах	Висока ефективність, екологічність	Висока вартість та необхідність водню
Сонячні батареї на корпусі	Безкоштовне джерело енергії	Низька потужність
Індуктивне заряджання	Зручність, можливість зарядки під час руху	Високі енергетичні втрати

З урахуванням технологічного прогресу, очікується подальше вдосконалення автономних джерел живлення, зокрема:

- збільшення ємності акумуляторів при зменшенні їх ваги та розміру;
- вдосконалення водневих технологій;
- розширення можливостей безконтактної зарядки та її інтеграція в дорожню інфраструктуру.

Висновки

Автономні переносні та альтернативні системи електроживлення є важливими для розвитку електромобільного транспорту. Вони дозволяють зменшити залежність від стаціонарної зарядної інфраструктури та сприяють підвищенню мобільності електромобілів.

Розробка і впровадження автономних переносних та альтернативних систем електроживлення є критично важливими з кількох причин:

1. Енергетична незалежність: використання альтернативних джерел енергії знижує залежність електротранспорту від централізованих зарядних станцій;
2. Покращення доступності електротранспорту: автономні системи живлення дозволяють розширити географію використання електромобілів, забезпечуючи зарядку у віддалених районах;
3. Екологічні переваги: використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, зменшує викиди CO₂ та сприяє боротьбі зі змінами клімату;
4. Інноваційний розвиток транспортної галузі: дослідження автономних систем дозволяє вдосконалювати технології накопичення та передачі енергії, що позитивно впливає на розвиток електромобільного сектору;
5. Зменшення експлуатаційних витрат: автономні зарядні системи можуть значно скоротити витрати на паливо та обслуговування електротранспорту в довгостроковій перспективі.

Література

1. Аргун Щ.В. Екологічний та енергоефективний атомобільний транспорті його інфраструктура / Щ. В. Аргун, А. В. Гнатов, О.А. Ульянець // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2016. – № (77) 2. – С. 18–27.
2. Гнатов А. В. Енергогенеруюча плитка як альтернативне малопотужне джерело електричної енергії / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун // Автомобільний транспорт. – Х. : ХНАДУ. – 2017. – Вип. 40. – С. 167-172.
3. Гнатов А. В. Сонячна енергія – основні види та типи сонячних електростанцій / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, В.О. Череватий, О. А. Ульянець // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – Х.: ХНАДУ, 2017. – № 12. – С. 12-21.
4. Гнатов А. В. Аналіз схем сонячних електростанцій на фотоелектричних модулях для зарядних станцій електромобілів / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун // Автомобільний транспорт. – Х. : ХНАДУ. – 2017. – Вип. 41. – С. 163-169.
5. Гнатов А. В. Властивості та способи застосування п'єзоелектричних елементів, як генераторів електроенергії / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун // Автомобільний транспорт. – Х. : ХНАДУ. – 2017. – Вип. 41. – С. 178–187.
6. Hnatov A. Energy saving technologies for urban bus transport / A. Hnatov, Shch. Arhun, S. Ponikarovska // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2017. – №14(4). – P. 4649-4664. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>.
7. Hnatov A. ESTET – New innovative specialty for master students / A. Hnatov, Shch. Arhun, O. Ulyanets // Автомобільний транспорт. – Х. : ХНАДУ. – 2018. – Вип. 42. – С. 103-110.
8. Гнатов А. В. Вибір схеми технічного рішення енергогенеруючої сходинок / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, О. А. Дзюбенко // Вісник ХНАДУ. – 2018. – № 81. – С. 29-38. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2018.81.0.29>
9. S. Arhun, A. Hnatov, O. Dziubenko, S. Ponikarovska. A Device for Converting Kinetic Energy of Press into Electric Power as a Means of Energy Saving. J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 36, No. 1, pp. 105-110. January 2019. Doi:<http://doi.org/10.7736/KSPE.2019.36.1>.
10. 105. A. Patlins, A. Hnatov, S. Arhun, H. Hnatova, V. Migal. Study of Load Characteristics of Various Types of Silicon PV Panels for Sustainable Energy Efficient Road Pavement. Electrical, Control and Communication Engineering. 2019, vol. 15, no. 1, pp.30-38. DOI: <https://doi.org/10.2478/ecce-2019-0005>.
11. Аргун Щ.В. Енергогенеруюча плитка з електромашинним вузлом на базі крокових двигунів / Щ.В.Аргун, А.В. Гнатов, О.А. Дзюбенко, С.В. Понікаровська // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – №. 14 (1339). – С. 20 – 25.
12. Гнатов А. В., Аргун Щ. В. Гнатова Г. А, Тарасов К. С., Понікаровська С. В. Пристрій примусового зниження швидкості з функцією генерування електроенергії // Автомобільний транспорт. - Х.: ХНАДУ. 2019. Вип. 45. – С. 70-78. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2019.45.0.70>
13. Гнатов А. В., Аргун Щ. В. Гнатова Г. А, Тарасов К. С. Сонячна зарядна електростанція – комплекс для проведення лабораторних та практичних занять // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – Х.: ХНАДУ. – 2020. – Вип. 17. – С. 19-26. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2226-9266.2020.17.0.19>.

14. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A., Sokhin P.A. Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Автомобільний транспорт*, Вип. 49, 2021, С. 71-78. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2019-8342.2021.49.0.05>
15. Hnatov, A., & Arhun, S. (2022). Electric vehicles and energy-saving technologies – master’s degree program under the Erasmus project Cybphys. *Automobile Transport*, (51), 85–95. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2022.51.0.09>
16. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53). P.37-50. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05
17. Гнатов А. В., Аргун І. В., Сохін П. А., & Ульянець О. А. (2024) Дослідження автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. *Вісник ХНАДУ*, (104), 130–139. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.130.
18. Аргун, І., Гнатов, А., & Сохін, П. (2024). Ефективність енергогенеруючих плиток з різними типами мультиплікаторів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (25), 42–52. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2024.25.0.5>
19. Аргун І. В., Гнатов А. В., Дзадженко В.Я. 2024. Оптимізована система управління бустерною літій-залізо-фосфатною акумуляторною батареєю. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (26), 10 с. DOI: 10.30977/VEIT.2024.26.0.1
20. Багач Р.В., Гнатов А. В., Аргун І. В. 2024. Імітаційне моделювання зарядного контролера LTC4020 для літій-іонних акумуляторів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (26), 11 с. DOI: 10.30977/VEIT.2024.26.0.3
21. Arhun, S., Hnatov, A., Sokhin, P., & Kunicina, N. (2025). Autonomous Power Sources for Electric Vehicles and Their Charging Infrastructure. *Energy Storage*, 7(1), e70121. DOI: <https://doi.org/10.1002/est2.70121>

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОМОТОРНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Смирнов Олег Петрович, докт. техн. наук, професор каф. автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4881-9042

Борисенко Анна Олегівна, канд. техн. наук, доцент каф. автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: anutochka2111@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5992-8274

Інтеграція силових агрегатів із двома двигунами в електромобілі надає значні можливості для сприяння енергозбереженню та покращенню динамічних характеристик. Одномоторні одношвидкісні електричні транспортні засоби мають силову установку з достатньо високим загальним ККД, враховуючи, що ККД електричної машини та трансмісії може перевищувати 90 %. Однак така конфігурація трансмісії має деякі недоліки. Області низької ефективності

електричної машини зосереджені в основному в областях низького крутного моменту або низької швидкості. Тому електрична машина не може уникнути роботи в цих режимах, якщо цього вимагають умови водіння [1-6].

Основною мотивацією для використання двох тягових електричних машин у електричних транспортних засобах є можливість більш ефективного керування транспортним засобом і досягнення вищих динамічних характеристик порівняно з одним двигуном. У дослідженні [4] наведено загальні приклади роботи схем муфти моменту та швидкісної муфти (рис. 1).

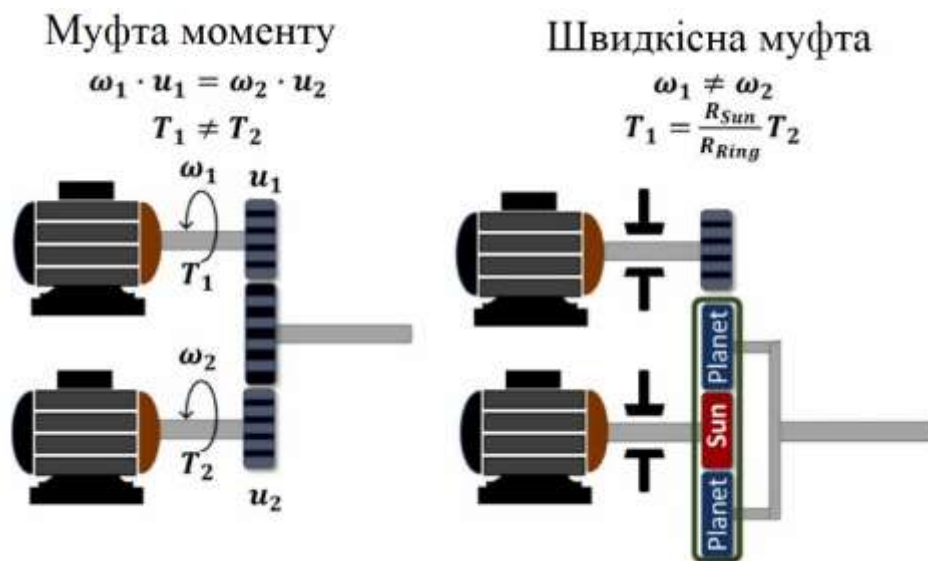


Рисунок 1 – Загальні приклади роботи схем муфти моменту та швидкісної муфти [4]

На рис. 1 швидкість позначена ω , передавальне число – u , крутний момент – T для кожної електричної машини відповідно. Радіуси сонячної (англ. Sun) та планетарної (англ. Planet) шестерень відносно центру сонячної шестерні представлені як R_{Sun} і R_{Ring} відповідно. Коли система керування подає команди для режиму водіння з подвійним двигуном, механічна трансмісія може поєднувати дві електричні машини двома способами: за допомогою муфти крутного моменту або муфти швидкості.

У першому способі (дивись рис. 1) крутний момент електричних машин можна підсумувати, якщо їх швидкості обертання пропорційні одна одній. Муфта крутного моменту покращує ефективність прискорення автомобіля на низькій швидкості порівняно з режимами водіння з одним двигуном. Муфта крутного моменту зазвичай використовує зубчасті пари для кожної електричної машини або планетарні коробки передач. Його недолік полягає в обмеженій кінцевій швидкості, яка визначається найменшою швидкістю обертання електричних машин.

У другому способі (дивись рис. 1) електричні машини можуть обертатися з різними швидкостями та досягати вищих швидкостей автомобіля, якщо їхній крутний момент пропорційний. Для режиму водіння на основі швидкісної муфти потрібна планетарна коробка передач, але в дослідженні [5] було продемонстровано, що її можна замінити муфтами, синхронізаторами та багатошвидкісними коробками передач. Однак при цьому електрична машина з найнижчим крутним моментом обмежує максимальний крутний момент.

На рис. 2 показаний характерний графік кривих максимального крутного моменту як функція швидкості автомобіля для електричних двигунів, швидкісної муфти, а також для режиму роботи змішаної муфти, яка досягається трансмісією, здатною комплексно виконувати режими руху муфти крутного моменту та муфти швидкості.

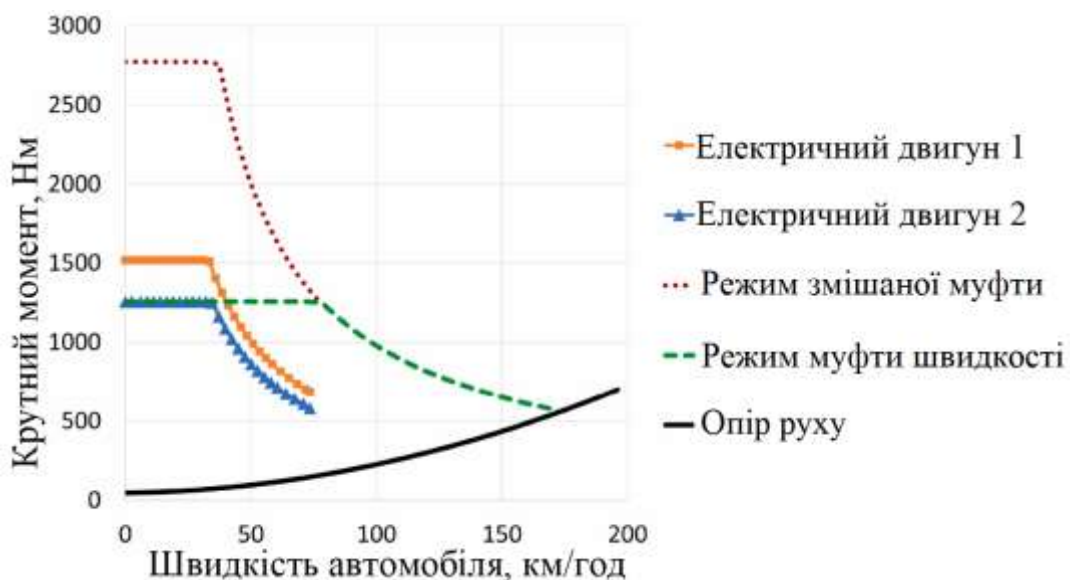


Рисунок 2 – Загальні криві максимального крутного моменту як функція швидкості автомобіля [4]

Досліджені схемні рішення побудови трансмісій, які найбільш часто використовуються у двомоторних електричних транспортних засобах, наведені на рис. 3 у вигляді узагальнених схематичних зображень.

Якщо у електромобіля одна ведуча вісь, то найбільш поширені три способи з'єднання електричних двигунів:

- за допомогою планетарної коробки передач (рис. 3, б);
- за допомогою паралельної трансмісії (рис. 3, в);
- за допомогою коаксіальної трансмісії (рис. 3, г).

Детермінована стратегія управління на основі правил є найбільш простим підходом, який може бути прийнятий для керування двомоторних електричних транспортних засобів.

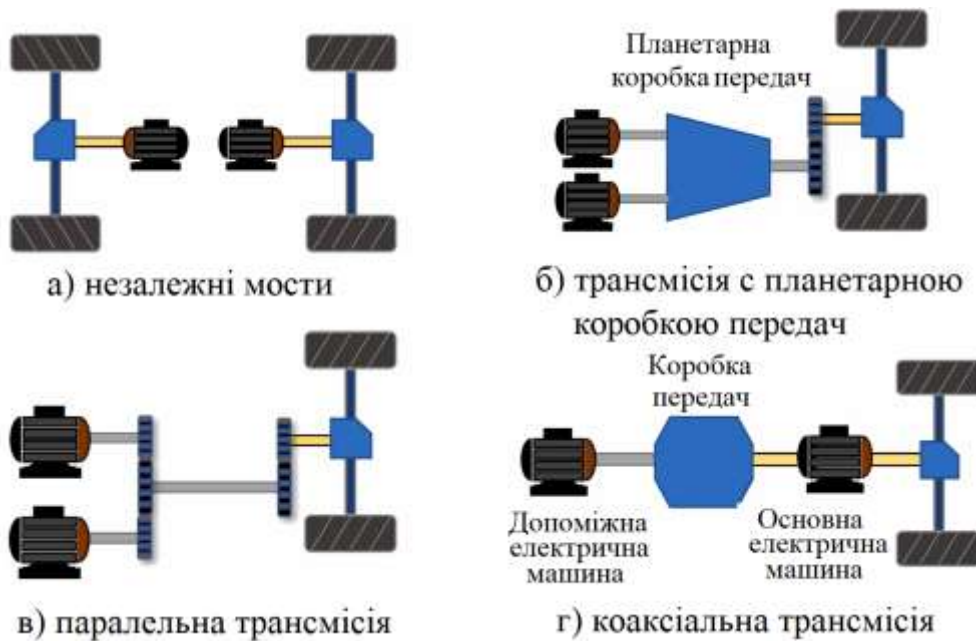


Рисунок 3 – Схемні рішення побудови трансмісій двомоторних електричних транспортних засобів [4]

Наприклад, для трансмісії з незалежним приводом осей (дивись рис. 3, а) можна запропонувати правило розподілу крутного моменту, згідно з яким передня електрична машина завжди задовольняє потреби водія у крутному моменті, поки не досягне максимального крутного моменту. У цьому випадку задній електричний двигун забезпечує додаткові потреби крутного моменту. Перевагами стратегії управління на основі правил є його проста методологія, легка реалізація, незалежність попередніх знань про цикл водіння. Однак це правило є надто спрощеним для ефективного застосування:

- по-перше, не враховуються інші обмеження, які мають обмежувати розподіл крутного моменту, такі як температура та стан заряду акумуляторної батареї для обмеження максимальної вихідної потужності батареї;
- по-друге, розподіл крутного моменту можна більш ефективно розподіляти на основі аналізу ефективності трансмісії для кожної можливої комбінації швидкості та крутного моменту та знаходить коефіцієнт розподілу крутного моменту, який забезпечує найвищий ККД електромобіля.

Загальноприйнятою практикою визначення оптимальних коефіцієнтів розподілу потужності між двома електричними двигунами є використання їх карт ефективності. Ця методологія одночасно покращує ефективність трансмісії та обчислювальної обробки. Тим не менш, стратегія управління на основі правил виключно на основі карт ефективності є надмірним спрощенням для практичного застосування. Цей метод не охоплює обмеження трансмісії, які можуть змінюватися протягом циклу водіння, наприклад, зчеплення шини з дорогою і температурою акумуляторної батареї та електричних машин. У

практичному сценарії стан заряду акумуляторної батареї або її температура стають значущими параметром трансмісії, оскільки вони визначають максимальну доступну потужність від батареї та, як наслідок, електроживлення електричних машин.

Крім найвідоміших методів керування енергією, що базуються на правилах або на основі оптимізації, використовуються системи управління, що засновані на навчанні з підкріпленням, які реалізують майже оптимальну реалізацію в реальному часі та високу адаптивність до нових, непередбачених циклів руху.

Висновки

Двомоторні електричні транспортні засоби є сучасною технологією на ринку електромобілів. Вони мають потенціал для досягнення більшої економії енергії та динамічних характеристик порівняно з одномоторними. Однак для досягнення цих переваг потрібна більш складна та надійна система управління енергією.

Незважаючи на кілька досліджень [1-6], які повідомляють про кращу енергоефективність двомоторних електромобілів в порівнянні з електромобілями з одним двигуном, виявлялося, що двомоторні електромобілі мають нижчий розрахунковий запас ходу порівняно з їх аналогами з одним двигуном. Крім того, при проектуванні двомоторних електромобілів треба враховувати наступні аспекти: збільшення вартості виробництва, складність системи керування, неможливість проектування оптимізованих електричних машин для кожної моделі.

Нарешті, технології автономного водіння та підключених транспортних засобів виявилися потужними засобами підвищення безпеки, енергоефективності та довговічності електромобілів. Тим не менш, дослідження щодо їх застосування в двомоторних електромобілях все ще рідкісні.

Література

1. Xu, Y., Ingelström, P., Kersten, A., Andersson, A., Klacar, S., George, S., & Sedarsky, D. (2024). Improving powertrain efficiency through torque modulation techniques in single and dual motor electric vehicles. *Transportation Engineering*, 18, 100289. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100289>
2. Tian, Y., Wang, Z., Ji, X., Ma, L., Zhang, L., Hong, X., & Zhang, N. (2023). A concept dual-motor powertrain for battery electric vehicles: Principle, modeling and mode-shift. *Mechanism and Machine Theory*, 185, 105330. <https://doi.org/10.1016/j.mechmach-theory.2023.105330>
3. Cao, K., Hu, M., Chen, L., Zhao, J., & Xiao, Z. (2024). Research on optimal economic dynamic torque distribution strategy for dual-motor four-wheel-drive considering voltage variation of power battery. *Journal of Energy Storage*, 86, 111006. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111006>

4. Louback, E., Biswas, A., Machado, F., & Emadi, A. (2024). A review of the design process of energy management systems for dual-motor battery electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 193, 114293. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114293>
5. Lin, X., Li, Y., & Zhang, G. (2022). Bi-objective optimization strategy of energy consumption and shift shock based driving cycle-aware bias coefficients for a novel dual-motor electric vehicle. *Energy*, 249, 123596. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123596>
6. Hu, M., Chen, S., & Zeng, J. (2018). Control Strategy for the Mode Switch of a Novel Dual-Motor Coupling Powertrain. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(3), 2001–2013. <https://doi.org/10.1109/tvt.2017.2769127>

УДК 621.43

АВТОМОБІЛІ З ДВИГУНАМИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЩЕ ДОВГО БУДУТЬ ІСНУВАТИ НА ЄВРОПЕЙСКОМУ КОНТИНЕНТІ

Бганцев Валерій Микитович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, Інститут енергетичних машин і систем НАН України, Харків, e-mail: bgancev_vn@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0661-1040

Рішення про заборону виробництва нових автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) було прийнято в Європарламенті 14 лютого 2023 року. І вже з березня 2023 р. в Європі припинили розробку нових ДВЗ. Всі інвестування та інженерні розробки було зорієнтовано на електричні та водневі силові установки. В останні роки автовиробники інвестували сотні мільярдів в розробку нових електромобілів та інфраструктури. Фірми Volvo, Ford та Audi стали представниками тих, хто декларував кінцеві дати завершення виробництва будь-яких моделей автомобілів, окрім електромобілів. При цьому законодавство ЄС за викидами не повинно диктувати, як виробники автомобілів досягнуть цільового показника нульових викидів в 2035 році [1]. За деякими обставинами попит на електромобілі дещо знизився, тоді як інтерес до гібридів значно зріс. Менеджер по довгостроковому плануванню та стратегії Kia Motors America сказав, що гібриди з їх відмінною ефективністю і низькою вартістю пропонують споживачам чудову перспективу, яка не викликає хвилювання відносно запасу ходу і дозволяє подолати розрив між ДВЗ та електротягою. В першому кварталі 2024 року на гібриди приходилось близько 8,4% загального ринку автомобілів. Створення електромобілів також значно вище за ціною у зрівнянні з ДВЗ та гібридами [2].

В Кіа вважають, що гібриди – не загроза для електромобілів, а "ідеальний шлях до електрифікації". Спротивом рішення придбання електромобілів, на першому місці буде ціна, а потім запас ходу та зарядна інфраструктура.

На сьогодні у світі виробляється 3,5 мільйони електромобілів на рік і 66,5 мільйонів автомобілів з ДВЗ. Пройде ще багато десятиліть поки автомобілі з ДВЗ зникнуть. Заміна ДВЗ – електродвигун, що працює на водневих паливних елементах. Головний фінансовий директор Porsche Лутце Мешке виразив сумніви, що Європі вдасться ввести заборону на автомобілі з ДВЗ до 2030 року і повністю перейти на електрокари [3]. Що стосується "палива" для електромобілів. Згідно з даними лютого 2025 р. вартість електроенергії в середньому по Європі 0,101€/кВт.год.(4,41грн./кВт.год.). На сьогодні ціна електроенергії зросла до 9,74 грн./кВт.год. Ціна водню у Європі знаходиться у межах від 5 до 10 \$/кг. Вартість водню залишається вищою за очікувану.

В 2024 р. сталася відмова від ряду проектів з вироблення "зеленого" водню, тому що не виправдились очікування щодо різкого падіння витрат. Водень, вироблений з природного газу, у 4 рази нижчий за ціною "зеленого" водню. У багатьох виробників електромобілів викликає побоювання щодо нестачі інфраструктури зарядних станцій, а також складностей у створенні мережі електростанцій. Глобальні проблеми електромобілів до 2023 року показали ознаки стогнації. Необхідна більш ефективна підтримка інфраструктури для успішної електрифікації автопарка.

Електромобілі у Європі почнуть витісняти з загальної кількості автомобілів з ДВЗ. Останні будуть або утилізувати, або продавати в інші країни, в яких другорядне ставлення до електромобілів і де нема водневої інфраструктури. Серед таких країн може опинитися і Україна, якщо на той час не буде вирішене питання її присутності в Євросоюзі.

Висновки

У роботі вирішені наступні науково-практичні задачі.

Проаналізовано перспективи переходу Євросоюзу до 2035 року на електромобілі і заборону випуску автомобілів з новими ДВЗ з 2023 року.

Література

1. 24 канал [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://auto.24tv.ua>.
2. Itc. ua/news/v-kia [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://itc.ua>.
3. Porsche возвращается к ДВС... [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ioniti.ua>.
4. Скільки коштує електроенергія в Європі... [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gmk.center>.

УДК 629.083

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРА В КОНСТРУКЦІЯХ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛІВ

Федоровський Аркадій Сергійович, здобувач вищої освіти (бакалавр),
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»,
e-mail: a.s.fedorovskiy@student.khai.edu

Болдовський Володимир Миколайович, канд. техн. наук,
доцент кафедри Автомобілів та транспортної інфраструктури,
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»,
e-mail: v.boldovskiy@khai.edu, ORCID: 0009-0008-5069-756X

Сучасні тенденції розвитку автомобільної промисловості спрямовані на підвищення енергоефективності, зменшення витрат палива, зниження викидів шкідливих речовин та покращення експлуатаційних характеристик транспортних засобів. В Україні для виконання Національної транспортної стратегії на період до 2030 року проводяться різні заходи, одним з яких є використання сучасних автомобілів, що відповідають всім економічним та екологічним вимогам [1].

Одним із перспективних напрямів у виробництві автомобілів є все більше впровадження Інтегрованого стартер-генератора (ІСГ) або його міжнародна назва Integrated starter-generator (ISG), який поєднує функції стартера та генератора, забезпечуючи ефективний баланс між виробництвом і споживанням електроенергії, що використовується для роботи всіх електронних та електричних систем автомобіля.

ІСГ сприяє покращенню роботи силового агрегату автомобіля, зокрема шляхом впровадження системи «старт-стоп», яка зменшує витрату палива та рівень викидів CO₂, в результаті чого при експлуатації автомобілів зменшується забруднюючий вплив на навколишнє середовище.

Щодо інших переваг від використання стартер-генератора то, він забезпечує можливість рекуперативного гальмування, що дозволяє повертати частину кінетичної енергії для підзаряджання акумуляторної батареї, підвищуючи таким чином загальну ефективність енергоспоживання. Завдяки цим функціям ІСГ відіграє ключову роль у розширенні технологій «м'яких» гібридів (Mild Hybrid) та покращенні динамічних характеристик традиційних автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Більшість автовиробників в модельному ряді автомобілів мають гібридні автомобілі, які в своїй конструкції оснащені стартер-генератором. Одним з

приладів є компанія Mercedes-Benz, яка виготовляє автомобілі, що оснащені інтегрованим стартер-генератором (рис. 1) [2].

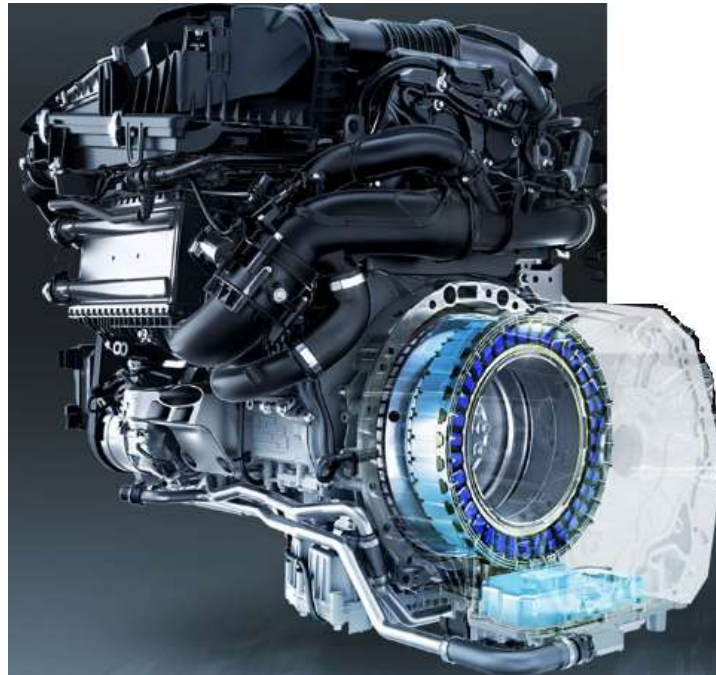


Рисунок 1 – Загальний вигляд двигуна внутрішнього згоряння з інтегрованим стартер-генератором автомобіля Mercedes-Benz

Конструктивно ІСГ може бути інтегрований у транспортні засоби за різними схемами: ремінний привід (P0), безпосереднє з'єднання з колінчастим валом (P1), розміщення між двигуном і трансмісією (P2, P3) або інтеграція у ведучий міст (P4). Вибір архітектури визначається особливостями конструкції автомобіля та вимогами до продуктивності силової установки.

Подальший розвиток ІСГ пов'язаний із використанням новітніх напівпровідникових технологій, зокрема силової електроніки на основі карбіду кремнію (SiC), що сприяє підвищенню ефективності перетворення енергії. Крім того, перспективними є високовольтні ІСГ (48–800 В), які дозволяють зменшити електричні втрати та підвищити загальний коефіцієнт корисної дії системи [3].

Отже, впровадження інтегрованого стартер-генератора у конструкціях сучасних автомобілів сприятиме зменшенню споживання палива, покращенню ефективності електроприводу та екологічних характеристик, що є важливим кроком у напрямку електрифікації транспортних засобів.

Висновки

У роботі виконано аналіз сучасних конструкцій автомобілів, що обладнані стартер-генераторами. Обґрунтовано важливість і переваги збільшення кількості автомобілів, обладнаних стартер-генераторами.

Література

1. Розпорядження Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Документ 430-2018-р. Редакція від 07.04.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 01.03.2025).
2. Mercedes-Benz інтегрує стартер-генератор в кожен модель <https://mercedes-benz-kyiv.com/e-class-2020-holovni-sekrety-prezentatsiyi-1942> (дата звернення: 01.03.2025).
3. A Guide to the Hybrid Integrated Starter-Generator in Mercedes-Benz Engines <https://www.arrowheadmb.com/clp-a-guide-to-the-hybrid-integrated-starter-generator-in-mercedes-benz-engines> (дата звернення: 01.03.2025).

УДК: 621.039.8:004.42

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЯХ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ: ПРОБЛЕМАТИКА, МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ

Мешков Денис Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри ДтаГЕУ, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: denys.meshkov@khpi.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9114-9868

Анотація. Зростання енергетичної щільності сучасних акумуляторів супроводжується інтенсивним виділенням теплової енергії під час циклічних режимів зарядження та розрядження, що негативно впливає на хімічну стабільність і тривалість експлуатації елементів батареї [1-3]. У статті розглядаються основні фізичні механізми теплових процесів, порівнюються технології різних типів акумуляторів (літій-іонних, нікель-металгідридних, літій-залізо-фосфатних) та аналізуються сучасні підходи до моделювання – від аналітичних розрахунків до високоточних чисельних методів, таких як метод кінцевих елементів (FEM) і Computational Fluid Dynamics (CFD). Комплексний підхід, запропонований у роботі, створює основу для розробки адаптивних систем теплового управління, що забезпечують безпечну та ефективну роботу акумуляторних систем гібридних транспортних засобів.

Ключові слова: гібридні автомобілі, акумуляторні батареї, теплові процеси, FEM, CFD, моделювання, оптимізація охолодження.

Вступ

Сучасні гібридні автомобілі все більше покладаються на високоефективні акумуляторні системи, що, однак, супроводжується зростанням теплових навантажень під час експлуатації. Порушення оптимального температурного

режиму може призвести до передчасного старіння батареї, збільшення ризику термічного розгону та зниження загальної ефективності.

Отже, розробка точних моделей теплових процесів є ключовим завданням для підвищення надійності систем охолодження та продовження терміну служби акумуляторів.

Фізичні механізми та огляд технологій

Основними джерелами тепла в акумуляторах є:

- Ефект Джоуля: Виникає при проходженні струму через внутрішній опір елементів, що спричиняє перетворення частини електричної енергії у тепло [4-5].
- Екзотермічні реакції: Хімічні процеси, що супроводжують зарядження та розрядження, також виділяють тепло.

Тепло відводиться за рахунок трьох основних механізмів: теплопровідності, конвекції та випромінювання [6]. У статті проведено порівняння різних типів акумуляторів, зокрема літій-іонних, нікель-металгідридних (NiMH) та літій-залізо-фосфатних (LiFePO₄), де розглянуто їх особливості та теплові характеристики, що визначають необхідність застосування для них спеціалізованих систем підтримання необхідного температурного стану.

Методики моделювання теплових процесів

Методики моделювання теплових процесів в акумуляторних батареях гібридних автомобілів розвинулися до високоточного інструменту аналізу, що дозволяє враховувати як спрощені, так і надскладні реальні умови експлуатації. Основою для початкового аналізу є аналітичні моделі, які будуються на базі рівнянь теплопровідності та методів розділення змінних, що дає змогу отримувати приблизні оцінки температурного розподілу при ідеалізованих умовах. Хоча цей підхід дозволяє швидко визначити базову картину теплового поля, його застосування обмежується припущеннями про лінійність процесів та однорідність матеріалів, що не завжди відповідає реаліям роботи батарейних систем.

Для отримання більш детальних даних використовуються чисельні методи, зокрема метод кінцевих елементів (FEM) та Computational Fluid Dynamics (CFD). Ці підходи дозволяють враховувати складну геометрію батарейних модулів, нелінійні властивості матеріалів та змінні умови навантаження, що спричиняють локальні аномалії в температурному полі. Метод CFD дозволяє моделювати конвективні потоки охолоджуючої рідини або повітря. Крім того, застосування теплових мережевих моделей дозволяє розраховувати температурний режим в режимі реального часу, що є надзвичайно важливим для інтеграції у системи контролю та управління акумуляторними модулями.

Окремо варто відзначити мультифізичне моделювання, яке інтегрує електричні, хімічні, механічні та теплові процеси в єдину розрахункову схему. Такий підхід дозволяє отримати найбільш повну картину поведінки батарейної системи. Наприклад, сучасні платформи, такі як COMSOL Multiphysics та ANSYS, використовуються для побудови таких інтегрованих моделей, що сприяє оптимізації конструктивних рішень та підвищенню ефективності систем охолодження.

Експериментальна ідентифікація та калібрування моделей

Для забезпечення достовірності розроблених моделей моделювання теплових процесів необхідна комплексна експериментальна ідентифікація, що здійснюється за допомогою методів збору даних. Одним із ключових інструментів є тепловізійна зйомка, яка дозволяє отримувати детальні зображення температурного розподілу на поверхні батарейних модулів з високою роздільною здатністю. Завдяки цьому методу можливо виявити локальні точки температурного перевантаження, оцінити ефективність роботи систем охолодження та зробити висновки про характер розподілу теплової енергії.

Додатково, впровадження вбудованих температурних датчиків у критичних зонах батарейної системи дає змогу отримувати безперервні дані вимірювання температури, що є необхідним для порівняння експериментальних даних з розрахунковими моделями. Лабораторні дослідження, які проводяться в умовах, максимально наближених до реальних режимів експлуатації, а також польові випробування на гібридних транспортних засобах, забезпечують збирання великого обсягу даних, що дозволяє проводити ідентифікацію моделей. Використання методів статистичного аналізу, зокрема розрахунку середньоквадратичної помилки та коефіцієнтів кореляції, дозволяє об'єктивно оцінити якість моделі та визначити ті області, які потребують подальшої оптимізації. Цей комплексний підхід, який включає інтеграцію експериментальних даних і чисельних розрахунків, є ключовим для розробки адаптивних систем управління температурним режимом, здатних швидко реагувати на зміни умов експлуатації та забезпечувати підвищену безпеку й ефективність роботи акумуляторних систем. Завдяки цьому підходу можливо досягти значного зниження похибок прогнозування, що є критично важливим для подальшої оптимізації конструктивних рішень у сфері гібридних технологій.

Основні проблеми та перспективи розвитку

Незважаючи на досягнутий прогрес у моделюванні теплових процесів в акумуляторних батареях гібридних автомобілів, існує ряд проблем, що потребують подальшого вирішення. По-перше, складна конструкція батарейних модулів, що характеризується використанням багатокомпонентних матеріалів з

різними теплоємкісними та теплопровідними властивостями, створює умови для нерівномірного розподілу теплової енергії. Більш того, неоднорідність матеріалів ускладнює точне задання граничних умов, оскільки реальні експлуатаційні параметри часто значно відрізняються від ідеалізованих умов, прийнятих у лабораторних дослідженнях.

По-друге, аналітичні моделі, які використовуються на початкових етапах розробки, обов'язково включають численні спрощення, що не дозволяє адекватно врахувати всі нелінійні ефекти та швидкі динамічні переходи, характерні для роботи акумуляторних систем. Це створює певні обмеження щодо точності прогнозів і змушує дослідників звертатися до чисельних методів, таких як FEM та CFD, які, однак, мають високі обчислювальні витрати та потребують значних ресурсів для розв'язання задач з високою деталізацією.

Перспективними напрямками подальших досліджень є інтеграція алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації процесу калібрування моделей. Такі алгоритми дозволяють проводити аналіз великих масивів експериментальних даних, оптимізувати параметри розрахункових моделей та адаптувати їх до змінних умов експлуатації. Розробка нових матеріалів з покращеними тепловими характеристиками, таких як графенові композити або інші нанокompозити, може сприяти рівномірнішому розподілу тепла та зниженню ризику локальних перегрівів у батарейних модулях.

Отже, основні виклики, пов'язані з моделюванням теплових процесів, зумовлені як складністю конструкції та неоднорідністю матеріалів, так і обмеженнями застосовуваних математичних моделей та високими вимогами до обчислювальних ресурсів.

Подолання цих проблем вимагає комплексного підходу, що поєднує передові чисельні методи, адаптивні алгоритми оптимізації та глибоку експериментальну перевірку. Реалізація зазначених напрямків сприятиме створенню більш точних і надійних моделей, здатних передбачити динаміку температурного режиму акумуляторних систем у реальних умовах, що є важливим внеском у розвиток технологій гібридних автомобілів.

Висновки

Комплексний підхід до моделювання теплових процесів в акумуляторних батареях гібридних автомобілів є критично важливим для підвищення їх надійності, безпеки та ефективності. Поєднання експериментальних даних із високоточними чисельними методами відкриває можливості для розробки адаптивних систем охолодження, здатних швидко реагувати на зміну умов експлуатації. Це, у свою чергу, сприятиме подальшому розвитку гібридних технологій та підвищенню конкурентоспроможності сучасного автомобільного ринку.

Література

1. Nguyen, T., Li, X., Petrova, M., & Smith, R. (2024). Recent Advances in Thermal Management for Hybrid Vehicle Battery Systems: A Comprehensive Review. *Applied Thermal Engineering*, 225, 117–130.
2. Singh, A., Chen, L., Zhao, Y., & Ivanov, D. (2024). Advances in Nickel-Metal Hydride Battery Design for Enhanced Thermal Stability in Hybrid Electric Vehicles. *Journal of Power Sources*, 520, 230–245.
3. Kim, S., Park, J., & Lee, D. (2024). Innovations in Thermal Management of Lithium Iron Phosphate Batteries for Hybrid Electric Vehicles. *Journal of Power Sources*, 550, 189–205.
4. Zhang, Y., Kumar, A., & Garcia, M. (2024). Advanced Computational Models for Thermal Management in Battery Systems: An Integrated Approach. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 71(4), 1234–1246.
5. Wang, L., Gupta, R., & Roberts, P. (2024). Emerging Strategies for Mitigating Thermal Runaway in Lithium-Ion Batteries: A Comprehensive Review. *Journal of Power Sources*, 565, 300–315.
6. Li, X., Huang, Z., & Patel, S. (2024). CFD Simulation of Integrated Battery Cooling Systems in Hybrid Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 73(2), 987–1001.

УДК 621

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СУЧАСНИХ ГАЗОДІЗІЛІВ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНИХ ЗАСОБІВ

Манойло Володимир Максимович докт. техн. наук, проф., Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: volodimir.m.manoylo@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2208-4404

Козлов Юрій Юрійович, молодший науковий співробітник Харківська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого: <https://orcid.org/0000-0002-3546-0010>

Гончаров Сергій Володимирович., аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: sergeygoncharov1511@gmail.com

Шулаєв Максим Євгенович, аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: vega.asphalt2020@gmail.com

Стрижак Глеб Олександрович, магістр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: glebstrijak2003@gmail.com

Гончаров Михайло Дмитрович, бакалавр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: mihailgoncarov41@gmail.com

Актуальність теми дослідження. Постійне підвищення потреби у дизельному паливі та суттєве його подорожчання в останні роки призводять до необхідності переведення автотракторних засобів на альтернативні види палива, а саме на стислий і зріджений природний газ.

Одночасно з конвертацією дизеля в газодизель (ГД), паралельно розроблено концепцію сучасного газодизельного двигуна з апаратурою нового покоління, що здійснюється на базі електронної системи керування [1]. У її основу покладено низку відомих положень та технічних рішень розроблених за аналогією із системою "Blue Power Diesel" [2].

Конструктивні особливості газодизельних транспортних засобів значною мірою визначають ефективність застосування КПП та СПГ (компримованого або стиснутого природного газу).

Поетапне використання найбільш досконалих модифікацій ГБА (газобалонного обладнання) в експлуатацію, як по лінії створення нових, так і шляхом переобладнання автомобілів, що експлуатуються. У світовій практиці промислове виробництво газобалонних автомобілів для роботи на КПП та СПГ є провідною концепцією сучасного автомобілебудування.

Важливим напрямом залишається переобладнання в експлуатації базових автомобілів на газобалонні транспортні засоби.

Вітчизняна газова апаратура має низку оригінальних технічних рішень (на прикладі системи живлення газодизеля трактора ХТЗ-150К-25), розробленої та реалізованої в експлуатацію спільно з провідними фірмами MAN, Volvo та ін. [3–8].

До переваг газу як моторного палива перед дизельним можна віднести:

- найкраще сумішоутворення, відсутність рідких фракцій у суміші, що надходять у циліндр, та зниження зносу рухомих деталей двигуна;
- велике значення має також менший вміст шкідливих речовин, котрі негативно впливають на людей, в якості хімічних складових у продуктах згоряння ДВЗ [2]; поліпшення відбувається за рахунок застосування електронної системи управління газодизельним двигуном.

Об'єктом дослідження: є дизельний з наддуванням двигун 4ДТН, котрий можна застосовувати на автотракторному мобільному енергетичному засобі (МЕЗ), конвертованого у газодизель 4ЧГ 8,8/8,2.

Предметом дослідження: є вплив на техніко-економічні характеристик газодизеля з газотурбінним наддувом для МЕЗ при частковому заміщенні дизельного палива природним газом.

Мета роботи: підвищення ефективності експлуатації і техніко-економічних показників МЕЗ шляхом застосування електронної системи живлення газодизельного двигуна.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- теоретично обґрунтувати склад комбінованої горючої суміші для газодизельного двигуна МЕЗ

- розробити електронну паливо-утворювальну систему газодизельного двигуна з комбінованим сумішоутворенням;
- експериментально встановити закономірності зміни енергетичних показників газодизельного двигуна від параметрів складу комбінованої горючої суміші.

Висновки

Виконані аналітичні дослідження створили передумови для подальшого вдосконалення та підвищення ефективності використання газового палива у газодизельному робочому процесі із забезпеченням збереження техніко-економічних показників у всьому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів шляхом конвертації тракторного ДВЗ в газодизель з комбінованим сумішоутворенням.

Електронну систему живлення для газодизеля трактора ХТЗ-150К-25 адаптувати для газодизеля 4ЧГ 8,8/8,2 міні автомобіля категорії N1 до 3,2 тони.

Литература

1. <http://gas-energy-blue-power.Ua/informatsiya/106-gazodizel-blue-power>.
2. Двох-паливна система Genesis Edge Dual-Fuel на вантажних автомобілях Volvo (Classic) FM460/FH460. Система Genesis Edge Dual-Fuel. С. 1–44.
3. Електронний ресурс. Volvo Diesel CGN Training.
4. Електронний ресурс. www.elpigaz.com.ELPIGAZ Automotive. Gdansk.
5. Система живлення на природному газі Eco Fuel в Touran и Caddy. Service Training. Програма по самонавчанню 373. "Volkswaden Group Academy" twipx.com.file74755, 2009. № 373. 49 с.
6. Електронний ресурс. www.dymco1.en.ec21.com (Даимко, Східна Корея): Прспекти фірми DYMCO (Даимко, Східна Корея).
7. Ерохов В.І., Іванов С.П. Перспективи використання природного газу на автомобільному транспорті. Журнал Автошляховик України. 1981. № 2. С. 21–23.
8. Електронний ресурс. www.2a.com.tr. "Bravo".

УДК 621

ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО РЕДУКТОРА В СИСТЕМІ ЖИВЛЕННЯ БЕНЗО-ГАЗОВОГО ДВИГУНА АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Манойло Володимир Максимович, докт. техн. наук, проф.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: volodimir.m.manoylo@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2208-4404
Макаренко Микола Григорович, доцент каф. «Трактори і автомобілі»,
Державний біотехнологічний університет,
e-mail: mak_nk@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4078-9045

Гончаров Сергій Володимирович., аспірант, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: sergeygoncharov1511@gmail.com

Шулаєв Максим Євгенович, аспірант, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: vega.asphalt2020@gmail.com

Магазейщиков Павло Андрійович, бакалавр, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: pahanmagaz@gmail.com

Старушко Богдан Вікторович, бакалавр, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail bogdanstarushko23@gmail.com

Актуальність теми дослідження. Постійне посилення вимог Євро, змушує фахівців цієї галузі безперервно вдосконалювати газові системи.

На теперішній час в нашій країні набули широкого розповсюдження газові системи живлення 4-го покоління [1–4], переважно іноземного виробництва. Використовуючи на початковому етапі зарубіжні системи живлення, можна отримувати високі техніко-економічні та екологічні показники робочого процесу ДВЗ автотранспортних засобах (АТЗ), що дозволяють надалі перейти на виробництво вітчизняних систем.

Головним конструктивним вузлом у газових системах живлення ДВЗ з електронним керуванням є комплект електромагнітних дозаторів газу (ЕДГ). Однак його робота не можлива без одночасної, узгодженої та надійної роботи газового редуктора.

Тому дана робота спрямована, по-перше, на вивчення особливостей конструкції та принципу дії вузлів газових редукторів систем живлення автотракторних двигунів. Газові редуктори є невід'ємною частиною систем живлення та працюють у поєднанні (у парі) з ЕДГ і від них залежить ефективна, надійна та узгоджена робота самого дозатора, а також силового агрегату транспортного засобу в цілому. По-друге, робота спрямована на вибір найбільш відповідного (раціонального) до адаптації типу редуктора, витратні

характеристики якого будуть узгоджені з гідравлічними потребами бензо-газового двигуна в широкому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимах роботи автотранспортного засобу.

Основним призначенням редуктора, у схемі системи живлення двигуна, є забезпечення постійного тиску і заданої витрати (продуктивності) робочого тіла, що подається в газову рампу вузла, та дозує паливо, в широкому діапазоні зміни швидкісних і навантажувальних режимів роботи ДВЗ. При цьому падіння тиску робочого тіла (РТ) на виході з редуктора та вході в газову рампу при роботі ДВЗ повинно бути мінімальним.

Розробкою, виготовленням та вдосконаленням газобалонного обладнання безперервно ведеться досить великою кількістю провідних зарубіжних фірм [6].

А саме, польською фірмою «ELPIGAZ» [1] запропоновані нові технічні рішення в галузі адаптації АТЗ для роботи на природний газ, які представлені серією редукторів C300, що випускаються польською фірмою «EMER». Ці редуктори знайшли застосування на легкових автомобілях та автобусах.

Компанією OMVL [2] (Польща) пропонуються системи живлення котрі працюють на природному газі, а також виготовляються системи для переведення двигунів з бензину на стислий природний газ (CNG) або скраплений газ (LPG). Система послідовного впорскування газу компанії Prins [3] (Нідерланди) може бути використана як під пропан-бутан, так і для роботи на метані. Газодизельна система Prins Diesel дозволяє перетворювати дизельні двигуни (у вантажівках) у двох паливні ДВЗ шляхом заміни певної кількості дизельного палива на зріджений нафтовий газ, стиснутий природний газ або біогаз.

Італійська компанія BRC Gas Equipment [4] спеціалізується на виробництві компонентів і систем для зрідженого нафтового газу (LPG) та метану (CNG), продукція якої використовується на легкових автомобілях.

Для адаптації на вітчизняні ДВЗ цікавими є механічні газові редуктори фірм BRC і Tomazetto [5] (Італія). Фірмами розроблені наступні модифікації газових редукторів: Тесно, АТ90ЕСО, АТ90ЕР та Tomazetto. Над деякими з них за допомогою безмоторних стендів [7, 8], розробленими фахівцями ХНАДУ, було проведено експериментальні дослідження [9].

Конструктивні особливості бензо-газових ДВЗ для транспортних засобів значною мірою визначають ефективність застосування, як КПП так і СПГ (компромованого або стиснутого природного газу).

У світовій практиці промислове виробництво газобалонних автомобілів для роботи на зрідженому природному газі (ЗПГ) та стиснутому вуглеводневому газі (СУГ) є провідною концепцією сучасного автомобілебудування.

До переваг газу, як моторного палива перед бензином можна віднести:

- якісніше сумішоутворення, немає рідких фракцій у суміші, що надходять у циліндр, та впливає на зниження зносу рухомих деталей двигуна;

- велике значення має також менший вміст шкідливих речовин, що виходять в якості негативних викидів хімічних складових у продуктах згоряння ДВЗ [2], та забруднюють навколишнє середовище;

Об'єктом дослідження: є бензиновий двигун 4Ч 9,2/8,6, котрий можна застосовувати на автотракторному мобільному енергетичному засобі (МЕЗ), конвертований у бензо-газовий ДВЗ 4ЧГ 9,2/8,6.

Предметом дослідження: є закономірності зміни техніко-економічних характеристик бензо-газового ДВЗ для МЕЗ при частковому заміщенні бензинового палива природним газом.

Мета роботи є: підвищення ефективності експлуатації за рахунок поліпшення техніко-економічних показників робочого процесу двигуна МЕЗ шляхом застосування додаткової електронної газової системи живлення з механічним газовим редуктором.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- теоретично обґрунтувати склад комбінованої горючої суміші для бензо-газового двигуна МЕЗ.
- адаптувати механічний газовий редуктор у систему живлення бензо-газового двигуна з комбінованим сумішоутворенням;
- експериментально встановити закономірності зміни енергетичних показників бензо-газового двигуна від параметрів складу комбінованої горючої суміші.

Висновки

Виконані розробки створили передумови для подальшого вдосконалення та підвищення ефективності використання газового палива у робочому процесі 4ЧГ 7,75/7,35 ДВЗ, і забезпечили підвищення техніко-економічних показників в процесі конвертації бензинового, у бензо-газовий двигун.

Електронну газову систему живлення з газовим редуктором в процесі конвертації адаптовано і перетворено бензиновий ДВЗ 4Ч 9,2/8,6, у бензо-газовий 4ЧГ 9,2/8,6 двигун для легкового автомобілю середнього класу.

Література

1. Нова серія редукторів для компрімованого газу. За матеріалами фірми "ELPIGAZ" (Польща) // Міжнародний науково-технічний журнал.
2. [Електронний ресурс] / Режим доступу до джерела. https://omvlgas.it/wp-content/uploads/2019/09/Catalogo_OMVL.pdf.
3. [Електронний ресурс] / Режим доступу до джерела. https://www.prinsautogas.com/en/products/vsi_system/vsi_system.html.
4. [Електронний ресурс] / Режим доступу до джерела https://www.prinsautogas.com/en/products/vsi_system/vsi_system.html.
5. [Електронний ресурс] / Режим доступу до джерела . <https://brc.it/kit/>

6. Манойло В.М., Берладін Д.В. Аналітичний огляд газових редукторів застосованих в системах живлення автотракторних ДВЗ транспортних засобів. Збірник наукових праць УДУЗТ. 2016. Випуск 160. С. 60–63.

7. Манойло В.М., Дзюбенко А.А., Липинський М.С. Стенд для дослідження витратних та динамічних характеристик електромагнітних дозаторів систем живлення газових ДВЗ. Вісник СевНТУ. 2011. Вип. 122/2011. С. 77–81.

8. Манойло В.М. Безмоторний стенд для дослідження електрокерованих газових дозаторів систем живлення автотранспортних двигунів. Вісник ХНАДУ. 2018. Вип. 82. С. 131–136.

9. Manoylo V., Shevchenko I., Kolesnik I. Experimental evaluation of capacity gas reducer of foreign production, adapted to the engine power supply system. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. Vol.19. №4. P. 5–8.

УДК 621

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ДОЗАТОРУ НА «ЧИСТО» ГАЗОВОМУ ДВИГУНІ ДЛЯ ЛЕГКОВОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Манойло Володимир Максимович, докт. техн. наук, проф.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: volodimir.m.manoylo@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2208-4404

Шевченко Ігор Олександрович, канд. техн. наук, доцент, завідувач каф.

«Трактори і автомобілі», Державний біотехнологічний університет,
e-mail: igorshvchnk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1280-5290

Гончаров Сергій Володимирович, аспірант, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: sergeygoncharov1511@gmail.com

Шулаєв Максим Євгенович, аспірант, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: vega.asphalt2020@gmail.com

Ященко Віталій Олександрович, бакалавр, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: vitaliiyashchenco@gmail.com

Яненко Павло Артемович, бакалавр, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail pashayragan@gmail.com

Актуальність теми дослідження. Постійне підвищення потреби у бензиновому паливі та суттєве його подорожчання в останні роки призводять до необхідності переведення легкових транспортних засобів на альтернативні види палива, в якості котрого застосовується стислий і зріджений природний газ.

Газові ДВЗ можна виконувати з декілька підвищеним ступенем стиснення, за рахунок чого вони мають високі техніко-економічні і екологічні показники робочого процесу.

У європейських країнах, США, Японії, Азії та Південної Америки фахівцями автомобілебудування особлива увага приділяється питанням створення ефективних та безпечних конструкцій газобалонного обладнання, у тому числі газових інжекторів, що використовуються автотранспортними засобами.

Технічна інформація, наведена в [1-2], свідчить про розробку вітчизняного дослідного зразка електромагнітного дозатора газу (ЕДГ), системи живлення для вантажного автотракторного двигуна середньої потужності.

Німецькими розробниками фірми HEINZMANN розроблена конструкція дозатора [3], наведені результати досліджень по визначенню витратних та динамічних характеристик клапанів подачі газу Megasol 200 & 425, який використовуються в системах живлення на стаціонарних ДВЗ великої потужності від 1000 кВт і більше.

Компанія AC S.A. (Польща) виробник сучасних автогазових систем [4-5], що працюють на зрідженому (LPG) та стиснутому природному газі (CNG) марки STAG, які використовуються на бензинових ДВЗ та дизелях [6] для легкових автомобілів. Газові форсунки Barracuda/Digitronic – це високошвидкісні газові інжектори, що виготовляються на заводі Alex [6] (Польща). На ринку Східної Європи вони найбільш відомі під назвою Digitronic та адаптовані під кліматичні та дорожні умови країн СНД.

Провідною італійською фірмою BRC Gas Equipment, виготовляються та продаються компоненти та системи для зрідженого нафтового газу (LPG) та метану (CNG), продукція фірми використовується на легкових автомобілях [7]. Компанією BRC випускаються три модифікації газових інжекторів BRC IN03 із розподіленою подачею палива. Даний дуже важливий вузол, що випускається компанією BRC, може бути використаний для розробки «чисто» газових ДВЗ вітчизняного виробництва.

Конструктивні особливості «чисто» газових ДВЗ для транспортних засобів значною мірою визначають ефективність застосування КПП та СПГ (компромованого або стиснутого природного газу).

У світовій практиці промислове виробництво газобалонних автомобілів для роботи на зрідженому природному газі та стиснутому вуглеводневому газі є провідною концепцією сучасного автомобілебудування.

До переваг газу, як моторного палива перед бензином можна віднести:

- найкраще сумішоутворення, відсутність рідких фракцій у суміші, що надходять у циліндр, та зменшує знос рухомих деталей циліндро-поршневої групи двигуна;

- велике значення має також менший вміст шкідливих речовин, котрі негативно впливають на людей та флору і фауну, знаходяться у відпрацьованих газах в якості негативних викидів хімічних складових у продуктах згоряння [2] ДВЗ;

- термін дії у свічок запалювання і моторного масла в 1,3–1,5 рази у газових ДВЗ вищій, ніж у бензинових.

Об'єктом дослідження: з бензиновий двигун MeM3-317, котрий можна застосовувати на легковому мобільному енергетичному засобі (МЕЗ), конвертований у «чисто» газовий 4ЧГ 77,5/7,35 ДВЗ.

Предметом дослідження: з аналіз впливу на техніко-економічні характеристики «чисто» газового ДВЗ для МЕЗ при повному заміщенні бензинового палива природним газом.

Мета роботи: підвищення ефективності експлуатації за рахунок поліпшення техніко-економічних і екологічних показників робочого процесу двигуна МЕЗ шляхом застосування електронної газової системи живлення.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- теоретично обґрунтувати склад комбінованої горючої суміші для «чисто» газового двигуна МЕЗ.

- адаптувати електронні електромагнітні газові дозатори (іноземного виробництва) у систему живлення «чисто» газового двигуна з комбінованим сумішоутворенням;

- експериментально встановити закономірності зміни енергетичних показників «чисто» газового двигуна від параметрів складу комбінованої горючої суміші.

Висновки

Виконані розробки створили передумови для подальшого вдосконалення та підвищення ефективності використання газового палива у робочому процесі ДВЗ 4ЧГ 7,75/7,35, і забезпечили підвищення техніко-економічних та екологічних показників в процесі конвертації бензинового, у «чисто» газовий двигун.

Електронну газову систему живлення в процесі конвертації адаптовано і перетворено бензиновий ДВЗ MeM3-317, у «чисто» газовий 4ЧГ 7,75/7,35 для застосування на міні автомобілі категорії N1 до 3,2 тони.

Література

1. Абрамчук Ф.І. Досвідчений зразок електромагнітного дозатора газу, системи живлення автотракторного двигуна 6ГЧН 13/14 /Ф.І. Абрамчук, В.М. Манойло, А.А. Дзюбенко [та ін.] // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2012. – №2/8 (56). – С. 38 – 42.
2. Абрамчук Ф.І. Особливості конструкцій електромагнітних дозаторів газу систем живлення ДВЗ / Ф.І. Абрамчук, В.М. Манойло, М.С. Липинський, А.А. Дзюбенко // Автомобільний транспорт: Зб. наук. пр.– 2010. – №27. – С. 43 – 51.
3. Клапани подачі газу Megasol 200 & 425. – К.: HEINZMANN KIEV, 2007. – 31 с.
4. Пристрій системи розподіленої подачі газу STAG-4 (300+1): [Електронний ресурс] / Режим доступу до джерела: <http://www.ac.com.pl/pl-centrum-pobran-oprogramowanie-qgeneracja>

5. Пристрій системи розподіленої подачі газу OMVL GEMINI: [Електронний ресурс] / Режим доступу до джерела https://omvlgas.it/wp-content/uploads/2019/09/Catalogo_OMVL.pdf
6. Пристрій системи розподіленої подачі газу (Barracuda/Digitronic): [Електронний ресурс] / Режим доступу до джерела: Alex Sp. z o.o.
7. Пристрій системи розподіленої подачі газу Sequent (BRC Gas Equipment): [Електронний ресурс] / Режим доступу до джерела: <https://brc.it/kit/>

RETURN COMPRESSION IN A PISTON AIR ENGINE

Anna Filatova, Ph. D., Professor of Computer Engineering and Programming
Department Hanna.Filatova@khpi.edu.ua, tel. +38 (098) 778-14-45
ORCID: 0000-0003-1982-2322,

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Vitaliy Krivda, Ph. D., Associate Professor of the Department of Automobiles and
Automobile Economy, vitaliykrivda@gmail.co, tel. +38 (050) 920-80-80
ORCID: 0000-0002-8304-2016, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine;

Maksim Strilec, graduate student of the Department of Internal Combustion
Engines, 0669233845m@gmail.com, tel. +38 (066) 923-38-45,
ORCID: 0009-0004-1041-6285,

Kharkiv National Automobile and Highway University

Krugovyi Andriy, graduate student, Department of Internal Combustion Engines,
ruoc.1Juru8@gmail.com tel. +38 (063) 143-78-20, orcid.org/0009-0001-6765-8486,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Relevance. One of the current problems of modern automotive industry is the creation of economical and environmentally vehicles. One of the ways to increase these indicators is the use of hybrid cars, in which the additional engine operates in those modes where the internal combustion engine does not work effectively (starting from a standstill, acceleration modes, movement with small loads, in traffic jams). The use of hybrid engines allows not only to reduce fuel consumption, but also to significantly reduce emissions of toxic substances in exhaust gases.

The goal of the work is to study the influence of the parameters of the back compression process on the indicator parameters of a piston air motor.

To achieve the set goal, it is necessary to perform the following tasks: conduct computational studies of the working processes of the air motor, reveal the influence of the degree of reverse compression on its indicator indicators.

The Department of Internal Combustion Engines of the KhNADU continues research into evaluating the efficiency of various schemes of hybrid installations

with an air motor, including schemes with various air distribution mechanisms [1]. In this regard, a detailed study of the working processes of air motors and the influence of individual parameters on their performance with a valve air distribution system is of particular practical interest.

Piston air motors were previously manufactured for special mining machines and were produced by specialized enterprises [1]. Radial piston air motors were widely produced in star cylinder design.

Table 1 contains data on four- and five-cylinder radial piston air engines that were mass-produced. In addition to the data on radial piston air engines, Table 1 also provides for comparison the parameters of a similar V l gasoline ICE 4Ch 9.2/9.2 car of class M 2 and converted from it air engines.

From the analysis of the data in Table 1, it can be concluded that piston air engines have low values of average piston speed $c_p = 1.6 \div 3.2$ m/s and low average effective pressure $p_e = 0.23 \div 0.28$ MPa in comparison with internal combustion engines ($c_p = 13.8$ m/s and $p_e = 0.802$ MPa). Air engines have a relatively low liter capacity $N_{lpd} = 3 \div 6$ kW/l ($N_{ldvs} = 30.1$ kW/l) and a higher specific metal content $M_N = 6.3 \div 15.1$ kg/kW ($M_N = 2.45$ kg/kW).

Domestic and foreign radial piston air motors and air motors of other types have a specific compressed air flow rate $g_i = 77 \div 93$ kg/(kW h).

Such indicators are explained by losses associated with the imperfection of air motor designs (large pressure losses in air distribution elements, low degree of expansion, large air leaks, large dead volume, etc.).

For further calculation studies, a converted gasoline piston engine 4F 9.2/9.2 was selected. In a piston air engine with a valve air distribution is the ability to adjust the filling degree and the degree of back compression [1]. The adjustable filling degree and back compression allows for the use of a controlled change in the phases of air distribution, which opens up the possibility of optimizing the working process.

Air motors has other advantages:

- has the highest starting torque, which is 1.8 times the rated torque
- has the most favorable traction characteristics;
- allows overload;
- has low compressed air leaks (due to the high degree of sealing of the piston rings).

The air motors can be controlled both by the duration of the filling process and by changing the compressed air pressure at the inlet.

Analysis of works [1-4] shows that for a piston air motor the most appropriate is a six-process operating cycle.

The volume of the compression chamber of the air motor was left unchanged, equal to that of the combustion chamber of the internal combustion engine. The

pressure of the compressed air at the inlet was $p_1 = 0.7$ MPa. The speed of the air motor for calculations was $n = 800$ min⁻¹. The degree of filling $\varepsilon_1 = 1$.

For engines with a spool air distribution mechanism, the degree of reverse compression ε_3 is an unchanging design parameter. For air motor with electro-hydraulic valves, the degree of reverse compression ε_3 is a factor controlling the working processes. The degree of reverse compression ε_3 varies within wide limits. At $\varepsilon_3 = 0$, reverse compression is absent and the indicator work is maximum, while the consumption of compressed air increases significantly due to filling the volume of the combustion chamber when the piston is at TDC. The maximum value of the degree of compression ε_3 is obtained when the compression pressure p_4 does not exceed the pressure of filling with compressed air p_1 .

Table 1. Radial piston indicators pneumatic pumps and gasoline engine 4 F 9.2/9.2

Indicators	Air motor brands				ICE 9.2/9.2	air motor 9.2/9.2
	P7.5- 12	P16-25	P2.5- F1	P6,3- 12		
Cylinder displacement (liters), V_l , l	2,613	2,613	2,613	2,090	2,445	2,445
Compressed air pressure at the inlet, p_1 , MPa	0.4	0.5	0.5	0.4	–	0.7
Rated power, N_e , kW	7.5	16	9.5	6.3	73.5	7.67
Nominal speed, n , min ⁻¹	750	1500	800	750	4500	800
Average piston speed, s_p , m/s	1,625	3,250	1,733	1,625	13.8	2.45
Specific mass flow rate of compressed air, g , kg/(kWh)	83.2	92.8	77.3	80.9	fuel 0.307	61.2
Hourly air flow rate, G , kg/h	624	1485	734	510	fuel 22.6	156
Cylinder diameter, D , mm	101.2	101.2	101.2	101.2	92	92
Piston stroke, S , mm	65	65	65	65	92	92
Number of cylinders, z	5	5	5	4	4	4
Liter power, N_l , kW/l	2.87	6.12	6.63	3.01	30.1	3.13
Specific metal content, M_N , kg/kW	12.7	6.3	10.5	15.1	2.45	23.45
Average effective pressure, p_e , MPa	0.229	0.245	0.272	0.241	0.802	0.185
Mass, M_{dv} , kg	95	100	100	95	180	180

Table 2. Parameters of the working process of the air motor at $p_1 = 0.7$ MPa, $p_2 = 0.12$ MPa, $\varepsilon_1 = 1$, $\varepsilon_0 = 1$ and different ε_3

ε_3	n_c	L_i , kJ	P_i , MPa	N_i , kW	G_g , kg/h	g_i , kg/ kWh
0.1	1.32	0.31	0.51	2.56	157	61.3
0.2	1.32	0.293	0.479	2.42	151	62.2
0.3	1.32	0.277	0.453	2.29	145	63.2
0.5	1.32	0.244	0.399	2.01	133	6.55

The computational studies were conducted at fixed degrees of harmful space ε_0 and degree of filling $\varepsilon_1 = 1$. The calculation results are given in Table 2 and Fig. 1–4.

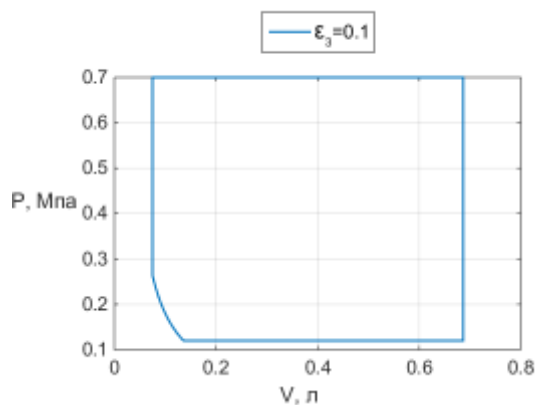


Figure 1 – Indicator diagram of the air motor when: $\varepsilon_3 = 0.1$; $L_i = 0.2563$ kJ ;
 $N_i = 2.1184$ kW; $g_i = 38.178$ g/kWh;

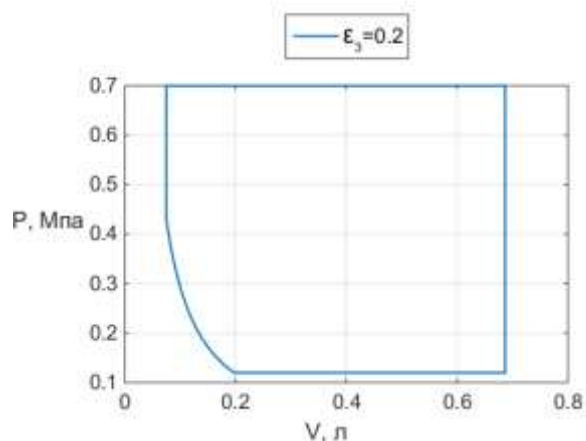


Figure 2 – Indicator diagram of the air motor when: $\varepsilon_3 = 0.2$; $L_i = 0.248$ kJ;
 $N_i = 2.049$ kW; $g_i = 36.516$ g/kWh;

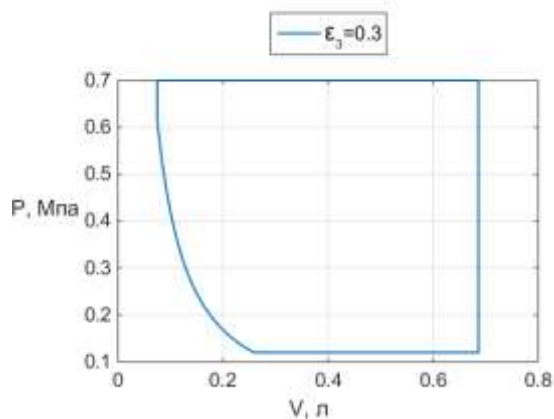


Figure 3 – Indicator diagram of the air motor when: $\varepsilon_3 = 0.3$; $L_i = 0.2397$ kJ;
 $N_i = 1.981$ kW; $g_i = 34.738$ g/kWh

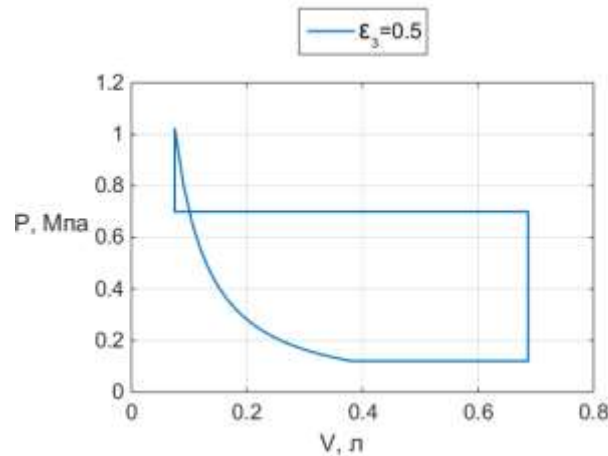


Figure 4 – Backpressure pressure exceeds inlet pressure

Algorithm was implemented in the program MatLab. According to the results of the research, the qualitative and quantitative picture of the working processes of the air motor was confirmed.

With an increase in the degree of back compression ϵ_3 , the area of the indicator diagram and the indicator power N_i decreased. At the same time, the hourly compressed air consumption G_g decreased.

It should be noted that the graphs of the dependence ϵ_3 shown in Fig. 1–5, determined by the calculation method, are universal and suitable for any piston air engine, regardless of its parameters such as the dimensions of the working volume V_h , the cylinder diameter D , the piston stroke S , the crankshaft rotation frequency n and the temperature of the compressed air at the inlet T .

Conclusions

A computational study of the influence of the parameters of the back compression process on the indicator parameters of a piston air motor has been conducted.

The effect of reverse compression is revealed on air motor indicators. Calculated indicator diagrams are presented and mathematical dependencies are proposed, which are the basis of the calculation research methodology regarding the influence of the back compression process on the implementation of maximum work and minimum specific flow rate of compressed air.

The obtained calculation data allow us to reveal the processes taking place in the air engine and to assess the degree of efficiency of the air engine's working process. The obtained results indicate that the indicators of the converted air engine (the presence of the combustion chamber volume for operation in the ICE mode) are at the level of serially produced air motors.

Literature

1. Voronkov OI The concept of creating a pneumatic engine for a car: a monograph by OI Voronkov , DB Hlushkova , AV Hnatov , VO Karpenko, EV Teslenko and others. - Kharkiv : KNAHU, 2019. - 256 p.
2. "MDI's active chamber" . Thefuture.net.nz. Archived from the original on 2011-05-07 . Retrieved 2010-12-12 (accessed 09.2024) .
3. Tata Air Car to drive in by 2011". Popular Mechanics. Archived from the original on 2010-02-10 (access 09.2024) .
4. Marc Carter. "Peugeot Announces Plans to Release a Hybrid Car That Runs on Compressed Air by 2016". Retrieved 30 May 2015 (accessed 09.2024).

COMBINED OPERATION OF THE AIR ENGINE AND ICE OF THE COMBINED POWER PLANT OF A VEHICLE (CPU)

Teslenko Eduard, Assistant Professor, Department of Internal Combustion Engines,
Kharkiv National Automobile and Road University,
e-mail: teslenkoev21@gmail.com

For modern urban road transport, the use of environmentally friendly, including combined, power plants (PPUs) [1] is becoming relevant, when used in certain vehicle operating modes, it is possible to temporarily abandon the operation of the internal combustion engine (ICE) by replacing it with an alternative one included in the PPU.

Pneumatic motors (PM) when used as part of a CEU have a number of advantages compared to electric ones (simplicity and safety of design, lower weight of equipment when using modern materials, operation in conditions of explosion and fire hazard, absence of harmful electromagnetic radiation, no need to dispose of batteries, etc.) [2].

A combined power plant using a PD and an ICE provides for different layout schemes for placing units. When using a CEU on a vehicle, a combined scheme looks better, in which the PD and the ICE are located in the same housing, but work alternately by changing the operation of the intake, ignition (if available) and power supply systems. With such a scheme, the heat released as a result of the operation of the ICE is used to heat the compressed air and maintain the heat balance. The heat can be used from heated parts of the ICE, cooling and oil systems, exhaust gases, and heat accumulators.

During the operation of the power plant, two operating modes can be distinguished. The first is the PD operating mode at a rotation frequency of 0 - 800 min⁻¹; the second is the ICE operating mode when the shaft rotation frequency

reaches 800 min⁻¹ and more. The operation of the automotive power plant in the first mode is advisable when driving in traffic jams typical of urban traffic; in underground parking lots; in places with increased fire hazard, etc.

It is possible to implement mode switching by using an electro-hydraulic valve drive, obtaining the ability to change the stroke rate. For a smooth transition from one mode to another, it is necessary to coordinate the power and torque curves, PM and ICE approximate curves of the two modes (Fig. 1).

Fig. 1 shows the regulation of the PM power due to the air pressure at the inlet from $P_{rep}=0.7$ MPa to $P_{rep}=1.1$ MPa. The higher the air pressure at the inlet, the higher the speed characteristic will be for the PM to switch to the internal combustion engine.

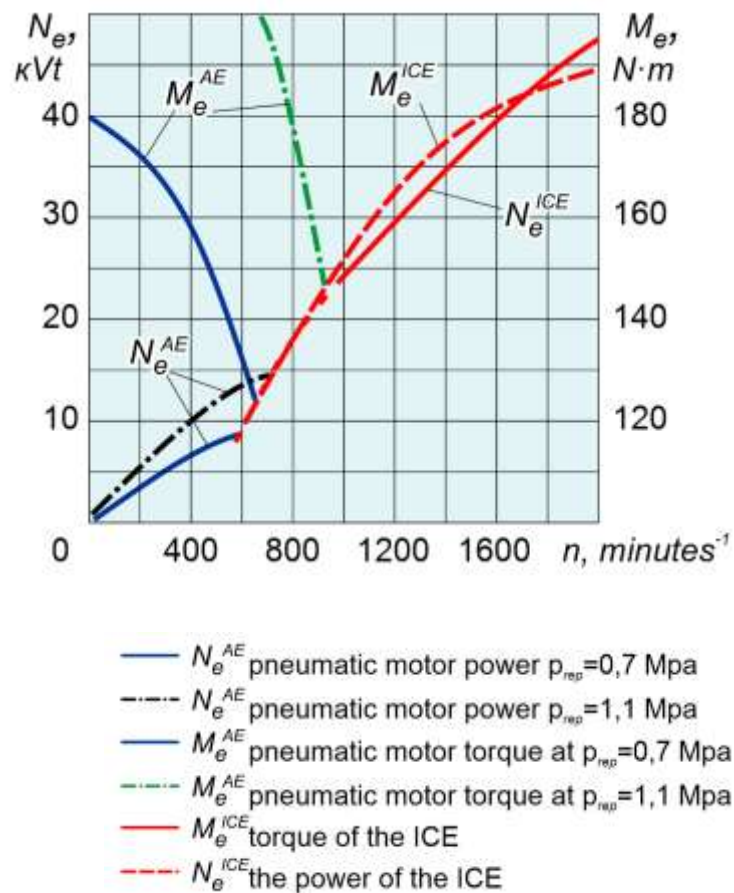


Figure 1 – Joint speed characteristic of a combined power plant with PM and ICE

Piston PM has several possibilities for regulating power and torque. The first method is regulation by the air pressure supplied to the cylinder, the second is by changing the duration of the filling process (from the moment of full expansion to the moment of full filling, (Fig. 2).

Regulation can be carried out by adjusting the reverse compression ratio and changing the polytropic indicators.

The results of the preliminary study are presented below.

Fig. 2-5 shows the results of calculated tests of the PM with different filling degrees and back pressure. With a change in the filling degree and the back compression degree at a crankshaft speed of 800 min⁻¹ (up to the idling speed of the internal combustion engine), the indicator power N_i of the PM changes from 2.56 kW, 2.29 kW, 2.12 kW and 1.98 kW, and the torque of the PM – Micro from 30.53 Nm to 23.66 Nm.

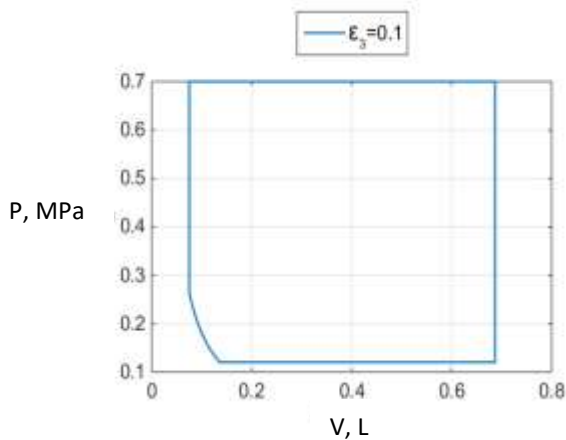


Figure 2 – AE indicator diagram at $\varepsilon_1=1$, $\varepsilon_3=0,1$

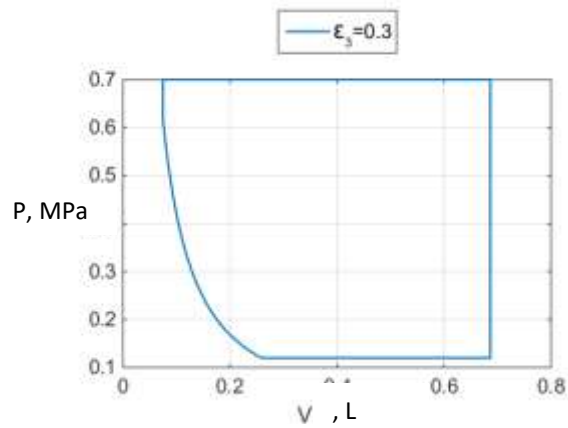


Figure 3 – AE indicator diagram at $\varepsilon_1=1$, $\varepsilon_3=0,3$

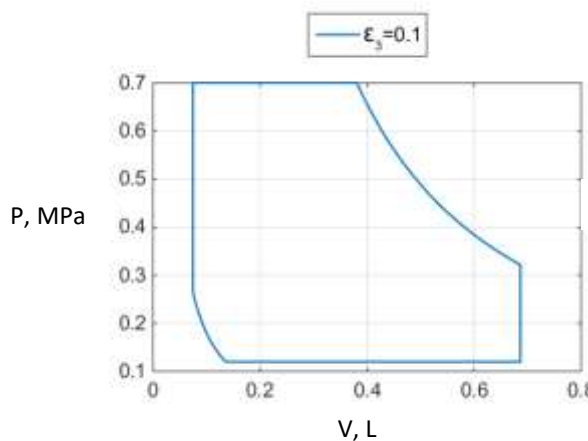


Figure 4 – AE indicator diagram at $\varepsilon_1=0,5$, $\varepsilon_3=0,1$

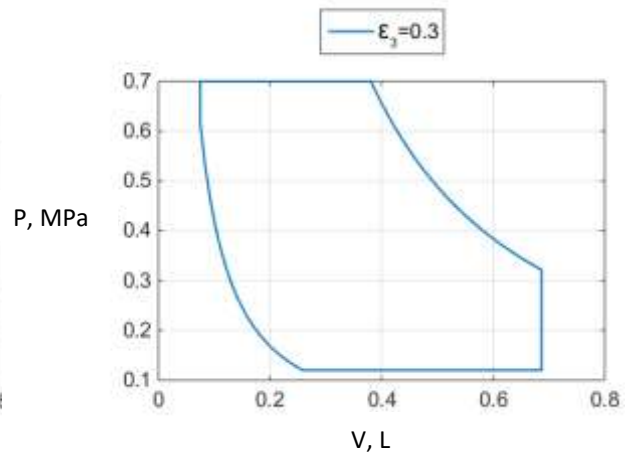


Figure 5 – AE indicator diagram at $\varepsilon_1=0,5$, $\varepsilon_3=0,3$

During the operation of the PM as part of a combined power plant without heating the compressed air, fuel consumption and toxicity of the exhaust gases are zero.

The reliability of the constructed models is confirmed by conducting a comparative analysis of calculated and experimental data, which were consistent with the results of studies by other authors.

Conclusions

The static model of the PM allows you to determine the values of the compressed air pressure at the inlet and the gas distribution phase for matching the power and torque curves when the KEU transitions between the PM and ICE operating modes. Graphical interpretation of the results showed that with an increase in the duration of the compressed air intake of more than 135 degrees. p.c.v., no change in power and torque is observed. To match the performance of the PM and ICE, it is necessary to use a reducer with smooth adjustment of the compressed air pressure and controlled electro-hydraulic valves to change the angle of onset and duration of the compressed air intake.

Literature

1. Turenko A.M. On the selection of parameters of a piston air engine operating as part of a hybrid power plant of a vehicle - A.M. Turenko, V.O. Bogomolov, F.I. Abramchuk [and others] // Automobile transport: collection of scientific papers of the KhNADU. - 2008. - Issue 22. - P. 7-16. - ISSN 2219-8342.
2. Voronkov O.I. The concept of creating a pneumatic engine for a car: monograph O.I. Voronkov, D.B. Glushkova, A.V. Gnatov, V.O. Karpenko and others. – Kharkiv: KhNADU, 2019. – 256 p. - Bibliography: p. 230-251. - 300 notes.

Секція 7. ЕНЕРГЕТИЧНІ І ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ, ЇХ КЕРУВАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ

УДК 629.114

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО НАДДУВУ

Макаренко Микола Григорович, доцент каф. «Трактори і автомобілі»,
Державний біотехнологічний університет,
e-mail: mak_nk@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4078-9045/

Шевченко Ігор Олександрович, канд. техн. наук, доцент, завідувач каф.
«Трактори і автомобілі», Державний біотехнологічний університет,
e-mail: igorshvchnk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1280-5290

Калашник Єгор Анатолійович, магістр,
Державний біотехнологічний університет,
e-mail: Kalashnikegor0904@gmail.com

У сучасному автомобілебудуванні пріоритетним напрямком є підвищення ефективності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) шляхом зменшення споживання палива та викидів шкідливих речовин без зниження потужності та динамічних характеристик автомобіля. Одним із важливих шляхів досягнення цих цілей є використання систем наддуву, зокрема, мехатронних систем адаптивного наддуву, що дозволяють автоматично регулювати параметри роботи двигуна залежно від навантаження і умов експлуатації [1].

Системи турбонаддуву стали важливою частиною автомобільних двигунів ще в 20-му столітті. Вони дозволяли підвищити потужність двигуна за рахунок подачі більшої кількості повітря в камеру згоряння, що забезпечувало кращі умови для згоряння палива. Однак традиційні турбонаддуви мають низку обмежень, таких як турбояма (затримка в подачі додаткового повітря) та недостатня гнучкість у відповідь на зміну навантаження [2].

Мехатроніка як дисципліна об'єднує електроніку, механіку та інформатику, дозволяючи створювати високоточні системи контролю та регулювання. Мехатронні системи адаптивного наддуву вирішують проблеми, характерні для традиційних систем турбонаддуву. Вони включають в себе датчики, електронні контролери та виконавчі механізми, що дозволяють динамічно змінювати ступінь наддуву в залежності від режиму роботи двигуна [3, 4].

Адаптивна система наддуву за допомогою датчиків контролює ключові параметри двигуна (тиск у впускному колекторі, частоту обертання, температуру, кількість кисню у вихлопних газах тощо). Контролер аналізує ці дані в режимі реального часу і регулює роботу турбіни або компресора, забезпечуючи оптимальний тиск повітря в камері згоряння на кожному етапі [5].

Мехатронні системи наддуву використовують електронно керовані турбіни із змінною геометрією (Variable Geometry Turbochargers, VGT), які дозволяють змінювати параметри турбіни в залежності від швидкості обертання колінчастого вала двигуна та навантаження. Це зменшує турбояму і забезпечує більш рівномірний приріст потужності при будь-яких умовах [5].

Застосування мехатронних систем адаптивного наддуву дозволяє суттєво покращити експлуатаційні характеристики двигуна. Основні переваги включають: оптимізацію процесу згоряння шляхом точного регулювання подачі повітря, що дозволяє досягати економії палива при збереженні потужності; покращення згоряння палива знижує кількість невикористаного пального, що зменшує викиди CO₂ та інших забруднювачів; підвищення потужності на низьких обертах та дозволяють уникнути турбоями, забезпечуючи швидкий приріст потужності на низьких і середніх обертах двигуна; точне регулювання наддуву знижує механічне навантаження на компоненти двигуна, що позитивно впливає на його ресурс [5].

Незважаючи на численні переваги, впровадження мехатронних систем адаптивного наддуву вимагає розв'язання ряду технічних і економічних проблем. Основні виклики включають: системи потребують складних електронних компонентів і алгоритмів управління, що збільшує собівартість двигуна; необхідність адаптації існуючих двигунів, розробки високоточних алгоритмів управління, що включає моделювання та тестування в різних режимах експлуатації.

Адаптивні системи наддуву в автомобільних двигунах вимагають розробки алгоритмів, що забезпечують ефективне керування наддувом залежно від поточних умов роботи двигуна. Для цього будується математична модель системи, яка описує процеси, що відбуваються в двигуні та системі наддуву.

Основним є рівняння динаміки повітряного потоку в системі наддуву

Потік повітря в системі наддуву визначається зміною тиску у впускному колекторі p_{in} , температурою повітря T_{in} , швидкістю обертання турбокомпресора ω_{turbo} , та масовою витратою повітря $\dot{m}_{air}$.

Для опису динаміки наддуву можна використати закон збереження маси та рівняння Бернуллі:

$$\dot{m}_{air} = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

де C_d – коефіцієнт пропускної здатності системи,

A – площа перетину каналу впускного колектора,

$\Delta p = p_{turbo} - p_{in}$ – різниця тисків на вході турбіни і у впускному колекторі,

ρ – густина повітря.

Температура повітря після турбіни T_{turbo} обчислюється на основі рівняння:

$$T_{turbo} = T_{in} \left(1 + \frac{\eta_t}{\eta_c} \left(\left(\frac{p_{turbo}}{p_{in}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \right),$$

де η_t – ефективність турбіни,

η_c – ефективність компресора,

γ – показник адиабати (для повітря $\gamma = 1.4$).

Механічна потужність P_{eng} , що розвивається двигуном, залежить від кількості палива та повітря, що подаються до циліндрів. Потужність можна визначити за рівнянням:

$$P_{eng} = \eta_{eng} \cdot Q_{fuel} \cdot m_{fuel},$$

де η_{eng} – ефективність двигуна,

Q_{fuel} – теплотворна здатність палива,

m_{fuel} – масова витрата палива.

Масова витрата палива визначається стехіометричним співвідношенням палива та повітря:

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{\dot{m}_{air}}{AFR_{st}},$$

де AFR_{st} – стехіометричне відношення паливо-повітря (наприклад, для бензину це близько 14.7).

Швидкість обертання турбіни ω_{turbo} залежить від енергії, що виділяється в процесі згоряння та від масової витрати вихлопних газів $m_{exhaust}$.

Для моделювання динаміки наддуву можна використати наступне рівняння:

$$I_{turbo} \frac{d\omega_{turbo}}{dt} = T_{exhaust} - T_{friction},$$

де I_{turbo} – момент інерції турбіни,

T_{exhaust} – момент, створений вихлопними газами,

T_{friction} – втрати на тертя.

Момент, створений вихлопними газами, визначається через тиск у вихлопному колекторі:

$$T_{\text{exhaust}} = C_t \cdot \dot{m}_{\text{exhaust}} \cdot \sqrt{T_{\text{exhaust}}},$$

де C_t – коефіцієнт турбіни.

Для ефективного керування наддувом використовується система зворотного зв'язку, що базується на датчиках, які вимірюють тиск, температуру, масову витрату повітря і паливо-повітряне співвідношення. Алгоритм управління наддувом може бути побудований на основі PID-регулятора або адаптивного управління з використанням моделей прогнозування.

PID-регулятор забезпечує керування швидкістю турбіни для досягнення бажаного тиску у впускному колекторі. Основне рівняння PID-регулятора:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

де $e(t) = p_{\text{desired}} - p_{\text{in}}$ – похибка тиску,

$u(t)$ – вихід керуючої дії,

K_p , K_i , K_d – коефіцієнти пропорційної, інтегральної та диференційної складової відповідно.

Адаптивне управління передбачає використання моделей прогнозування для оцінки оптимальних параметрів наддуву в режимі реального часу. Використовується наступний процес: оцінка поточних параметрів роботи двигуна (швидкість, навантаження, витрата палива, температура тощо); прогнозування оптимального тиску наддуву для даних умов експлуатації; регулювання положення клапана турбіни для забезпечення бажаного тиску.

Адаптивні алгоритми можуть використовувати методи машинного навчання або ідентифікації моделі для точного налаштування параметрів керування.

В цілому математична модель адаптивної системи регульованого наддуву дозволяє оптимізувати роботу двигуна, забезпечуючи ефективний процес згоряння палива і зменшуючи викиди шкідливих речовин. Моделювання та використання високоточних алгоритмів управління дозволяє досягти стабільної роботи системи в різних режимах експлуатації.

Застосування мехатронних систем адаптивного наддуву має великий потенціал у майбутньому. Такі системи вже використовуються в сучасних дизельних і бензинових двигунах преміум-класу. Подальший розвиток технологій та зниження вартості компонентів може призвести до поширення

цих рішень у масовому виробництві автомобілів. Можливим напрямом розвитку мехатронних систем є інтеграція з гібридними силовими установками, в яких вони можуть бути ефективно поєднані з електродвигунами для ще більшого зменшення викидів і підвищення економічності.

Висновки

Використання мехатронних систем адаптивного наддуву є перспективним шляхом підвищення ефективності автомобільних двигунів внутрішнього згоряння. Завдяки гнучкому і точному регулюванню процесу наддуву, такі системи дозволяють знизити споживання палива, зменшити викиди та покращити динамічні характеристики двигунів. Незважаючи на певні технічні виклики, розвиток цієї технології відкриває широкі можливості для її використання в майбутньому автомобілебудуванні.

Література

1. Макаренко М. Г., Шевченко І. О., Кривоніс С. В. Оптимізація систем керування двигунами вантажних автомобілів // Збірник тез та доповідей міжнародної конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії». 11–12 березня 2024 року, ХНАДУ, Харків, 2024. С. 271-274.
2. Макаренко М. Г., Шевченко І. О., Хейло В. О., Пиріжок В. І. Електронні системи керування та діагностики сучасних автомобілів: проблеми і рішення. // Збірник тез та доповідей міжнародної конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії». 11–12 березня 2024 року, ХНАДУ, Харків, 2024. С. 274-278.
3. Макаренко М. Г., Пиріжок В. І. Використання штучного інтелекту у вбудованих системах сільськогосподарських тракторів. // Матеріали XX міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті" 04-05. 04. 2024. - Харків : ДБТУ, 2024 С. 192.
5. Макаренко М. Г., Кулаков Ю. М. Підвищення експлуатаційних показників вантажного автомобіля вдосконаленням системи наддуву двигуна ММЗ Д-260.4. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції навчально-наукового інституту механотроніки і систем менеджменту 16-17 травня 2019 року. Харків : ДБТУ, 2019 С. 57.

**Секція 8. ПРОЦЕСОРИ І МІКРОЕЛЕКТРОНІКА
В ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ. ПРОГРАМУВАННЯ
МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК
І ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ. ЕЛЕКТРОННЕ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ
І ІНШИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКТАЦІЙ ТА ОСНОВНИХ
ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ
HYUNDAI KONA ELECTRIC**

Гнатов Андрій Вікторович, докт. техн. наук, зав. каф. Автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: kalifus@khadi.kharkov.ua, ORCID: 0000-0003-0932-8849

Сохін Павло Андрійович, ст. викладач каф. Автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: info@elektrocar.com.ua, ORCID: 0000-0002-2823-2239

Крупін Кирило Юрійович, студент автомобільного факультету Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: ae121tdv@stud.khadi.kharkov.ua

Hyundai Kona Electric – це сучасний електричний кросовер, що поєднує в собі високу продуктивність, економічність та екологічність. Його популярність зростає завдяки інноваційним технологіям, широкому набору функцій та конкурентоспроможним характеристикам. Автомобіль представлений у червні 2017 року, продаж почався в листопаді 2017 року. У Португалії автомобіль називається Hyundai Kauai, в Китаї – Hyundai Encino [1-6].

У березні 2018 року Hyundai Kona отримав електричну версію, рис. 1.



Рисунок 1 – Hyundai Kona Electric 2018-2019 року випуску

Комплектації Hyundai Kona

Electric Електромобіль пропонується у різних комплектаціях, які відрізняються потужністю, ємністю акумулятора, оснащенням та рівнем комфорту. На ринок України запропоновано дві комплектації:

– базова (Standard Range) на 39,2 кВт·год (з ним працює електродвигун 136 к. с. (100 кВт), 395 Н·м, час розгону до ста кілометрів - 9,3 с), максимальна швидкість -155 км/год. Запас ходу на одному заряді 305 км;

– опціональна (Long range) на 64 кВт·год (електродвигун 204 к. с. (150 кВт) 395 Н·м, розганятися до 100 км/год за 7,6 с, максимальна швидкість – 167 км/год). Остання версія дозволить машині проїхати понад 450 км по циклу WLTP.

Електромобіль Hyundai Kona Electric складає конкуренцію Opel Mokka-e, Peugeot e-2008, DS-3 e-Tence, Citroën C4 -e та Jeep Avenger EV, які входять до Концерну Stellantis, а також Kia Niro EV, Kia Soul EV, Chevrolet Bolt та Nissan Leaf e + [7-11].

Основні технічні характеристики електромобіля Hyundai Kona electric 1-го покоління випуску представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики електромобіля Hyundai Kona electric 1-го покоління випуску

	АКБ - 64 кВт·год / Long Range	АКБ - 39,2 кВт·год / Standard Range
Загальна потужність	204 к. с. (150 кВт)	136 к. с. (100 кВт)
Електричний двигун	Синхронний двигун з постійними магнітами	
Розгін 0-100 км/год	7.6 с	9,3 с
Запас ходу (WLTP)	450 км	305 км
Запас ходу (EVDP)	400 км	250 км
Повна ємність АКБ	67,5 кВт·год	42 кВт·год
Корисна ємність АКБ	64 кВт·год	39,2 кВт·год
Потужність АС зарядного пристрою	7,2 кВт	7,2 кВт
Потужність DC зарядного пристрою	77 кВт	44 кВт
Архітектура АКБ	400 В	
Час заряджання від станції DC	44 хв. (39->312 км)	47 хв. (24->196 км)
Крутний момент	395 Н·м	
Максимальна швидкість	167 км/год	155 км/год
Привід	Передній	
Тип кузова	Міський кросовер (SUV)	
Кількість дверей	5	
Кількість місць	5	
Довжина	4180 мм	

Продовження табл. 1

1	2	
Ширина	1800 мм	
Висота	1570 мм	
Колісна база	2600 мм	
Кліренс	162 мм	
Споряджена маса	1760 кг	1610 кг
Об'єм багажника	361 л / макс. 1143 л	
Шини	215/55R17	
Тип передньої підвіски	Типу McPherson зі стабілізатором поперечної стійкості	
Тип задньої підвіски	Напівзалежна, пружинна	

У вересні 2020 р. Hyundai представила оновлену версію Kona Electric. Рестайлінг передусім мав зовнішні естетичні зміни (зміна фар та оформлення передньої частини авто, зміна цифрової панелі приладів, екран мультимедійної системи), а також додатковий вантажний об'єм і простір для ніг на задніх сидіннях.

Основні технічні характеристики електромобіля Hyundai Kona electric 2-го покоління випуску приведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Основні технічні характеристики електромобіля Hyundai Kona electric 2-го покоління випуску

	АКБ – 65,4 кВт·год / Long Range	АКБ - 48,4 кВт·год / Standard Range
Загальна потужність	218 к. с. (160 кВт)	156 к. с. (115 кВт)
Електричний двигун	Синхронний двигун з постійними магнітами	
Розгін 0-100 км/год	7,8 с	8,8 с
Запас ходу (WLTP)	454 км	377 км
Запас ходу (EVDB)	390 км	295 км
Повна ємність АКБ	68,5 кВт·год	51 кВт·год
Корисна ємність АКБ	65,4 кВт·год	48,4 кВт·год
Потужність AC зарядного пристрою	11 кВт	11 кВт
Потужність DC зарядного пристрою	105 кВт	75 кВт
Архітектура АКБ	400 В	
Час заряджання від станції DC	34 хв. (39->312 км)	43 хв. (29->236 км)
Крутний момент	255 Н·м	
Максимальна швидкість	170 км/год	160 км/год
Привід	Передній	
Тип кузова	Міський кросовер (SUV)	
Кількість дверей	5	

Продовження табл. 2

1	2	
Кількість місць	5	
Довжина	4355 мм	
Ширина	1825 мм	
Висота	1575 мм	
Колісна база	2660 мм	
Кліренс	162 мм	
Споряджена маса	1773 кг	1690 кг
Об'єм багажника	466 л / макс. 1300 л (Frunk – 27 л)	
Шини	215/55R17	
Тип передньої підвіски	Типу McPherson зі стабілізатором поперечної стійкості	
Тип задньої підвіски	Напівзалежна, пружинна	

Переваги та недоліки використання Hyundai Kona electric

Переваги:

- висока ефективність використання електроенергії;
- великий запас ходу;
- безпечність завдяки сучасним асистентам водіння;
- комфортний інтер'єр та зручне управління.

Недоліки:

- висока вартість у порівнянні з традиційними автомобілями;
- залежність від інфраструктури зарядних станцій;
- тривалий час зарядки на стандартних розетках.

Висновки

Hyundai Kona Electric є одним із провідних електромобілів у своєму сегменті, що пропонує оптимальний баланс між продуктивністю, запасом ходу та технологічними можливостями. Завдяки різним варіантам комплектації, цей електрокросовер підходить для широкого кола користувачів, забезпечуючи екологічний та економічний спосіб пересування.

Література

1. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. Automobile Transport, (53). P.37-50.
2. Гнатів А. В., Аргун І. В., Гнатова Г. А., Сохін П. А. Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2022. – № 21. – С. 22-30.

-
3. Borodenko Y., Ribickis L., Zabasta A., Arhun Shch., Kunicina N., Hnatova H., Hnatov A., Patlins A. Konstantins Kunicins. Using the Method of the Spectral Analysis in Diagnostics of Electrical Process of Propulsion Systems Power Supply in Electric Car. *Przegląd Elektrotechniczny*. - 2020. - R96. – 10. – P. 47-50.
 4. S Arhun, Yu Borodenko, A Hnatov, A Popova, H Hnatova, N Kunicina, A Ziravecka, A Zabasta, L Ribickis. Choice of Parameters for the Electrodrive Diagnostic System of Hybrid Vehicle Traction // *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. – 2020. – T. 57. – №. 4. – С. 3-11.
 5. Hnatov, A., Arhun, S., & Ponikarovska, S. (2017). Energy saving technologies for urban bus transport. *International journal of automotive and mechanical engineering*, 14, 4649-4664.
 6. Arhun, S., Hnatov, A., Sokhin, P., & Kunicina, N. (2025). Autonomous Power Sources for Electric Vehicles and Their Charging Infrastructure. *Energy Storage*, 7(1), e70121. DOI: <https://doi.org/10.1002/est2.70121>
 7. Hnatov, A., Arhun, S., Sokhin, P., & Ulianets, O. (2024). Research of the main electromagnetic parameters during the operation of an AC charging station for electric vehicles. *Automobile Transport*, (54), 42–50. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2024.54.0.05>
 8. Trunova, I., Arhun, S., Hnatov, A., Apse-Apsitis, P., Kunicina, N., & Myhal, V. (2023). Sustainable Approach Development for Education of Electrical Engineers in Long-Term Online Education Conditions. *Sustainability*, 15(18), 13289. <https://doi.org/10.3390/su151813289>
 9. Мигаль В.Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2023). Підвищення якості тягових електродвигунів для електротранспорту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*. (23), С. 6–14. DOI:10.30977/VEIT.2023.23.0.1
 10. Hnatov, A., & Arhun, S. (2022). Electric vehicles and energy-saving technologies – master’s degree program under the Erasmus project Cybphys. *Automobile Transport*, (51), 85–95.
 11. Мигаль, В., Аргун, Щ., Гнатов, А., Гнатова, Г., & Сохін, П. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (22), 72–80.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ HYUNDAI KONA ELECTRIC

Гнатов Андрій Вікторович, докт. техн. наук, зав. каф. Автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: kalifus@khadi.kharkov.ua, ORCID: 0000-0003-0932-8849

Ульянець Ольга Анатоліївна, асистент каф. Автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: olgaulyanets@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9384-4557

Русанов Максим Костянтинівич, студент автомобільного факультету Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: ae121tdv@stud.khadi.kharkov.ua

Зі зростанням популярності електромобілів питання їх зарядки стає все більш актуальним. Hyundai Kona Electric є одним із найпопулярніших електромобілів у своєму сегменті, завдяки високому запасу ходу та гнучкості у виборі методів зарядки. Дослідження різних способів заряджання дозволяє оптимізувати використання електромобіля та покращити його експлуатаційні характеристики [1-7].

Способи заряджання Hyundai Kona Electric

Електромобілі Hyundai Kona, в залежності від ринку збуту, можуть бути оснащені різними типами зарядними порами, рис. 1.



CCS2



CCS1



GB/T

Рисунок 1 – Зарядні порти електромобіля Hyundai Kona

Розглянемо це питання детальніше в залежності від ринку збуту [8-10].

Японія:

- Змінний струм (AC): Type 1 або J1772;
- Постійний струм (DC): CHAdeMo.

Європа:

- Змінний струм (AC): Type 2 або Mennekes;
- Постійний струм (DC): CCS2.

США (але не автомобілі Tesla), Південна Корея:

- Змінний струм (AC): Type 1 або J1772;
- Постійний струм (DC): CCS1.

Китай:

- Змінний струм (AC): GB/T;
- Постійний струм (DC): GB/T.

США, автомобілі Tesla:

- Змінний струм (AC): Tesla (NACS);
- Постійний струм (DC): Tesla (NACS).

Hyundai Kona Electric підтримує кілька варіантів зарядки:

- зарядка змінним струмом (AC Charging)
- домашня зарядка (Level 1, 230 В, 2.3 кВт) – використовується звичайна побутова розетка, зарядка займає приблизно 28-30 годин для повного заряду.
- прискорена зарядка (Level 2, 7.2 кВт або 11 кВт) – можливе використання навісного зарядного пристрою (Wallbox), що скорочує час зарядки до 6-9 год.

Швидка зарядка постійним струмом (DC Fast Charging):

- DC 50 кВт – заряджання до 80% займає приблизно 64 хв.;
- DC 100 кВт – заряджання до 80% за 47 хв.;
- DC 150 кВт – хоча автомобіль підтримує зарядку до 100 кВт, використання станцій потужністю 150 кВт може незначно пришвидшити процес.

У табл. 1 приведено порівняння різних способів зарядки Hyundai Kona Electric.

Таблиця 1 – Порівняння способів зарядки Hyundai Kona Electric

Спосіб зарядки	Потужність	Час зарядки (до 80%)	Вартість інфраструктури
Побутова розетка	2.3 кВт	~30 годин	Низька
Wallbox (7.2-11 кВт)	7.2-11 кВт	6-9 годин	Середня
DC 50 кВт	50 кВт	~64 хвилини	Висока
DC 100 кВт	100 кВт	~47 хвилин	Дуже висока

Переваги та недоліки різних методів зарядки

Розглянемо основні переваги та недоліки, що стосується використання різних методів заряду електромобіля Hyundai Kona.

Переваги:

- гнучкість вибору зарядної інфраструктури;
- можливість заряджання вдома або на публічних станціях;
- підтримка швидкої зарядки для зменшення часу очікування.

Недоліки:

- довгий час зарядки від побутової мережі;
- висока вартість швидкісних зарядних станцій;
- необхідність розвиненої інфраструктури для ефективного використання електромобіля.

Висновки

Hyundai Kona Electric підтримує широкий спектр зарядних методів, що дозволяє водіям обирати оптимальний варіант залежно від доступності інфраструктури та потреб. Впровадження швидких зарядних станцій та використання Wallbox є найбільш ефективними рішеннями для щоденного користування електромобілем.

Література

1. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53). P.37-50.
2. Гнатів А. В., Аргун І. В., Гнатова Г. А., Сохін П. А. Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. – 2022. – № 21. – С. 22-30.
3. Borodenko Y., Ribickis L., Zabasta A., Arhun Shch., Kunicina N., Hnatova H., Hnatov A., Patlins A. Konstantins Kunicins. Using the Method of the Spectral Analysis in Diagnostics of Electrical Process of Propulsion Systems Power Supply in Electric Car. *Przegląd Elektrotechniczny*. - 2020. - R96. – 10. – P. 47-50.
4. S Arhun, Yu Borodenko, A Hnatov, A Popova, H Hnatova, N Kunicina, A Ziravecka, A Zabasta, L Ribickis. Choice of Parameters for the Electrodrive Diagnostic System of Hybrid Vehicle Traction //Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2020. – Т. 57. – №. 4. – С. 3-11.
5. Hnatov, A., Arhun, S., & Ponikarovska, S. (2017). Energy saving technologies for urban bus transport. *International journal of automotive and mechanical engineering*, 14, 4649-4664.
6. Arhun, S., Hnatov, A., Sokhin, P., & Kunicina, N. (2025). Autonomous Power Sources for Electric Vehicles and Their Charging Infrastructure. *Energy Storage*, 7(1), e70121. DOI: <https://doi.org/10.1002/est2.70121>
7. Hnatov, A., Arhun, S., Sokhin, P., & Ulianets, O. (2024). Research of the main electromagnetic parameters during the operation of an AC charging station for electric vehicles. *Automobile Transport*, (54), 42–50. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2024.54.0.05>
8. Trunova, I., Arhun, S., Hnatov, A., Apse-Apsitis, P., Kunicina, N., & Myhal, V. (2023). Sustainable Approach Development for Education of Electrical Engineers in Long-Term Online Education Conditions. *Sustainability*, 15(18), 13289. <https://doi.org/10.3390/su151813289>

9. Мигаль В.Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2023) Підвищення якості тягових електродвигунів для електротранспорту. Ав-томобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. (23), С. 6–14. DOI:10.30977/VEIT.2023.23.0.1
10. Hnatov, A., & Arhun, S. (2022). Electric vehicles and energy-saving technologies – master’s degree program under the Erasmus project Cybphys. Automobile Transport, (51), 85–95.

МОДУЛЬНА АРХІТЕКТУРА ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Грицук Валерій Юрійович, аспірант, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: valeri.gritsuk@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3780-7815>

Грицук Юрій Валерійович, к.т.н., доцент, Донбаська національна академія
будівництва і архітектури, e-mail: yuri.gritsuk@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3389-1172>

Сучасні транспортні засоби генерують величезну кількість даних [1-3] завдяки вбудованим сенсорам, що забезпечують моніторинг показників роботи двигуна, температурних режимів, кодів несправностей та інших критичних параметрів. Для ефективної діагностики та прогнозування можливих відмов було розроблено інтегровану систему, яка забезпечує збирання, попередню обробку, зберігання та аналіз даних у режимі реального часу. Основні етапи включають зчитування даних за допомогою OBD-II сканера, їх перевірку на цілісність і достовірність, нормалізацію, подальшу передачу на внутрішній сервер, організацію у базі даних (як поточних, так і історичних) з наступною синхронізацією, а також аналіз за допомогою нейронної мережі, яка виявляє закономірності та аномалії. Використання сучасних технологій (Apache Spark, Kafka, контейнеризації, мікросервісів) та зовнішніх бібліотек машинного навчання (TensorFlow, PyTorch, scikit-learn та ін.) забезпечує відмовостійкість, масштабованість та високу пропускну здатність системи.

На діаграмі активності системи моніторингу параметрів транспортного засобу [2] (рис. 1) можна побачити взаємодію компонентів між собою. Сканер OBD-II в режимі реального часу зчитує дані з датчиків, зокрема показники роботи двигуна, коди несправностей, температури компонентів та інші. Внутрішній препроцесор перевіряє дані на цілісність та достовірність, попередньо відфільтровуючи очевидні помилки або відсутні значення.

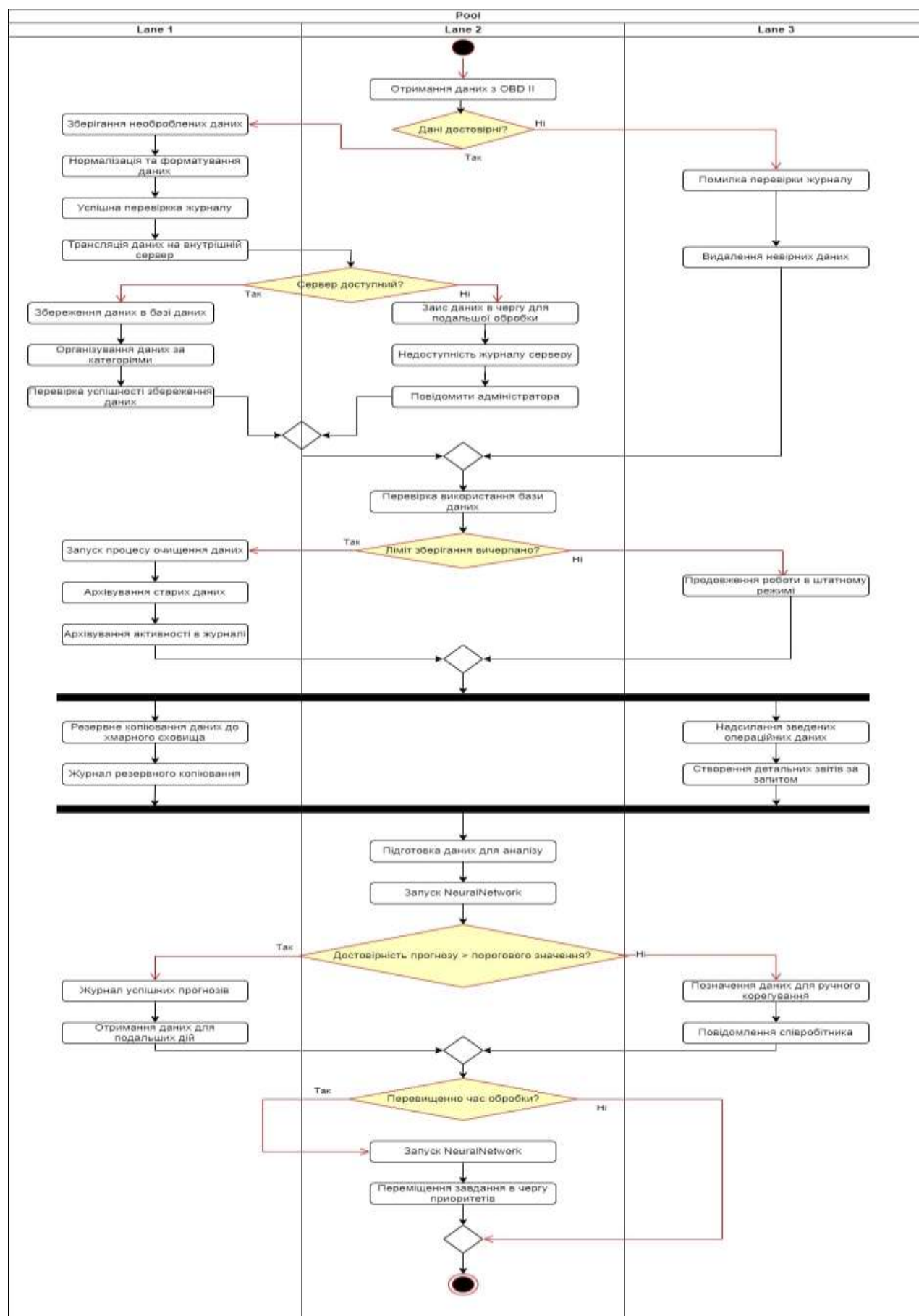


Рисунок 1 – Діаграма активності системи

Якщо дані недостовірні або не повні, в журнал реєструється помилка, і дані або повторно запитуються у автомобіля, або позначаються для ручного перегляду, або позначаються на видалення. При умові «Так» далі виконується перевірка цілісності та наявності всіх очікуваних даних. Також проходить перевірка показників датчиків на предмет відповідності очікуваним робочим діапазнам. Нормалізатор даних конвертує сирі дані датчика в стандартизований формат для подальшої обробки. Оброблені дані надсилаються на внутрішній сервер для зберігання та аналізу. Разом з цим, починається паралельна обробка даних.

Під час зберігання дані також передаються до сховища даних для довготривалого зберігання. Внутрішній сервер здійснює зберігання оброблених і перевірених даних на сервері бази даних для негайного доступу до них. При збереженні даних, сервер організовує дані за категоріями (наприклад, «поточні» та «історичні»). Паралельно система резервного копіювання надсилає копії важливих даних до хмарного сховища для аварійного відновлення. Сховище та база даних перевіряють інформацію та видаляють надлишкові або застарілі записи.

Дані, історичні та поточні, проходять до нейронної мережі в реальному часі з сервера сховища даних. Модель машинного навчання аналізує структуру цих даних для виявлення закономірностей та виявлені аномалій, а саме появу нових дефектів або нестандартну поведінку датчиків.

Для сучасних платформ незамінними є зовнішні бібліотеки, які дозволяють реалізувати вже готові функції, такі як машинне навчання, робота з базами даних та обробка даних. Однак їх інтеграція передбачає необхідність чіткого архітектурного планування для забезпечення сумісності системи, відмовостійкості, масштабованості та дотримання вимог безпеки. Відповідно, для коректної роботи машинного навчання потрібно підключити відповідні бібліотеки (рис. 2), які використовують алгоритми та моделі машинного навчання для прогностичного аналізу (наприклад, TensorFlow, PyTorch, scikit-learn [4, 5], ONNX Runtime та інші). Це дозволить тренувати індивідуальні моделі, використовуючи різні набори даних та підтримувати зворотнє навчання для покращення для конкретної області. В систему додаються процеси, такі як мікросервіси, що працюють у контейнерах (наприклад, Docker). Для цього використовується спеціальний сервер виведення (наприклад, NVIDIA Triton, TensorFlow Serving). Це дозволяє зменшити кількість дублікатів і забезпечити узгоджену взаємодію між модулями, а також дозволяє використовувати інтерфейси API для виведення в реальному часі або пакетного формування висновків. Водночас, з метою проведення аналітики в реальному часі в умовах низьких затримок, легкі моделі можна розгнати на периферійних пристроях (наприклад, OBD-II обладнання з вбудованим TensorFlow Lite [6, 7]).

Бібліотеки машинного навчання легко поєднується з бібліотекою обробки даних для попередньої обробки даних, що забезпечує нормалізацію та готовність цих даних до аналізу. Крім того, бібліотека взаємодіє з модулем очищення даних для забезпечення якості вхідних даних, що прямо впливає на точність моделі.

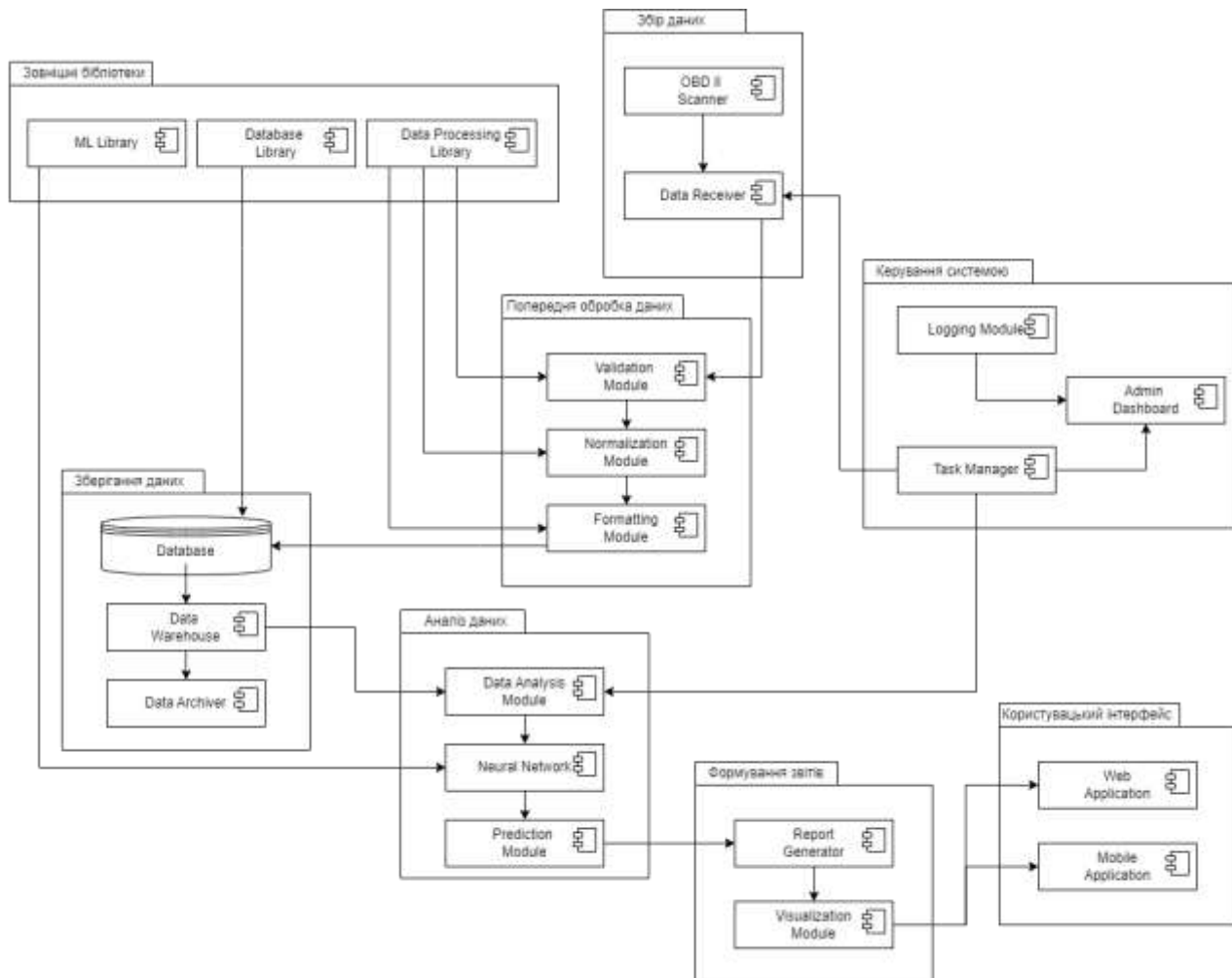


Рисунок 2 – Діаграма компонентів системи

При пакетній обробці відсіювання недійсних записів, агрегування даних з датчиків та нормалізацію одиниць виміру. Також відбувається видалення записів з відсутніми критично важливими полями (наприклад, ідентифікатор транспортного засобу або мітка часу) та перевірка діапазонів. При нормалізації стандартизуються одиниці вимірювання та відбувається перетворення різних протоколів OBD-II (наприклад, ISO 15765-4, SAE J1850) в уніфікований формат JSON.

Також разом з цим відбуваються обчислення окремих характеристик, такі як паливна ефективність та інші, групуються за ідентифікатором транспортного засобу та узагальнюються метрики. Далі попередньо оброблені дані

надсилаються до валідатора даних для додаткових перевірок. І в кінці очищені дані спрямовуються до бази даних для довготривалого зберігання. Apache Spark та Kafka ефективно використовують розбиття даних на блоки для паралельного виконання.

Розроблена система демонструє успішну інтеграцію різних компонентів, що забезпечують збирання даних від датчиків, їх попередню перевірку, нормалізацію та зберігання як у режимі реального часу, так і для довгострокового аналізу. Інтеграція нейронних мереж та використання сучасних бібліотек машинного навчання дозволяє ефективно аналізувати поточні та історичні дані, виявляючи закономірності та аномальні поведінки, що є ключовим для своєчасного прогнозування дефектів. Завдяки використанню мікросервісів, контейнеризації та розподіленої обробки даних, система забезпечує високу пропускну здатність та здатність адаптуватися до збільшення обсягів даних, що робить її перспективним рішенням для сучасної транспортної індустрії.

Література

1. Грицук В.Ю. Аналіз та обґрунтування вибору структури даних для завдань управління транспортними потоками. Вісник ХНАДУ, вип. 106, 2024. С.7-13. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.7
2. Грицук В., Пронін С. Аналіз та обґрунтування вибору моделі для моніторингу параметрів транспортного засобу та прогнозування технічного обслуговування. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки, 1(49), 56–73. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.49.1.2024.321206>
3. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків: ФЛП Панов А.М., 2018. 299 с.
4. Neural network models // scikit-learn developers. – URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/neural_networks_supervised.html (дата доступу 28.01.2025)
5. Fabian Pedregosa, Gael Varoquaux, Alexandre Gramfort, Vincent Michel, Bertrand Thirion, Parietal, INRIA Saclay Neurospin, Bat 145, CEA Saclay ^ 91191 Gif sur Yvette – France “Scikit-learn: Machine learning in python”, 2011.
6. Turk M. Eigenfaces for recognition / M. Turk, A. Pentland // Journal of Cognitive Neuroscience. – 1991. – Vol. 13, No. 1. – P. 71–86.
7. Shahadi, H. I., Haider, H. T., & Muhsen, D. H. (2018). Vehicle monitoring based on GSM technology for safety and security. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 433(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/433/1/012089> (дата доступу 28.01.2025)

СИСТЕМА ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ, ДІАГНОСТУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Латвинський Владислав Дмитрович, асистент
кафедри автомобільної електроніки,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: latvin2000@gmail.com, ORCID: 0009-0002-4891-2925

Багач Руслан Володимирович, доктор філософії (PhD),
доцент кафедри автомобільної електроніки,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: bagach.ruslan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0157-5933

Для забезпечення зв'язку між різними системами та компонентами електромобіля використовується мережа окремих контролерів, які взаємодіють через шину даних. Найпоширенішою та найнадійнішою шиною для обміну інформацією в транспортних системах є CAN-шина.

Розвиток цифрових систем контролю відкрив можливість створення комплексної системи управління транспортним засобом. Впровадження централізованої системи керування дозволяє не лише зменшити складність кабельної мережі, а й розширити функціональні можливості контролю та управління [1-3].

Якщо кожна система електромобіля працює автономно, існує ризик некоректної реакції пристроїв, оскільки вони можуть не враховувати стан інших систем. Наприклад, під час зарядки електромобіля, за відсутності єдиного каналу зв'язку, може бути дозволено рух транспортного засобу, що суперечить вимогам безпеки [3-5].

Метою дослідження є розробка ефективної системи централізованого управління, яка інтегрує основні функціональні блоки електромобіля через CAN-шину, забезпечуючи надійний обмін інформацією між контролерами.

Для коректного функціонування електромобіля необхідний або єдиний блок управління, або чітка взаємодія між окремими контролерами. Програмування такої інтегрованої системи вимагає високої продуктивності обчислювальних модулів, особливо з урахуванням додаткових робочих систем, таких як зарядний пристрій, модуль антиблокування гальм чи активна підвіска.

Система централізованого управління електромобіля виконує комплексний контроль, аналіз та обробку даних для забезпечення злагодженої роботи всіх систем транспортного засобу [6, 7].

Основні функції автоматизованої системи управління включають:

- забезпечення руху електромобіля відповідно до заданих параметрів органами управління;

- контроль рівня заряду батареї [8, 9];
- автоматичний моніторинг та регулювання роботи всіх систем електромобіля;
- підтримку необхідної температури в салоні;
- взаємодію із зовнішніми системами;
- виведення на екран даних про поточний стан транспортного засобу;
- надання діагностичної інформації на інші носії даних;
- централізована система управління включає кілька ключових підсистем;
- систему тягового приводу;
- систему тягової батареї;
- гальмівну систему;
- систему низьковольтного електрообладнання.
- систему освітлення;
- систему клімат-контролю;
- систему безпеки.

У всіх високотехнологічних електромобілях використовується CAN-протокол, який забезпечує ефективний зв'язок між електронними блоками керування, виконавчими механізмами та системами безпеки. Обмін даними між блоками здійснюється через CAN-шину, при цьому передача та прийом інформації керуються спеціальними контролерами. Схема їх підключення до CAN-шини наведена на рис. 1.

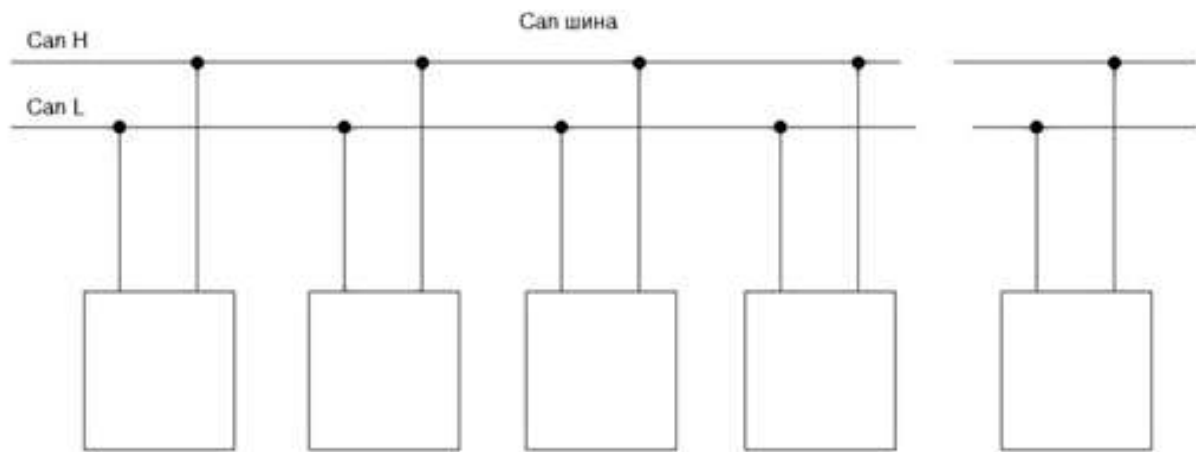


Рисунок 1 – Схема з'єднання контролерів у CAN шині

Контролери збирають дані з різних систем електромобіля, обробляють їх відповідно до заданого алгоритму та передають сформовану інформацію в CAN-шину.

На відміну від комп'ютерів, які орієнтовані на прийняття рішень та управління оператором, контролери призначені для роботи з пристроями,

забезпечуючи зчитування сигналів від датчиків і передачу команд виконавчим механізмам.

Програмування контролера відрізняється від традиційного, оскільки він працює в режимі безперервного виконання циклів. Кожен цикл включає:

- зчитування вхідних сигналів, зокрема даних від датчиків (наприклад, швидкості);
- обчислення вихідних сигналів і перевірку логічних умов;
- формування керуючих сигналів та, за необхідності, управління індикаторами інтерфейсу оператора.

При програмуванні використовуються прапори – булеві змінні, що визначають проходження певних гілок алгоритму.

Контролери отримують інформацію від датчиків електромобіля, серед яких:

- кінцеві вимикачі;
- датчики струму та напруги;
- датчики освітлення;
- пульт водія;
- педалі керування;
- датчики кута повороту керма тощо.

Після оцифровки отримані дані проходять обробку та використовуються в загальному алгоритмі функціонування електромобіля.

Висновки

Передача та обмін інформацією між контролерами здійснюється через загальну CAN-шину. Коли контролер виявляє необхідний пакет даних, він обробляє інформацію та, за потреби, передає її далі між системами.

Централізований комплексний контроль відкриває додаткові можливості, зокрема розширену бортову діагностику (OBD), яка дозволяє здійснювати глибший моніторинг стану всього транспортного засобу. Це сприяє не лише зменшенню часу на діагностику та ремонт, а й оптимізації роботи всіх систем, підвищенню безпеки та зниженню експлуатаційних витрат [10].

Завдяки такому підходу можна своєчасно виявляти несправності, запобігати можливим поломкам і підвищувати ефективність роботи електромобіля в цілому.

Література

1. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., Багач, Р. В., Гнатова, Г. А., Тарасова, В. В., & Ручка, О. О. (2021). Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання, (20), 17–26. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.02>

-
2. Багач, Р. В. Підвищення енергетичної ефективності зарядних станцій для електромобілів / Р. В. Багач, В. Д. Латвинський // Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції до Дня автомобіліста та дорожника, 22–23 жовт. 2024 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2024. – С. 221–225.
 3. Багач, Р. (2024). Підвищення електромагнітної сумісності і енергоефективності зарядної станції електромобілів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, (25), 53–62. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2024.25.0.6>
 4. Багач Р. В. (2024). Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електро-транспорту з використанням зарядних станцій постійного струму (Doctoral dissertation, Харківський національний автомобільно-дорожній університет). <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/20343>
 5. Migal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Hnatova, H., & Sokhin, P. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. Vehicle and electronics. Innovative technologies, (22), 72–80.
 6. Mygal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Bagach, R., & Kunicina, N. (2022, October). Methods for Diagnosing Vehicles by an Operator-Diagnostician. 2022 IEEE 63th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) (pp. 1–6). IEEE DOI:10.1109/RTUCON56726.2022.9978906.
 7. Bahach Ruslan, Mohamed Bushara (2024). Use of simulation technologies in the training of students for the diagnostics of electric vehicles and charging stations . «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» Збірка матеріалів IX Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції (Харків, 21-22 листопада 2024 р.). Харків: ХНАДУ–С.158-160.
 8. Багач Р. В., Гнатов А. В., Аргун І. В. 2024. Імітаційне моделювання зарядного контролера LTC4020 для літій-іонних акумуляторів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, (26), 11 с. DOI: 10.30977/VEIT.2024.26.0.3.
 9. Багач, Р.В., Нетребенко, О.В. (2024). Тенденції та майбутнє систем контролю літій-іонних батарей. «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» Збірка матеріалів IX Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції (Харків, 21-22 листопада 2024 р.). Харків: ХНАДУ – С. 41-43.
 10. Белоконь, К. В., Бобров, О. В., Борисовська, О. О., Багач, Р. В., Куваєва, Т. В., Матухно, О. В., ... & Шатоха, В. І. (2024). Стале споживання та виробництво у глобальних ланцюгах створення вартості. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/167974>

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ У МАГНІТНІЙ КОНЦЕНТРИЧНІЙ ПЕРЕДАЧІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЇЇ БУДОВИ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ГІБРИДНОМУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІ

Нечаус Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент каф. АЕ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: nechaus@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8833-0802

Апальков Станіслав Олександрович, студент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: apalkovstas2000@gmail.com

Перевагами магнітних передач та розподілу механічної енергії, на відміну від механічних аналогів, є відсутність тертя між суміжними елементами, що підвищує надійність передачі, зменшує її шум та вібрації, які виникають при роботі, зменшує потребу у технічному обслуговуванні. Цікавість дослідників до подібного пристрою підтверджується наявністю значної кількості публікацій, наприклад, [1-5], що також говорить про його недосконалість та перспективи вдосконалення.

Використання магнітної передачі у складі силової установки гібридного електромобіля є цілком доцільним, оскільки у ньому виконується порівняно велика кількість процесів перетворення енергії, починаючи з механічної енергії двигуна внутрішнього згоряння, яка може передаватися до ведучих коліс автомобіля та до зарядного генератора тягової акумуляторної батареї, і закінчуючи живленням тягового електричного двигуна.

Один з варіантів будови магнітної передачі наведено на рис. 1.

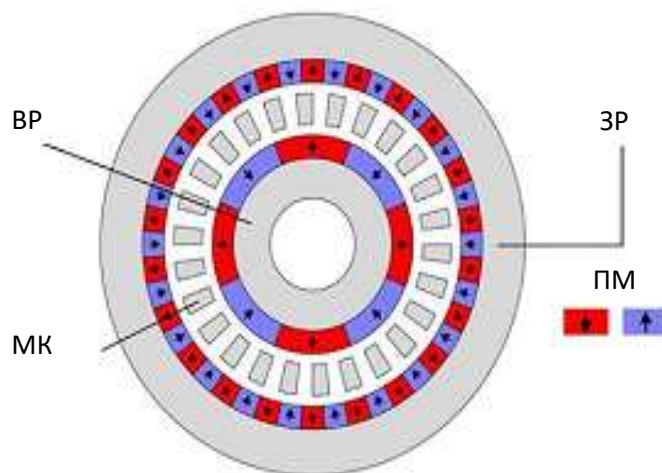


Рисунок 1 – Один з варіантів будови магнітної передачі

Основними елементами є: ЗР – зовнішній ротор, ВР – внутрішній ротор та МК – модулююче кільце. Хоча, залежно від режиму роботи магнітної

передачі обертовою або нерухомою частиною може будь-яка з перелічених. Також, обов'язковими складовими цієї передачі є збірки постійних магнітів (ПМ), які виготовлені з рідкоземельних матеріалів, що і визначають енергетичну ефективність магнітних передач на теперішньому етапі розвитку техніки та технологій.

Більш складні варіанти побудови магнітних передач можуть мати більшу кількість складових частин, в тому числі, які містять обмотки, перетворюючи магнітну передачу на суміщену електричну машину з декількома роторами та статорами, які належать різним електричним машинам, здатним працювати у оборотних режимах.

Зважаючи на застосування високовартісних постійних магнітів та складність будови яка прямо впливає та технологічність магнітної передачі, слід визначити техніко-економічну ефективність даного пристрою, яка своєю чергою залежить від його коефіцієнту корисної дії.

Методика визначення втрат у магнітній передачі докладно описана у [2]. Взагалі втрати мають три складові, відповідно до складових передачі – втрати у магнітопроводі ротора, втрати у модулюючому кільці та втрати у постійних магнітах. В процесі роботи магнітної передачі зміни магнітного потоку у зубцях аналогічні змінам у синхронній електричній машині, однак, якщо для синхронної машини втратами у магнітопроводі можна знехтувати через наявність одного основного потоку, у магнітній передачі їх потрібно враховувати, оскільки наявність декількох потоків призводить до значних втрат. Взаємодія постійних магнітів з магнітною системою також призводить до значних вихрових струмів.

Як впливає з аналізу рівнянь визначення втрат у магнітній передачі, зменшення їх досягається зменшенням полюсного кроку постійних магнітів та збільшенням передаточного числа. При цьому неминучі зміни геометрії магнітопроводів через зміну взаємних зв'язків магнітних потоків.

Висновки

Розглянуто методику визначення втрат енергії у магнітній концентричній передачі. Запропоновано конструктивні рішення, які дозволяють оптимізувати коефіцієнт корисної дії магнітної передачі при її роботі у складі силової установки гібридного електромобіля. У всякому разі, розробка магнітної передачі потребує глибокого аналізу вихідних даних.

Література

1. Yan, Bo & Li, Xianglin & Wang, Xiuhe & Yang, Yubo. (2023). A review on the field-modulated magnetic gears: Development status, potential applications, and existent challenges. IET Electric Power Applications. 18. 10.1049/elp2.12365.

2. Nguyen, Manh-Dung & Jung, Woo-Sung & Hoang, Duy Tinh & Kim, Yong-Joo & Shin, Kyung-Hun & Choi, Jang-Young. (2024). Fast Analysis and Optimization of a Magnetic Gear Based on Subdomain Modeling. *Mathematics*. 12. 2922. 10.3390/math12182922.

3. Halim, Mohd & Rahman, Azhan & Yahaya, Michael & Sulaiman, Erwan. (2024). Hybrid-excited magnetic gear topology for improved gear efficiency at increasing rotor speed. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*. 15. 91. 10.11591/ijpeds.v15.i1.pp 91-97.

4. Song, Hangeol & Hur, Hungwoo & Jeong, Seokhwan. (2024). Coaxial Magnetic Gear-Based Tool-Changing System. *IEEE Access*. 10.1109/ACCESS.2024.3372861.

5. Chaojun, Yang & Wondimu, Amberbir & Lixiang, Gu & Yutang, Qi. (2024). Performance evaluation of newly developed slotted modulator of co-axial magnetic gears: A critical review. 10.56042/ijems,v31i4.2596.

ВИБІР МЕТОДУ КЕРУВАННЯ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА У СКЛАДІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Нечаус Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент каф. АЕ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: nechaus@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8833-0802

Ахмедов Руслан Байрамович, студент, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: ruslan.ahmedov322@gmail.com

Синхронний реактивний електричний двигун у закордонній класифікації (SynRM) отримав досить велике поширення у силових установках електрообладнання завдяки своїй надійній конструкції та високим технічним характеристикам, які поступаються лише характеристикам електричних двигунів з постійними магнітами на основі рідкоземельних елементів.

На відміну від них, SynRM може бути побудований взагалі без використання постійних магнітів, що знижує його вартість та позбавляє деяких технічних проблем пов'язаних з обмеженнями щодо температурних та механічних умов роботи двигуна.

В той же час, SynRM має і власні недоліки, які обумовлюють дослідження щодо вдосконалення його будови, а також вдосконалення системи його керування. У роботах [1, 2] наведено узагальнений аналіз щодо методів керування SynRM, на рис. 1 наведено один з варіантів їх класифікації.

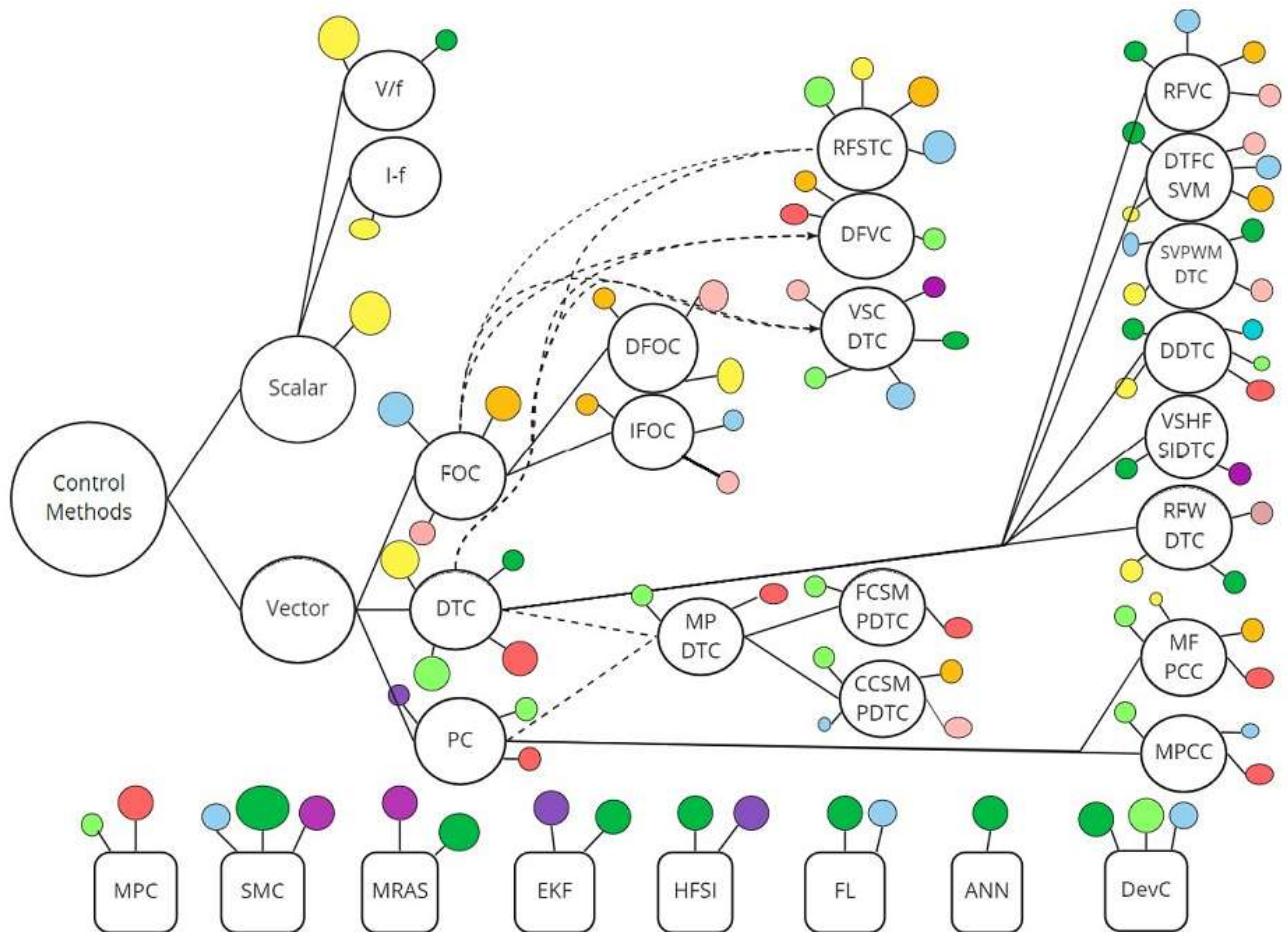


Рисунок 1 – Класифікація методів керування SynRM [1]

Значна кількість методів керування SynRM обумовлена наявністю у кожного метода певних переваг та недоліків, порівняно з іншими. У одному випадку метод не забезпечує бажаної точності або динаміки, у іншому – має високі вимоги та складності технічної реалізації.

Крім того, різні методи змінюють свою ефективність при зміні частоти обертання двигуна, що для приводного двигуна електромобіля є невід’ємною вимогою.

Іншими словами, незважаючи на велике різноманіття методів, до теперішнього часу не існує загально прийнятого оптимального методу. Більш загальний підхід, який приймають переважна більшість науковців, полягає у реалізації в системі керування двигуном кількох методів, перемикання між якими здійснюється залежно від поточного режиму роботи двигуна.

В той же час, згадується група перспективних методів керування, які засновані на технологіях штучного інтелекту, і на теперішній час розвиваються. Серед таких технологій згадуються нечітка логіка (FL), адаптивна нейрон-ечітка штучна нейронна мережа (ANN), адаптивна рекурентна нечітка нейронна мережа (ARFNN), які розглядаються відносно SynRM зокрема у [3-4].

Висновки

Виходячи з аналізу методів керування синхронними реактивними двигунами, пропонується реалізація алгоритму керування тяговим двигуном електромобіля на всьому діапазоні робочих частот обертання із використанням технологій штучного інтелекту, а саме FL, яка забезпечує вищу ефективність та надійність, меншу вартість порівняно з сучасними мікропроцесорними системами керування, а також має технічні характеристики сумісні з електронними компонентами.

Література

1. Heidari, Hamidreza, Anton Rassõlkin, Ants Kallaste, Toomas Vaimann, Ekaterina Andriushchenko, Anouar Belahcen, and Dmitry V. Lukichev. (2021). A Review of Synchronous Reluctance Motor-Drive Advancements. *Sustainability* 13, no. 2: 729. <https://doi.org/10.3390/su13020729>.
2. Ningthoujam, Anita & Viral, Rajkumar & Asija, Divya. (2022). A Review on Intelligent Control Strategies for Accomplishment of High Performance SynRM Drive. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 15. 129-138. <https://doi.org/10.25103/jestr.153.13>.
3. Chen, Shih-Gang & Lin, Faa-Jeng & Liang, Chia-Hui & Liao, Chen-Hao. (2020). Intelligent Maximum Power Factor Searching Control Using Recurrent Chebyshev Fuzzy Neural Network Current Angle Controller for SynRM Drive System. *IEEE Transactions on Power Electronics*. PP. 1-1. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3016709>.
4. Lin, Faa-Jeng & Chen, Shih-Gang & Hsu, Che-Wei. (2018). Intelligent Backstepping Control Using Recurrent Feature Selection Fuzzy Neural Network for Synchronous Reluctance Motor Position Servo Drive System. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. PP. 1-1. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2858749>.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ З ПЕРЕМИКАННЯМ МАГНІТНОГО ПОТОКУ У ГЕНЕРАТОРНОМУ РЕЖИМІ ПРИ РЕКУПЕРАТИВНОМУ ГАЛЬМУВАННІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Нечаус Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент каф. АЕ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: nechaus@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8833-0802

Панін Олександр Олексійович, студент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: thetopgamerpubg@gmail.com

Реактивна електрична машини з перемиканням магнітного потоку, у іноземній класифікації – SRM, є перспективним варіантом для використання у силовій установці електромобіля. Незважаючи на те, що вона за своїми енергетичними характеристиками поступається електричним машинам зі збудженням від постійних магнітів, завдяки простоті конструкції, яка визначає її надійність, та відсутності потреби у постійних магнітах на основі рідкоземельних металів, що визначає її вартість, даний тип машин на теперішній час активно досліджується та вдосконалюється.

Одним з режимів роботи у складі силової установки електромобіля є режим рекуперативного гальмування, у якому тяговий електричний двигун переводиться у генераторний режим, що дозволяє перетворювати енергію гальмування на електричну енергію, яка повертається у тягову акумуляторну батарею електромобіля, збільшуючи запас ходу.

Дослідженню характеристик SRM у режимі генератора присвячена досить велика кількість публікацій, наприклад, [1-4], що підтверджує актуальність питання про її перспективність. Однак, у проаналізованих роботах SRM пропонується використовувати як джерело електричної енергії. При роботі у складі енергетичної установки електромобіля, зокрема у режимі рекуперативного гальмування, генераторний режим має суттєві особливості. По-перше, в цьому режимі, в першу чергу, передбачається гальмування електромобіля, тобто генератор повинен забезпечити задане гальмівне зусилля. По-друге, в ході гальмування швидкість обертання генератора стрімко зменшується, зумовлюючи зниження його вихідної напруги. По-третє, цей режим досить короткочасний. По-четверте, гальмування тим ефективніше, чим більший струм споживається від генератора. По-п'яте, ефективність рекуперації залежить від кількості електрики, які вдасться повернути у тягову акумуляторну батарею, забезпечуючи для неї прийнятний режим заряду.

Вирішення визначених проблемних питань досягається не тільки на етапі розробки SRM для заданої галузі використання, але й за рахунок розробки відповідної системи керування та алгоритму її роботи.

Основною конструктивною ознакою SRM є співвідношення кількості зубців статора та ротора, оскільки основним недоліком машини є значні пульсації крутного моменту, то кількості зубців намагаються обирати як можна більшими, що, своєю чергою вимагає застосування багатофазних систем напруг і ускладнює систему керування машиною. Для проведення досліджень у ході даної роботи обрано досить просту конструкцію зі співвідношенням полюсів 6/4 та трифазним живленням (рис. 1).

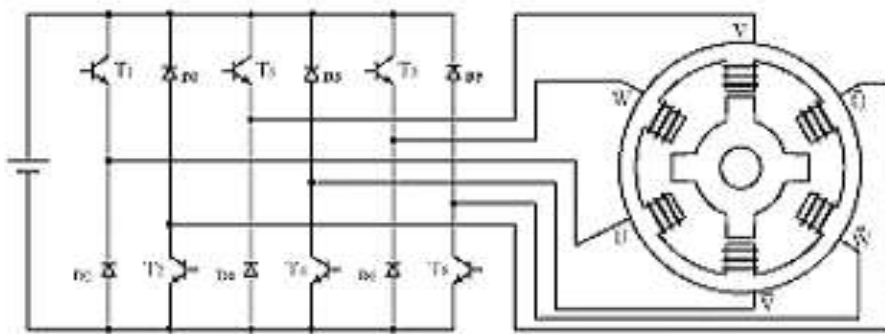


Рисунок 1 – Схема живлення SRM [5]

Більш типовою силовою схемою живлення SRM у проаналізованій літературі є мостова схема, яка містить силові керовані вентиля та діоди (рис. 1). Керування SRM як у режимі двигуна, так і у режимі генератора здійснюється зміною кута відкриття керованих вентилів.

Висновки

Запропоновано модель реактивної електричної машини з перемиканням магнітного потоку реалізовану у програмному середовищі Matlab/Simulink, яка дозволяє проводити її дослідження як у режимі двигуна при роботі на задане механічне навантаження, так і у режимі генератора при зменшенні частоти обертання від максимального значення до нуля з підтриманням заданих параметрів електричної енергії.

Література

1. Agrawal, Aniruddha & Bilgin, Berker & Haridas, Amrutha. (2024). Current Profiling Control for Torque Ripple Reduction in the Generating Mode of Operation of a Switched Reluctance Motor Drive. Symmetry. 16. 1278. 10.3390/sym16101278.
2. Guo, Qihao & Diallo, Demba & Bahri, Imen & Berthelot, Eric. (2023). Linearization for Output Voltage Control of Switched Reluctance Generator. IEEE Transactions on Industrial Electronics. PP. 1-9. 10.1109/TIE.2023.3296829.

3. Catata, Elmer Osman & de Paula, Marcelo & dos Santos Neto, Pedro & Filho, Ernesto & Luque Carcasi, Diodomiro & Barros, Tarcio. (2023). Direct average torque control of switched reluctance generator. IET Power Electronics. 16. 10.1049/pel2.12521.
4. Lin, Shangping & Huang, Yujie & Liaw, Changming. (2023). Wind SRG-Based Bipolar DC Microgrid with Grid-Connected and Plug-In Energy Supporting Functions. Energies. 16. 2962. 10.3390/en16072962.
5. Janjua Rajput, N. N. (2022). Performance Evaluation of Switched Reluctance Motor and Generator Under Same Operating Conditions. International Journal of Electrical Engineering & Emerging Technology, 5(2), 49–55. Retrieved from [http://www.ijeeet.com/index.php/ijeeet/ article/ view/130](http://www.ijeeet.com/index.php/ijeeet/article/view/130).

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЮ ГАЛЬМІВНОЮ СИСТЕМОЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ ABS ТА ESP

Нечаус Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент каф. АЕ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: nechaus@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8833-0802

Цвіренко Владислав Анатолійович, студент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: vlad_vine@icloud.com

Гальмівні системи сучасних автомобілів та електромобілів постійно вдосконалюються підвищуючи рівень безпеки автомобіля та комфорту водія [1-5]. При цьому, система гальмування інтегрується у сучасні системи активної безпеки та допомоги водію. Серед усіх відомих систем цього класу системи ABS та ESP вимагають додаткових пристроїв, таких як високошвидкісні електромагнітні клапани та насоси повернення масла, тобто мають електричну складову. Одним з напрямів принципового вдосконалення гальмівних систем є впровадження технології BBW (brake-by-wire) – керування гальмами за допомогою електричних сигналів. Серед найбільш відомих типів цієї технології можна виділити:

ЕНВ – електрогідравлічна гальмівна система;

ЕМВ – електромеханічна гальмівна система;

EWB – електро-клинова гальмівна система.

Ці типи гальмівних систем порівняно з традиційною гідравлічною системою мають такі переваги як простота будови, надійність роботи, гнучкість та безпеку гальмування, легкість реалізації додаткових функцій, а

також вони добре поєднуються з рекуперативною гальмівною системою гібридних та електромобілів.

Електричні виконавчі органи перелічених типів гальмівних систем, тобто електромагнітні клапани та насоси також є сучасними електромеханічними пристроями у яких поєднано всі сучасні досягнення техніки та технології. Зокрема у електромагнітних клапанах використовуються збірки Хальбаха з постійних магнітів на основі рідкоземельних елементів, а електричні двигуни насосів мають підвищені швидкодю та продуктивність при мінімальних розмірах.

Вся система BBW функціонально розділена на п'ять підсистем [2]:

1. Чотири колісні приводи, такі як EMB або EWB.
2. Електронний симулятор педалі та різні датчики для перетворення гальмівної дії водія, швидкості, обертів коліс та інших сигналів на електричні сигнали.
3. Система живленням електричного приводу та системи керування.
4. Мережа зв'язку для передачі різноманітних електричних сигналів. Зараз основною мережею зв'язку зазвичай є шина CAN, а допоміжною мережею є шина FlexRay.
5. Центральний електронний блок керування (ЕБК) та контролер приводу. ЕБК комплексно обчислює та обробляє всі сигнали, а також виробляє сигнал гальмування для контролера приводу. Контролер приводу регулює фактичне гальмівне зусилля відповідно до сигналу ЕБК та інших необхідних сигналів.

Таким чином BBW є виключно електронною гальмівною системою, яка потребує відповідних алгоритмів керування та забезпечення роботи окремих підсистем.

Щоб забезпечити достатню силу гальмування, гальмівний привод повинен забезпечувати силу затиску до десятків тисяч ньютонів. Однак об'єм та вага приводу мають бути якомога меншими. При впливі на передні колеса слід виключити вплив приводу в систему рульового керування.

Контролер виконавчого механізму повинен забезпечити алгоритм керування гальмівною силою з точки зору оптимального співвідношення швидкодії та точності відпрацювання керуючих сигналів.

Будова та принцип гальмування BBW сильно відрізняються від традиційної гідравлічної гальмівної системи, метод регулювання гальмівної сили також повністю відрізняється. Гідравлічна гальмівна система не здатна точно контролювати силу гальмування коліс, BBW навпаки – може точно визначати силу гальмування і регулювати швидкість ковзання коліс. Більшість існуючих ABS використовують «логічний пороговий контроль» замість «контролю швидкості ковзання».

Висновки

Вдосконалення гальмівних систем сучасних автомобілів з одного боку веде до підвищення їх надійності та ефективності, зменшення кількості компонентів. З іншого боку, потребують модифікації і алгоритми керування виконавчими елементами гальмівної системи у різних режимах гальмування та реалізації систем допомоги водію. Робота присвячена аналізу математичних моделей електромеханічних виконавчих органів сучасних типів гальмівних систем.

Література

1. Schrade, Simon & Nowak, Xi & Verhagen, Armin & Schramm, Dieter. (2022). Short Review of EMB Systems Related to Safety Concepts. *Actuators*. 11. 214. 10.3390/act11080214.
2. Gong, Xiaoxiang & Ge, Weiguo & Yan, Juan & Zhang, Yiwei & Gongye, Xiangyu. (2020). Review on the Development, Control Method and Application Prospect of Brake-by-Wire Actuator. *Actuators*. 9. 15. 10.3390/act9010015.
3. Li, Wenfei & Wang, Ming & Huang, Chao & Li, Boyuan. (2024). A Survey of Hybrid Braking System Control Methods. *World Electric Vehicle Journal*. 15. 372. 10.3390/wevj15080372.
4. Vignati, Michele & Belloni, Mattia & Tarsitano, Davide & Sabbioni, Edoardo. (2021). Optimal Cooperative Brake Distribution Strategy for IWM Vehicle Accounting for Electric and Friction Braking Torques. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. 1-19. 10.1155/2021/1088805.
5. Yu, Peng & Sun, Zhaoyue & Xu, Haoli & Ren, Yunyun & Chan, Ruby. (2023). Design and Analysis of Brake-by-Wire Unit Based on Direct Drive Pump–Valve Cooperative. *Actuators*. 12. 360. 10.3390/act12090360.

МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СУМІЩЕНИХ ІНВЕРТОРІВ ДВОМОТОРНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Нечаус Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент каф. АЕ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: nechaus@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8833-0802

Шевченко Олександр Владиславович, студент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: shevchenko220603@gmail.com

Використання у складі силової установки електромобіля двох тягових двигунів, наприклад, у вигляді мотор-колеса вимагає застосування двох інверторів для їх роздільного керування. Однак, при цьому двократно збільшується

кількість компонентів, що відповідно призводить до збільшення маси, об'єму та вартості системи живлення. Для зменшення кількості компонентів були розроблені спеціальні схеми суміщених інверторів [1, 2], дві з яких наведені на рис. 1. Перша схема інвертора (рис. 1, а) являє собою три паралельні гілки складені з трьох послідовно ввімкнених керованих вентилів, між якими підключено виводи фазних обмоток трифазних двигунів. У іноземній літературі [3, 4] таку схему традиційно називають «nine-switch inverter».

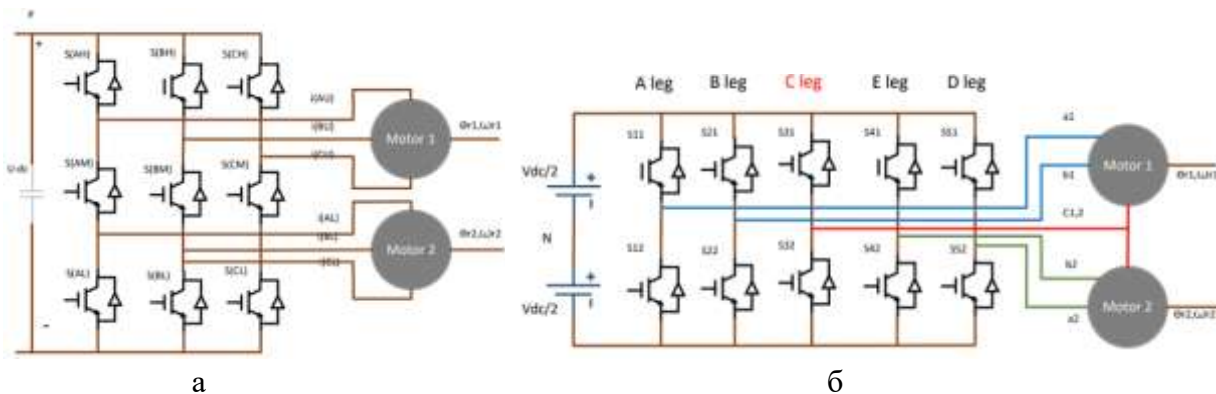


Рисунок 1 – Схеми суміщених інверторів для живлення двомоторної силової установки електромобіля [2]

Друга схема (рис. 1, б) являє собою два комплекти з чотирьох вентилів, зібраних за мостовою схемою, вони забезпечують роздільне живлення двох фаз кожної трифазної електричної машини, а окремі два вентиля утворюють фазу живлення загальну для третьої фази обох двигунів. У іноземній літературі [5-7] таку схему традиційно називають «five-leg inverter».

У проаналізованій літературі доводиться та обґрунтовується ефективність наведених схем суміщених інверторів при використанні їх не тільки у транспортному але і у промисловому використанні. Однак, аналізу надійності їх роботи у літературі не зустрічається. Запропоноване дослідження впливу на тягові характеристики електричних двигунів аварійних режимів роботи суміщеного інвертора, а також стійкості його роботи при виході з ладу окремих силових ключів, а також їх комбінацій. Як аварійні режими обрано коротке замикання у плечі схеми, та обрив плеча схеми. Дослідження проведене у програмному середовищі Matlab/Simulink. Отримані осцилограми аварійних режимів, проведено розрахунки тягових характеристик обох двигунів при різних комбінаціях аварійних станів суміщеного інвертора.

Висновки

Запропоновано реалізовану у програмному середовищі Matlab/Simulink модель, яка дозволяє проводити дослідження суміщених інверторів двомотор-

них силових установок електромобілів, включаючи їх роботу у різних режимах навантаження та аварійних режимах, пов'язаних з пошкодженнями окремих вентилів.

Література

1. Chau, K.T. (2015). Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application. <https://doi.org/10.1002/9781118752555>.
2. Ghaderi Talkhab S, Asad R. (2023). Reviewing and Comparing Different Algorithms and Topologies to Control the Speed of Multi Electric Train Motors by a Drive System. IJRARE 2023; 10 (1) : 45-60. URL: <http://ijrare.iust.ac.ir/article-1-324-en.html>.
3. Li, Jinhui & Qiu, Zhijian. (2023). Research on Optimization SVPWM Method of Nine-switch Inverter for Bearingless Motor Based on Reducing Switching Times. Journal of Physics: Conference Series. 2450. 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2450/1/012036>.
4. Gulbudak, Ozan & Gökdağ, Mustafa & Komurcugil, Hasan. (2021). Dual-sliding mode control of nine-switch inverter. International Transactions on Electrical Energy Systems. 31. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.13185>.
5. Dangeam, Sirichai & Kinnares, Vijit. (2015). Five-leg voltage source inverter for driving two single-phase induction motors. 156-161. <https://doi.org/10.1109/ICEMS.2014.7013456>.
6. G. Jing and C. Zhou. (2020). Control Strategy for a Five-Leg Inverter Supplying Dual Three-Phase PMSM, in IEEE Access, vol. 8, pp. 174480-174488, 2020, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3025392>.
7. Chavan, Gayatri & S, Sridhar. (2020). Speed Control of Dual Induction Motor Using Five Leg Inverter. E3S Web of Conferences. 184. 01065. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018401065>.

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПУСКУ ДВЗ

Дзюбенко Олександр Андрійович, канд. техн. наук,

доцент кафедри автомобільної електроніки,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: dzyubenko.alan@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0387-4956

Лимаренко Сергій Романович, студент,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Розвиток автомобільної галузі вимагає впровадження нових технологій, які сприяють підвищенню ефективності, довговічності та екологічності транспортних засобів. Однією з ключових задач у цьому напрямку є оптимізація роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), зокрема процесу його запуску.

Система пуску повинна забезпечувати надійний запуск двигуна при різних температурних умовах експлуатації автомобіля, малу тривалість пуску, можливість повторних пусків і зручність керування.

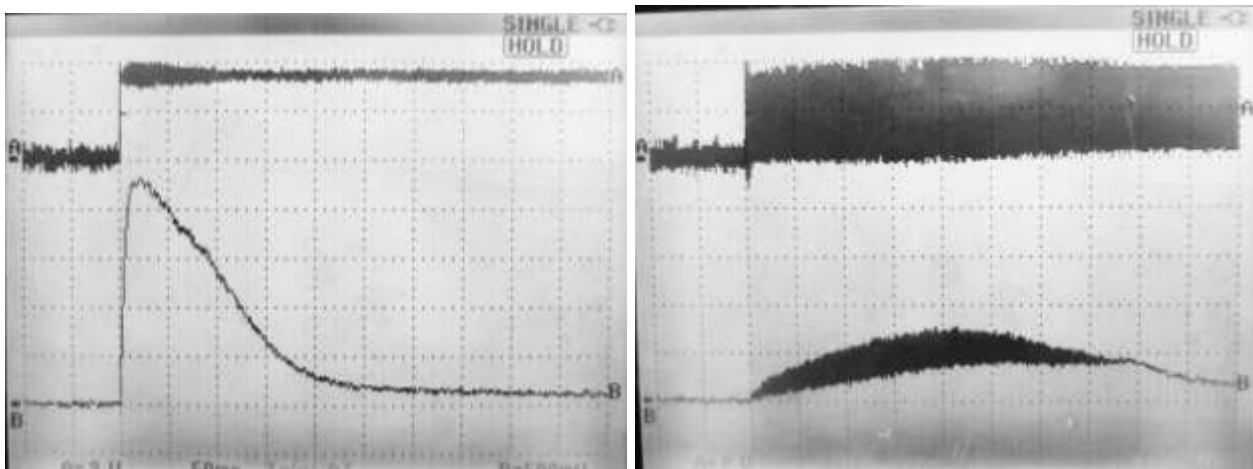
Електричний двигун стартера представляє собою колекторну електричну машину постійного струму, яка дає максимальне значення пускового моменту в будь-якому положенні якоря.

За електричною схемою стартери можуть виконуватись з послідовним та змішаним включенням обмоток збудження. Потужність стартера визначається крутним моментом під час пуску холодного ДВЗ з низькою температурою і досягає для легкових автомобілів до 2 кВт.

При цьому традиційна система пуску ДВЗ, яка використовує класичний електромеханічний стартер, супроводжується низькою проблем. Зокрема, під час запуску виникають ударні механічні навантаження на компоненти зубчастої передачі, що призводить до їх передчасного зносу. Крім того, високий піковий струм, який протікає через акумулятор та стартер, сприяє значному скороченню їхнього ресурсу. Ці фактори негативно впливають на загальну надійність і експлуатаційні характеристики автомобіля.

Натомість практичні дослідження показують, що використання технологій плавного пуску електроприводів може суттєво знизити ці навантаження. Таким чином, розробка системи м'якого пуску ДВЗ є актуальною задачею, що полягає в аналізі існуючих систем пуску ДВЗ, визначенні їх недоліків та розробка концепції м'якого пуску із застосуванням сучасних методів керування електроприводами.

Одним із перспективних підходів є застосування широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) для керування електроприводом стартера (рис. 1). Такий метод дозволяє забезпечити поступове підвищення струму та обертового моменту, що мінімізує механічні удари та пікові навантаження на електричну систему автомобіля, особливо на акумуляторну батарею.



а

б

Рисунок 1 – Осцилограми пускового струму ДПС

Використання ШІМ відбувається з поступовим збільшенням коефіцієнту заповнення імпульсу від 0 до 100 % протягом короткого часу. Експериментальні дослідження (рис. 1) показали, що використання м'якого пуску двигуна постійного струму із ШІМ затримкою в 0,4 с дозволяють зменшити сплеск пускового струму в 5 разів порівняно з релейною комутацією обмотки якоря.

Також експеримент показав, що швидкість наростання коефіцієнту заповнення ШІМ напряму впливає на величину пускового струму двигуна постійного струму.

Основною проблемою реалізації цього методу керування в системі пуску ДВЗ – є вибір силових напівпровідникових транзисторів, здатних комутувати високі струми. Оскільки пусковий струм стартера може сягати від 500 А до 700 А.

Вирішення цієї проблеми лежить в сучасних напівпровідникових пристроях, а конкретно в силових MOSFET транзисторах та досвіді їх використання в перетворювальній техніці. Робочі струми цих транзисторів сягають сотень ампер, а можливість паралельного включення дозволяє отримати необхідне значення струму комутації прямого керування стартерним струмом.

В роботі пропонується використати паралельне включення п'яти MOSFET транзисторів типу IRF3805S, що має постійний струм стоку $I_D = 160$ А, та отримати робочий струм якоря стартера 700 А.

Запропонований підхід до реалізації системи м'якого пуску ДВЗ із застосуванням ШІМ дозволяє суттєво знизити пікові механічні та електричні навантаження під час запуску. Експериментальні дослідження підтвердили ефективність цього методу, зокрема зменшення пускового струму в 5 разів порівняно з традиційними схемами релейного комутаційного запуску.

Впровадження цієї технології відкриває перспективи для підвищення довговічності стартера та акумуляторної батареї, зменшення механічного зносу компонентів зубчастої передачі, а також підвищення загальної надійності системи пуску ДВЗ. Це, своєю чергою, сприятиме покращенню експлуатаційних характеристик автомобілів та зниженню витрат на технічне обслуговування.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію алгоритмів керування ШІМ для різних умов експлуатації, а також інтеграцію запропонованого рішення в сучасні системи енергоменеджменту автомобілів.

УДК 004.89

АЛГОРИТМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ТРАЄКТОРНОГО КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ: МЕТОДИ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Макаренко Микола Григорович, доцент каф. «Трактори і автомобілі»,
Державний біотехнологічний університет,
e-mail: mak_nk@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4078-9045/

Шевченко Ігор Олександрович, канд. техн. наук, доцент, завідувач каф.
«Трактори і автомобілі», Державний біотехнологічний університет,
e-mail: igorshvchnk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1280-5290

Щербинський Ігор Олександрович, аспірант,
Державний біотехнологічний університет,
e-mail: ihor.shcherbinskyi@claas.com

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) у транспортні системи є одним із напрямків сучасної науки та техніки, що найбільш динамічно розвиваються. Автономні транспортні засоби, які здатні самостійно орієнтуватися в навколишньому середовищі та безпечно переміщуватися по заданій траєкторії, є ключовою складовою майбутніх інтелектуальних транспортних систем. Однією з центральних проблем цієї галузі є траєкторне керування – здатність транспортного засобу самостійно планувати і дотримуватися заданої траєкторії, адаптуючись до змінних умов навколишнього середовища.

Метою даної роботи є аналіз алгоритмів ШІ та МН, які використовуються для забезпечення траєкторного керування транспортними засобами. Розглянемо сучасні методи, ключові виклики та можливі перспективи розвитку, що сприятимуть вдосконаленню автономного керування транспортними засобами.

Класичні методи керування, такі як пропорційно-інтегрально-диференціальний контролер (PID) та передбачуване керування на основі моделей (Model Predictive Control, MPC), довгий час використовувалися для забезпечення руху транспортного засобу по заданій траєкторії. Ці методи базуються на математичному моделюванні динаміки транспортного засобу і дозволяють ефективно контролювати рух за відсутності значних змін у навколишньому середовищі [1–4].

PID-контролер використовує зворотний зв'язок для коригування руху транспортного засобу на основі різниці між бажаним та фактичним положенням. Хоча цей підхід є простим та ефективним, він має певні обмеження при роботі в умовах невизначеності.

Model Predictive Control (MPC) є більш складним методом, що використовує математичну модель транспортного засобу для прогнозування його майбутніх станів. MPC дозволяє враховувати різні обмеження системи і передбачає майбутні дії для мінімізації помилок.

Глибоке навчання (Deep Learning) є ключовою технологією, яка використовується для керування транспортними засобами в автономних системах. Завдяки здатності обробляти великі обсяги складних даних та виявляти приховані закономірності. Глибокі нейронні мережі відіграють центральну роль у різних аспектах керування, від розпізнавання об'єктів до планування руху.

Глибоке навчання дозволяє обробляти та аналізувати дані, які надходять з численних сенсорів транспортного засобу. Основні джерела інформації включають камери, радары, лідари та ультразвукові датчики. Кожен із цих сенсорів збирає різні типи даних: візуальні, відстань до об'єктів, швидкість руху транспортних засобів навколо тощо. Глибокі нейронні мережі здатні об'єднувати цю інформацію, створюючи повну картину навколишнього середовища.

Конволюційні нейронні мережі (CNN) використовуються для обробки візуальних даних (зображень з камер). Вони можуть розпізнавати дорожню розмітку, знаки, пішоходів, транспортні засоби та інші об'єкти, що є критичними для безпечного керування.

Лідарні дані використовуються для побудови тривимірної карти навколишнього середовища, що дає можливість точно визначати відстань до об'єктів і їхні розміри.

Розпізнавання об'єктів є ключовою задачею для автономного керування. Глибокі нейронні мережі можуть класифікувати об'єкти, такі як пішоходи, інші автомобілі, дорожні знаки, сигнали світлофора, на основі даних з камер та інших сенсорів. А обробка зображень за допомогою CNN дозволяє ідентифікувати й відстежувати рухомі об'єкти на дорозі. Наприклад, мережа може розпізнати пішохода, який переходить дорогу, і на основі цієї інформації скоригувати траєкторію або швидкість руху.

В цілому вони можуть використовуватися для планування та контролю траєкторії транспортного засобу в реальному часі. Основні аспекти їх застосування включають: передбачення та контроль траєкторії, розпізнавання об'єктів та навколишнього середовища, планування руху та вибір оптимальної траєкторії, навчання з підкріпленням для динамічного керування, автономне навчання на основі даних з багатьох джерел та адаптація до змінних умов.

Нейронні мережі зі зворотним зв'язком можуть постійно оновлювати свої знання на основі нових подій, що дозволяє транспортному засобу вчитися в реальному часі, покращуючи безпеку та ефективність керування.

Детектори об'єктів на основі глибокого навчання дозволяють системі точно визначати місцезнаходження об'єктів, їхню форму та швидкість, що

важливо для уникнення зіткнень. Глибоке навчання використовується також для планування траєкторії руху транспортного засобу. Це включає вибір оптимального шляху з урахуванням навколишнього середовища, поточних умов руху та прогнозування можливих змін.

Рекурентні нейронні мережі (RNN) та довготривала короткочасна пам'ять (LSTM) застосовуються для обробки послідовних даних, таких як зміни в русі транспортних засобів або поведінка інших учасників руху. Це дозволяє системі передбачати, як зміниться ситуація на дорозі, і планувати відповідну траєкторію. А генеративні нейронні мережі (GAN) можуть бути використані для моделювання та симуляції можливих сценаріїв руху, що допомагає системі визначати оптимальний шлях у складних умовах.

Одним із найперспективніших напрямків застосування глибокого навчання в керуванні транспортом є навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL). У цьому випадку агент (транспортний засіб) навчається шляхом взаємодії з середовищем.

Deep Q-Networks (DQN) — це алгоритми глибокого навчання з підкріпленням, які використовують нейронні мережі для визначення найкращих дій у реальному часі. Наприклад, автомобіль може навчитися самостійно змінювати смугу руху, об'їжджати перешкоди або паркуватися.

Навчання з підкріпленням у симуляціях дозволяє автомобілям «навчатися» віртуально, проходячи тисячі сценаріїв руху в симуляціях перед випробуванням на реальних дорогах.

Глибоке навчання дозволяє системам автономного керування адаптуватися до різних дорожніх умов та непередбачуваних ситуацій. Система може навчатися на основі нових даних, що постійно надходять від сенсорів, і покращувати свої моделі для прийняття рішень у нових або складних умовах, наприклад, при зміні погодних умов (дощ, сніг), в умовах поганої видимості або на незнайомих маршрутах.

Може використовуватись також імітаційне навчання (Imitation Learning), при якому нейронні мережі навчаються на основі дій, які виконують люди. Система вивчає поведінку досвідчених водіїв і використовує ці знання для самостійного керування. Це дозволяє створювати моделі, що можуть повторювати кращі практики водіння, зберігаючи при цьому автономність.

Глибоке навчання грає вирішальну роль у забезпеченні автономного керування транспортними засобами. Завдяки здатності аналізувати великі обсяги даних, адаптуватися до змінних умов та приймати рішення в реальному часі, глибокі нейронні мережі забезпечують безпеку, точність і ефективність роботи сучасних автономних систем. Подальший розвиток цієї технології сприятиме вдосконаленню автономного керування та впровадженню більшої кількості таких систем на дорогах.

Однак, незважаючи на значні досягнення, галузь стикається з численними викликами, одним із головних для автономних систем керування є робота в умовах невизначеності. Нестандартні дорожні умови, зміни погоди, несподівані перешкоди або поведінка інших учасників дорожнього руху створюють додаткові труднощі для прогнозування та контролю.

Для ефективного функціонування систем ШІ та МН необхідна велика кількість даних. Ці дані повинні охоплювати різноманітні сценарії, що можуть виникати на дорозі, включаючи міське та заміське середовище, різні погодні умови, наявність або відсутність дорожньої розмітки тощо. Збір та обробка таких даних є складним та дорогим процесом, який є критичним для побудови надійних систем.

Алгоритми глибокого навчання та навчання з підкріпленням вимагають значних обчислювальних ресурсів для навчання та роботи в реальному часі. Навіть із розвитком сучасних апаратних технологій, таких як графічні процесори (GPU) та спеціалізовані прискорювачі, виконання складних розрахунків у реальному часі залишається проблемою.

У майбутньому передбачається активна інтеграція різних методів і підходів для покращення траєкторного керування. Наприклад, поєднання класичних алгоритмів контролю, таких як MPC, з методами глибокого навчання може дати більш стабільні та точні результати в різних дорожніх умовах.

Сенсорні технології продовжують розвиватися, і це значно підвищить точність роботи алгоритмів ШІ. Вдосконалення таких сенсорів, як лідари, радары та камери, дозволить збирати більш точні дані про навколишнє середовище, що, в свою чергу, покращить роботу систем керування. А подальший розвиток алгоритмів самонавчання, таких як глибоке навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning), дозволить транспортним засобам навчатися в реальному часі, адаптуючись до нових ситуацій. Це особливо важливо для роботи в складних умовах або на незнайомих маршрутах.

Висновки

Алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання відіграють центральну роль у розвитку автономних транспортних систем, зокрема для забезпечення траєкторного керування. Поєднання класичних методів контролю з сучасними підходами глибокого навчання та навчання з підкріпленням дає змогу транспортним засобам працювати в умовах реального світу з високою ефективністю та точністю.

Література

1. Макаренко М. Г., Бондаренко В. О. Використання інтелектуальних систем керування стійкістю та тяговим контролем автомобіля. // Матеріали XX міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті" 04-05. 04. 2024. Харків : ДБТУ, 2024 С. 154.

2. Макаренко М.Г., Калашник Є.А. Роль інформаційних технологій у вдосконаленні функціональних можливостей блочно-модульних тракторів. // Технічний прогрес в АПВ: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 21-22 травня 2024 року / Державний біотехнологічний університет. Харків, 2024. С. 67-68.

3. Макаренко М. Г., Пиріжок В. І. Використання штучного інтелекту у вбудованих системах сільськогосподарських тракторів. // Матеріали XX міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті" 04-05. 04. 2024. Харків: ДБТУ, 2024 С. 192.

4. Макаренко М. Г., Шевченко І. О., Хейло В. О., Пиріжок В. І. Електронні системи керування та діагностики сучасних автомобілів: проблеми і рішення. // Збірник тез та доповідей міжнародної конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії». 11–12 березня 2024 року, ХНАДУ, Харків, 2024. С. 274-278.

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC POWER SUPPLY SYSTEM FOR A SWITCHED RELUCTANCE MOTOR WITH HYBRID EXCITATION AS PART OF THE POWERTRAIN OF AN ELECTRIC VEHICLE

Andrii Nechaus, PhD, Associate Professor of Department of Automobile Electronics, Kharkiv National Automobile and Highway University,
e-mail: nechaus@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8833-0802

Mykhailo Kadnai, student, Kharkiv National Automobile and Highway University,
e-mail: mikadnaj@gmail.com

During the execution of a student scientific competition project, a comparison of the design of promising types of electric motors for the powertrain of an electric vehicle was conducted. In particular, switched reluctance machines (SRM), Flux Switching PM Machines (FSPMM), Flux Switching Winding Excitation Machines (FSWFM), and Flux Switching Hybrid Excitation Machines (FSHEM) [1-3] were considered. Based on the analysis, a conclusion was made regarding the structural similarity of the magnetic systems of these motor types. This suggests the possibility of unifying the manufacturing process for mass production of electric motors that essentially belong to different types (Figure 1).

The application of winding excitation or hybrid excitation significantly expands the control capabilities of SRM. In the case of an FSWFM, it becomes possible to regulate the magnetic flux by adjusting the excitation current. In the case of an FSHEM, the magnetic flux of the permanent magnets (PM) can be strengthened or weakened by varying the magnitude and direction of the excitation current. Increasing the magnetic flux allows for a higher torque output when acceleration is needed, while reducing the flux at cruising speeds improves motor efficiency [4-11].

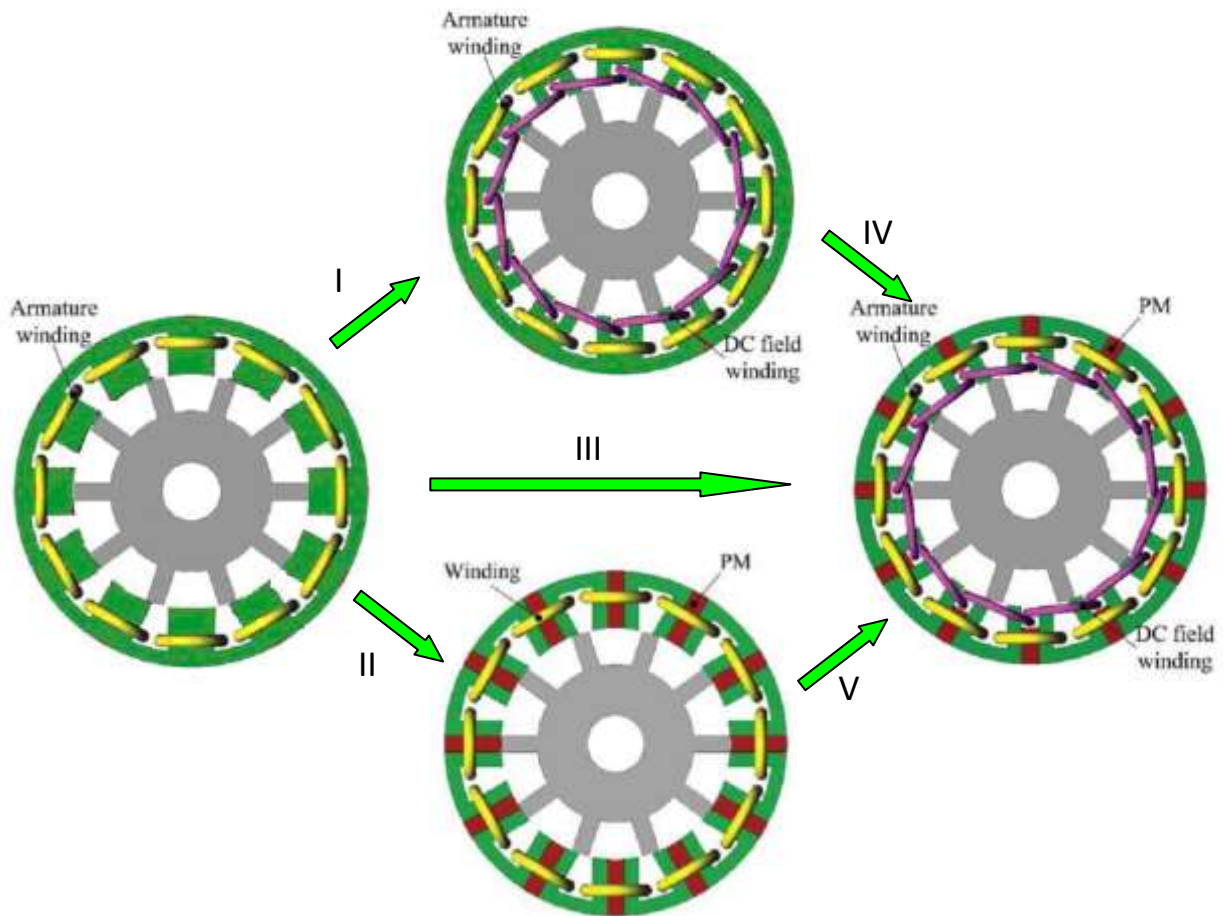


Figure 1 – Transformation SRM to FSWFM, FSPMM and FSHEM

However, generating the excitation current requires an additional DC power source. This source must be capable of controlling both the magnitude and direction of the current. As a result, the motor control system becomes more complex due to the inclusion of an additional DC/DC converter (Figure 2, a).

In Figure 2, b, the simplest and most common converter circuit based on a typical H-bridge converter is presented. A key aspect of this converter's operation within a hybrid excitation system is that the magnetic flux generated by the excitation winding must be comparable in magnitude to both the working magnetic flux of the motor and that of the permanent magnets (PM). This means that the excitation winding current is comparable to the working current of the motor.

To ensure smooth regulation of the excitation current, the power transistors of the DC/DC converter must operate over a wide range of states, from fully off to fully on. Consequently, this results in significant power dissipation in the switches, leading to substantial energy losses.

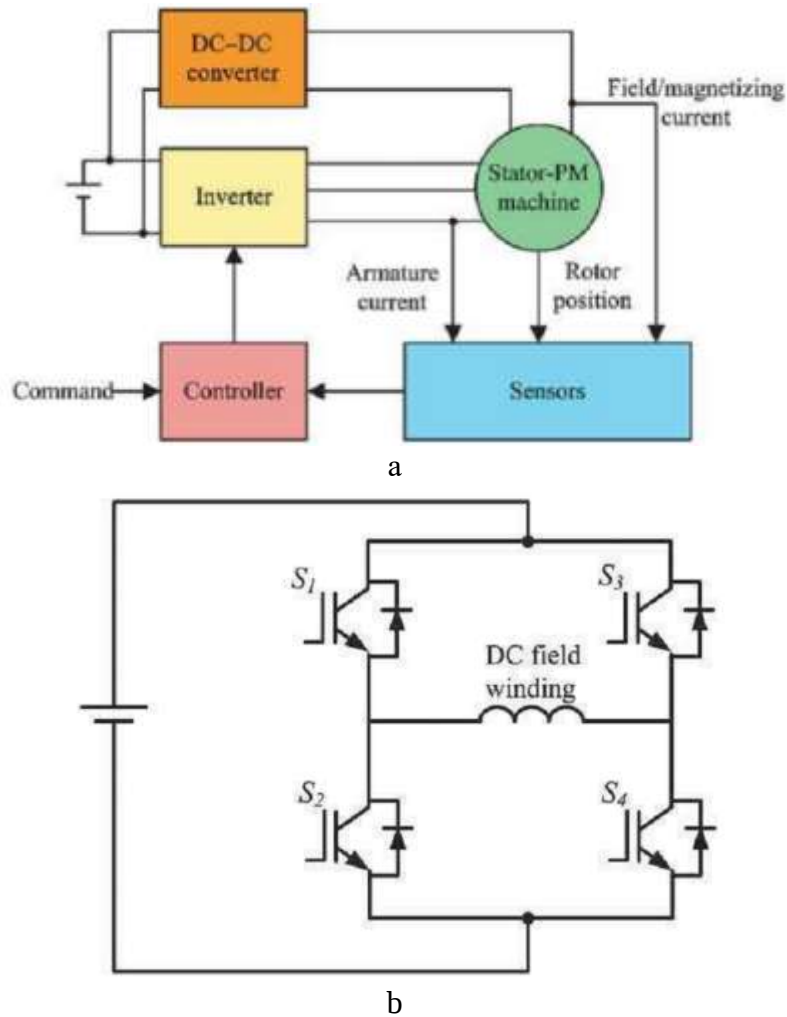


Figure 2 – Configuration of doubly-fed FSWFM (a), power circuit for DC field winding (b) [2]

The use of pulse-width modulation (PWM) in the operation of the H-bridge converter leads to additional magnetic flux ripple in the FSHEM, which is one of its main drawbacks. Therefore, additional measures are required to reduce magnetic flux ripple and minimize energy losses in the switching elements.

Conclusion

An electrical circuit and an operating algorithm for the power switch driver of the DC/DC converter in the FSHEM hybrid excitation system have been proposed. This solution minimizes energy losses in the excitation circuit by utilizing PWM and smoothing the current ripple of the H-bridge converter.

References

1. El Hadraoui, H., Zegrari, M., Chebak, A., Laayati, O., & Guennouni, N. (2022). A Multi-Criteria Analysis and Trends of Electric Motors for Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 13(4), 65. <https://doi.org/10.3390/wevj13040065>.

-
2. Chau, K.T. (2015). Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application. 10.1002/9781118752555.
 3. Hillary, Idoko & Akuru, Udochukwu & Wang, Rong-Jie & Popoola, Olawale. (2022). Potentials of Brushless Stator-Mounted Machines in Electric Vehicle Drives – A Literature Review. *World Electric Vehicle Journal*. 13. 93. 10.3390/wevj13050093.
 4. Jenal, Mahyuzie & Sulaiman, Erwan & Omar, Mohd Fairoz & Romalan, Gadafi & Soomro, Hassan. (2015). Development of a novel permanent magnet flux switching machine prototype for light weight electric vehicles. 739-744. 10.1109/SCORED.2015.7449436.
 5. Chiweta E. Abunike, Milad Dowlatshahi, Aliakbar Jamshidi Far, Ogbonnaya I. Okoro, Sumeet S. Aphale, Multi-objective optimization of a flux switching wound field machine using a response surface-based multi-level design approach, *Results in Engineering*, Volume 25, 2025, 103988, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.103988>.
 6. Khan, F., Sulaiman, E., Ahmad, Z., & Husin, Z.A. (2015). Design and analysis of wound field three-phase flux switching machine with non-overlap windings and salient rotor. 10.15676/ijeel.2015.7.2.12.
 7. Diab, H., Amara, Y., Hlioui, S., & Paulides, J. J. H. (2021). Design and Realization of a Hybrid Excited Flux Switching Vernier Machine for Renewable Energy Conversion. *Energies*, 14(19), 6060. <https://doi.org/10.3390/en14196060>.
 8. Nasr, Andre & Hlioui, Sami & Gabsi, Mohamed & Mairie, Mathieu & Lalevee, Didier. (2017). Design Optimization of a Hybrid-Excited Flux-Switching Machine for Aircraft-Safe DC Power Generation Using a Diode Bridge Rectifier. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. PP. 1-1. 10.1109/TIE.2017.2726974.
 9. Cinti, Luca & Bianchi, Nicola. (2021). Hybrid-Excited PM Motor for Electric Vehicle. *Energies*. 14. 916. <https://doi.org/10.3390/en14040916>.
 10. Ma, J., Gu, F., Wang, L., Ma, S., Golmohammadi, A.-M., & Zhang, S. (2024). The Design and Optimization of a Novel Hybrid Excitation Generator for Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 15(4), 139. <https://doi.org/10.3390/wevj15040139>.
 11. Wang, Shensheng & Zhu, Ziqiang & Pride, Adam & Shi, Juntao & Deodhar, Rajesh & Umemura, Chiaki. (2022). Comparison of Different Winding Configurations for Dual Three-Phase Interior PM Machines in Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*. 13. 51. <https://doi.org/10.3390/wevj13030051>.

Секція 9. ТРАДИЦІЙНІ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

ВИКОРИСТАННЯ ГАЗУ БРАУНА В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Корпач Анатолій Олександрович, к.т.н., професор,
Національний транспортний університет,
e-mail: akorpach@ukr.net ,ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7070-7883>
Основа Дмитро Олексійович, студент,
Національний транспортний університет, e-mail: dosnova7@gmail.com

У сучасних умовах, коли ресурси відіграють ключову роль, питання енергетичної безпеки та ефективного використання енергетичних ресурсів є одними з найактуальніших і найскладніших. Вичерпання традиційних джерел енергії, зокрема нафти та природного газу, змушує вчених активно шукати та впроваджувати альтернативні варіанти. Особливо гострою ця проблема стає в умовах конфліктів, оскільки зростання цін на нафтові палива через інфляцію значно підвищує витрати на їх закупівлю. У цьому контексті одним із можливих рішень є використання водневих палив, зокрема газу Брауна, який має значний енергетичний потенціал.

Водень є надзвичайно ефективним паливом. Під час згоряння він забезпечує температуру, аналогічну природному газу, проте виділяє у 3,5 рази більше теплової енергії на одиницю маси порівняно з вуглеводнями, такими як нафта чи вугілля. Водночас, водень є одним із найбільш вибухонебезпечних газів, а його транспортування у газоподібному або рідкому стані на борту транспортних засобів пов'язане з високими ризиками, що може підвищити небезпеку для пасажирів і водіїв при роботі двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) на водневому паливі [1].

Застосування водневих палив, зокрема газу Брауна, є доцільним. Газ Брауна отримується методом електролізу води, причому, його виробництво можливе безпосередньо на транспортному засобі. Хімічна формула газу Брауна (ННО) відрізняється від формули водню, що застосовується у промисловості. Він складається з двох частин водню та однієї частини кисню, що відповідає співвідношенню елементів у водяній парі.

У звичайних молекулах водню (H_2) та кисню (O_2) міститься по два атоми, що робить їх більш стабільними. У процесі електролізу води молекули розпадаються на атоми, і саме у газі Брауна водень і кисень перебувають в атомарному стані. Це забезпечує більшу енергетичну ефективність у

порівнянні з двоатомним станом молекул. Для розщеплення води електролізом потрібно 442,4 кілокалорії на моль, що є ендотермічним процесом. Якщо зменшити утворення двоатомних молекул, електроліт не нагріватиметься, що підвищить кількість отриманого газу. Один літр води може дати 1866,6 л газу Брауна, тоді як у двоатомному стані ($\text{H}_2\text{:O}_2$) вихід становить 933,3 л. При спалюванні атомарного водню температура полум'я вища, оскільки не витрачається енергія на розщеплення молекул H_2 та O_2 . Це пояснює унікальні властивості газу Брауна, зокрема його здатність плавити вольфрам та утворювати лазероподібні отвори у металі, дереві та кераміці [2].

Використання газу Брауна у ДВЗ дозволяє підвищити ефективність згоряння палива, що сприяє збільшенню потужності двигуна, покращенню економічності та зменшенню шкідливих викидів. Атомарний водень у складі газу Брауна діє як потужний каталізатор, що покращує процес горіння [2].

Одним із ключових підтверджень ефективності газу Брауна є результати його використання у ДВЗ. Атомарний водень значно покращує згоряння традиційних вуглеводневих палив, що дозволяє підвищити потужність, пробіг і чистоту відпрацьованих газів. Дослідження Юла Брауна підтвердили цей ефект. Він створив експериментальний автомобіль і отримав патент у США на розробку системи подачі газу Брауна. До складу пристрою входять електролізер, резервуар, оптимізатор і система керування. Газ утворюється в електролізері та подається через водяний затвор у впускний трубопровід двигуна, де забезпечує покращене горіння та очищення клапанів і поршнів від нагару. Внаслідок згоряння утворюється водяна пара, яка додатково зменшує знос двигуна [3].

В Національного транспортного університету була створена експериментальна система живлення для отримання газу Брауна на борту автомобіля та проведені випробування автомобіля ЗАЗ-1102 "Таврія" з двигуном МеМЗ-245 у міських умовах Києва. Для досліджень автомобіль обладнувався установкою для використання газу Брауна, який подавався із електролізера, живлений якого від бортової електромережі. Газ Брауна вводився у впускний трубопровід після повітроочисника [4, 5]. Результати показали, що застосування цього газу, як додавання до традиційного палива, дозволяє знизити витрату палива (бензину) на 1,6% порівняно з використанням лише бензину.

Висновок

Дослідження підтверджують ефективність газу Брауна, як альтернативної добавки до традиційних палив. Головна його перевага – можливість виробництва з відновлюваних джерел, що дозволяє локальне виготовлення та знижує залежність від викопного палива. Це може сприяти збільшенню пробігу автомобілів без збільшення паливного бака. Загалом, переваги газу Брауна

переважають його недоліки, що робить його перспективним напрямком розвитку паливної енергетики.

Література

1. Хігман К., Мартен Маг Де Бург. Газифікація. Бельгія, 2005. 391 с.
2. <https://hydrogeneesti.ee/ru/about-hho/> (дата звернення 1.02.2025 р.).
3. https://sintezgaz.org.ua/1_articles/127/что-такое-gaz-brauna (дата звернення 2.02.2025 р.).
4. Система живлення двигуна внутрішнього згорання з іскровим запалюванням: А.О. Корпач, О.Д. Філоненко, С.В. Карев, О.А. Корпач, Є.В. Шуба. Патент на корисну модель, F02M13/00, № 109165, опубл. 10.08.2016, бюл. №15. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/632213/>.
5. Система живлення двигуна внутрішнього згорання з іскровим запалюванням: А.О. Корпач, М.І. Гуменчук О.А. Корпач. Патент на корисну модель, F02D 1/04 (2006.01) F02B 1/00, № 135979, опубл. 25.07.2019, бюл. №14. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1371965/>.

ТРАДИЦІЙНІ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ СУДНА

Худяков Ігор Валентинович, канд. техн. наук, доцент кафедри СТСК,
Херсонська державна морська академія,
e-mail: igor.khudiakov563@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8900-7879

Грицук Ігор Валерійович, проф. техн. наук, професор кафедри СТСК,
Херсонська державна морська академія,
e-mail: gritsuk_iv@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7065-6820

Погорлецький Дмитро Сергійович, канд. техн. наук, доцент кафедри СТСК,
Херсонська державна морська академія,
e-mail: dimon150582@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1256-8053,

Черненко Валентина Володимирівна, старший викл. кафедри СТСК,
Херсонська державна морська академія,
e-mail: v.chernenko18@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2013-7058

Кальченко Володимир Віталійович, докт. техн. наук, професор кафедри
автомобільного транспорту та галузевого машинобудування,
Національний Університет «Чернігівська політехніка»,
e-mail: kalchenkovi@stu.cn.ua, ORCID: 0000-0002-9850-7875

Вступ. Судноплавство є одним із ключових елементів світової транспортної системи. Традиційно судна використовують дизельне паливо та мазут, однак зростаючі екологічні вимоги спонукають до впровадження альтерна-

тивних джерел енергії. Метою цієї статті є аналіз сучасних видів суднового палива та перспектив їх застосування.

Основний матеріал. Традиційні види палива включають [1]:

- Дизельне паливо (MDO, MGO) – широко застосовується через високу ефективність та доступність.

- Мазут (HFO) – дешевше паливо, але має високий рівень викидів сірки та інших забруднюючих речовин.

Статистичні дані свідчать, що щорічно світовий флот споживає понад 330 млн тонн традиційного палива, причому мазут становить близько 75% від цього обсягу [1].

У зв'язку з екологічними обмеженнями активно розвиваються альтернативні види палива [2]:

- Зріджений природний газ (ЗПГ) – забезпечує значне зниження викидів CO₂ та SO₂.

- Метанол – має низьку токсичність та може вироблятися з відновлюваних джерел.

- Біопаливо – зменшує викиди парникових газів.

- Водень – потенційне джерело енергії, але потребує значних інвестицій у зберігання та інфраструктуру.

Перехід на альтернативні види палива дозволяє [3]:

- Зменшити викиди парникових газів.

- Відповідати міжнародним екологічним стандартам (ІМО 2020).

- Знизити витрати на утилізацію відходів.

Ціна палива є одним із головних факторів, що впливають на вибір енергетичних систем судна [2]. Аналіз середніх ринкових цін показує:

- Мазут (HFO) – найдешевше паливо, з ціною близько 400-600 доларів за тонну, проте воно має високий вміст сірки.

- Дизельне паливо (MGO, MDO) – дорожче за мазут (700-900 доларів за тонну), але забезпечує менше забруднення.

- ЗПГ – має вищу вартість інфраструктури, але паливо саме по собі дешевше (~500-700 доларів за тонну).

- Метанол і водень – мають високу вартість виробництва, що значно перевищує ціни традиційного палива.

Економічний аналіз свідчить, що хоча альтернативні види палива мають вищу початкову вартість, їхнє використання може бути вигідним у довгостроковій перспективі завдяки податковим пільгам і зниженню екологічних штрафів.

Висновки

Зважаючи на сучасні екологічні виклики, перехід на альтернативні види палива є необхідним. Проте він потребує значних фінансових та технологічних

вкладень. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення технологій використання чистої енергії у судноплавстві.

Література

1. International Maritime Organization (IMO). Regulations and Fuel Consumption Reports. URL: <https://www.imo.org>.
2. ResearchGate: Alternative Marine Fuels. URL: <https://www.researchgate.net>.
3. DSpace Kharkiv: Аналіз суднових палив. URL: <https://dspace.univer.kharkiv.ua>.

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ, ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Нерубацький Володимир Павлович, к.т.н, доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки,

Український державний університет залізничного транспорту,

e-mail: NVP9@i.ua, ORCID: 0000-0002-4309-601X

Шапалова Дар'я Сергіївна, здобувачка вищої освіти,

Український державний університет залізничного транспорту,

e-mail: dashashapovalova2017@gmail.com

Водень – найлегший та найпоширеніший хімічний елемент у Всесвіті, який має величезний енергетичний потенціал. Він не зустрічається у вільному вигляді, але входить до складу води, органічних сполук і багатьох мінералів [1]. Основна перевага водню як джерела енергії – його екологічність, адже при спалюванні або використанні в паливних елементах утворюється лише вода. Крім того, водень має високу енергетичну щільність, що робить його ефективним паливом для різних галузей економіки.

Для отримання водневого палива існує кілька технологічних підходів. Найбільш екологічним є електроліз води, особливо за умови експлуатації відновлюваної енергії, що дозволяє отримувати так званий “зелений” водень. Однак промислове виробництво водню найчастіше здійснюється за допомогою парової конверсії метану, що є високоефективним процесом, але має значні викиди CO₂. Для зменшення цього негативного впливу застосовують методи уловлювання і збереження вуглецю, що дозволяє отримувати “блакитний” водень. Окрім цього, досліджуються альтернативні методи, зокрема газифікація біомаси (для отримання “біоводню”), піроліз метану, а також фотоелектрохімічний розклад води та біологічне виробництво. Розвиток цих технологій

сприяє створенню екологічно чистої енергетики і зменшення викидів парникових газів [2].

Однак ефективне використання водню неможливе без вирішення проблем накопичення та транспортування. Водень характеризується низькою густиною і високою леткістю, що вимагає створення спеціальних умов для його безпечного транспортування та зберігання. Найпоширенішим методом є транспортування водню трубопроводами, що дозволяє передавати великі обсяги на відстані, але цей метод потребує великих інвестицій у спеціалізовану інфраструктуру. Інші варіанти включають перевезення стиснутого водню в балонах або цистернах, що забезпечує мобільність, хоча й обмежує місткість. Рідкий водень, який транспортується при наднизьких температурах, дозволяє зберігати великі обсяги, але потребує значних енергетичних витрат. Перспективними варіантами є хімічні носії водню, такі як амоніак чи органічні рідкі сполуки, які дозволяють безпечно транспортувати водень у стабільному стані. Крім того, активно розвиваються металогідридні системи, що можуть абсорбувати водень і вивільняти його за потреби [3].

Водневі технології знаходять усе більше застосування в різних галузях, сприяючи розвитку екологічно чистої енергетики та зниженню викидів вуглекислого газу. У транспортній сфері можна використовувати водневе паливо для живлення автомобілів, автобусів, вантажівок, поїздів і навіть літаків, забезпечуючи довготривалу роботу без шкідливих викидів. Водневі двигуни мають високу енергоефективність, а єдиним продуктом їх роботи є водяна пара, що робить їх перспективною альтернативою традиційним видам палива. У промисловості водень необхідний для виробництва амоніаку, метанолу, у металургії для очищення металів, а також у нафтохімічній галузі для переробки нафти. Зокрема, його застосування дозволяє зменшити використання вуглецю у виробничих процесах. В енергетиці для накопичення надлишкової електроенергії, отриманої з відновлюваних джерел (вітру та сонця), значну роль відіграє водень, забезпечуючи баланс електромереж і стабільність енергосистеми [4]. Він може використовуватися у газотурбінних установках, змішуючись із природним газом, що знижує рівень викидів. Активний розвиток водневих технологій сприятиме створенню сталої енергетичної інфраструктури, яка не буде залежати від викопного палива та покращення екологічної ситуації у світі.

Попри значні переваги, широке використання водню стикається з низькою труднощі. Насамперед це висока вартість виробництва “зеленого” водню через необхідність використання дорогих електролізерів і великої кількості електроенергії. Додатково, недостатній рівень розвитку інфраструктури для його транспортування та зберігання також є стримувальним фактором. Окрему увагу слід приділяти питанням безпеки, адже водень – вибухонебезпечний газ, який потребує спеціальних умов зберігання.

Враховуючи ці виклики, країни світу активно інвестують у розвиток водневої економіки, розробляючи національні стратегії та підтримуючи дослідження нових технологій. З кожним роком вартість виробництва “зеленого” водню знижується, а технологічний прогрес сприяє його ефективнішому використанню. Очікується, що водень стане ключовим елементом у стратегіях декарбонізації енергетики та промисловості, допомагаючи знизити викиди парникових газів і створити стійку енергетичну систему [5].

Таким чином, водень має всі передумови стати основою чистої енергетики майбутнього. Він може відіграти важливу роль у зменшенні викидів парникових газів, підвищенні енергетичної безпеки та розвитку відновлюваних джерел енергії. Проте його широкомасштабне впровадження потребує значних інвестицій у наукові дослідження, інфраструктуру та безпечні технології використання.

Література

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / За ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 82 с.
2. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
3. Гуцаленко О. В., Василенко Т. С. Перспективи застосування водню як альтернативного джерела енергії. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2014. Вип. 1. С. 193–200.
4. Stel'mashenko Y. O., Filippova V. D. State policy on hydrogen energy development as an alternative energy source. Bulletin of Kherson National Technical University. 2023. Vol. 1(84). P. 244–249.
5. Shrayber O. A., Dubrovskiy V. V., Teslenko O. I. Current state and prospects for the development of hydrogen energy in the world. Scientific Notes of V. I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences. 2021. Vol. 32(71). P. 199–209.

УДК 621.43

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНИХ СУМІШЕЙ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОБОТУ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНА

Гнип Марія Михайлівна, докт. філософії, доцент кафедри АТ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
e-mail: mariia.hnyp@nung.edu.ua, ORCID: 0000-0003-3662-0941

Актуальність теми роботи пов'язана з транспортною галуззю, яка є дуже важливою. Залежність від нафти та її імпорту має значний вплив на Україну, тому вживаються різні заходи для зменшення цієї залежності.

Метою є дослідження показників суміші ріпакова олія – бутанол, що впливають на роботу системи живлення ДВЗ.

Об'єктом дослідження є фізико-хімічні та експлуатаційні показники паливної суміші.

Предметом дослідження є сумішеве паливо, двигун внутрішнього згоряння в процесі експлуатації на паливній суміші.

Олії, отримані з різних рослин, можна розглядати як альтернативу викопному паливу.

Відомо, що багато проблем виникають через використання сирової олії. Тому для того, щоб можна було її використовувати в сучасних ДВЗ, перетворюють складними ефірами (наприклад RME). Основні з них, які виникають під час роботи двигуна на чистих маслах, представлені в таблиці 1 [1].

Вивчивши різні види альтернативного палива, було помічено, що використання двокомпонентних олійно-бутанолових сумішей в дизельному двигуні є досить недослідженою областю. Вибір ріпакової олії як досліджуваного компонента пов'язаний з кількома ознаками. Це культура, яка вирощується в Україні та країнах Європи і, на відміну від соняшнику, може вирощуватися в більш холодних кліматичних зонах. Це також відновлюване джерело енергії.

Бутанол обраний другим компонентом завдяки його позитивним властивостям порівняно з іншими спиртами нижчого порядку.

Густина визначалась за кімнатної температури (20 °C) за допомогою ареометра, а потім перетворювалась на 15 °C, 40 °C і 100 °C [2].

З підвищенням температури густина суміші зменшується. Також густина зменшується зі збільшенням концентрації бутанолу. Результати, отримані при 20 °C для сумішей RA, RA5, RA10, RA15, RA20, становлять 0,917 г/см³, 0,911 г/см³, 0,906 г/см³, 0,901 г/см³ і 0,894 г/см³ відповідно.

Температури спалаху сумішей RA5, RA10, RA15 і RA20 з бутанолом значно нижчі (приблизно 41 °С), ніж для ріпакової олії (приблизно 146 °С). Відповідно температура займання цих сумішей знижується до 50 °С.

Цетанове число було отримано згідно з принципом адитивності [3]. Графік залежності цетанового числа від концентрації бутанолу в ріпаковій олії зображено на рис. 1.

$$ЦЧ = ЦЧ_{Bu}\phi + ЦЧ_{RA}(1-\phi), \quad (1)$$

де $ЦЧ_{Bu}$ – цетанове число бутанолу;

$ЦЧ_{Ra}$ – цетанове число ріпакової олії;

ϕ – частка бутанолу в суміші.

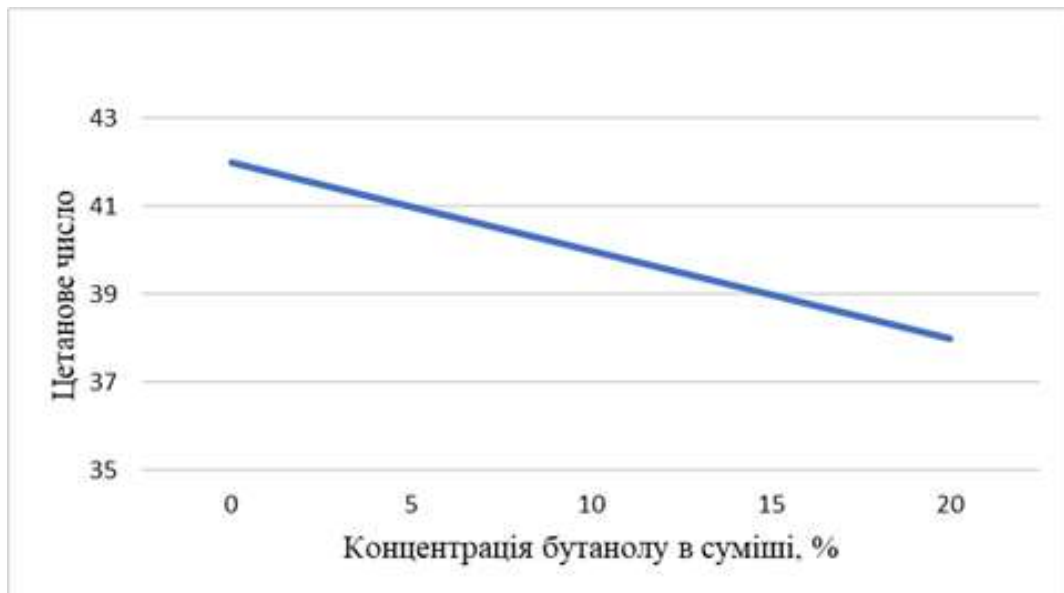


Рисунок 1 – Залежність цетанового числа від концентрації бутанолу в ріпаковій олії

Кінематичну в'язкість досліджуваних сумішей визначають шляхом вимірювання динамічної в'язкості, а потім діленням на густину відповідної суміші [2].

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (2)$$

де: ν – кінематична в'язкість, мм²/с;

μ – динамічна в'язкість, мПа·с;

ρ – густина, г/см³

Таблиця 1 – Основні проблеми, які виникають при роботі двигуна на чистих оліях [1]

№ п/п	Проблема	Причина	Рішення
1.	Утруднений запуск двигуна в холодну погоду.	Висока в'язкість, низьке цетанове число, висока температура спалаху	Підігрів масла перед вприскуванням. Переробити олію хімічним шляхом у складний ефір.
2.	Гучна робота двигуна.	Низьке цетанове число деяких олій. Неправильно налаштована система згорання.	Відрегулюйте систему згорання. Використовуйте двигуни з вищим ступенем стиснення. Підігрів масла перед вприскуванням.
3.	Нагар на поршнях і головці двигуна.	Висока в'язкість, неповне згорання масла. Погана горючість при невеликому навантаженні.	Переробити олію хімічним шляхом у складний ефір.

Результати динамічної в'язкості визначаються для трьох температур: 15°C, 40 °C і 100 °C.

Як видно з отриманих даних на рис. 2, збільшення кількості бутанолу в ріпаковій олії зменшує кінематичну в'язкість. Це пояснюється тим, що кінематична в'язкість бутанолу відносно низька – 2,4 мм²/с при 25 °C.

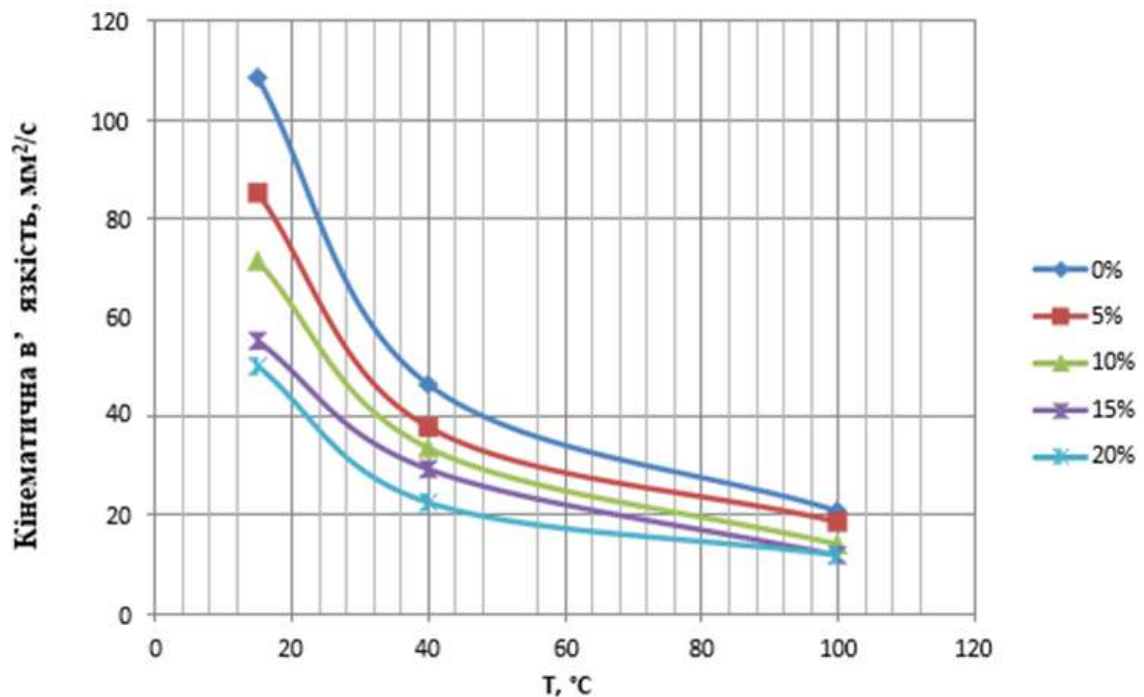


Рисунок 2 – Залежність кінематичної в'язкості сумішей від температури

Вимірjana кінематична в'язкість є найвищою для ріпакової олії та зменшується зі збільшенням концентрації бутанолу. При максимальній концентрації бутанолу 20% і температурі 15 °C кінематична в'язкість знизилася на 53% порівняно з РА. При 45 °C і 100 °C зниження кінематичної в'язкості становить 52% і 47% відповідно. Звідси видно, що зі збільшенням температури відсохкове зниження залишається таким же і коливається в межах 50%.

Хоча бутанол покращує параметри двигуна, але найбільш реальна сфера застосування сумішей ріпакової олії та бутанолу – в сільськогосподарських машинах та інших тихохідних двигунах. Фермери, які вирощують ріпак, можуть використати частину врожаю, спресувавши його та використавши як паливо. Це забезпечило б незалежність від дизеля.

Висновки

У роботі вирішені наступні науково-практичні задачі.

Проаналізовано вибір другого компонента паливної суміші.

Визначено кінематичну в'язкість, густину, цетанове число (ЦС) та температуру спалаху суміші ріпакової олії з бутанолом та обґрунтовано доцільність використання даної суміші в дизельних ДВЗ.

Література

1. Ma, F, ir MA Hanna. „Biodiesel production: a review.“ Bioresource Technology 70, nr. 1 (1999): 15.
2. Гаєва Л. Використання експлуатаційних матеріалів і економія паливно-енергетичних ресурсів: навч. посіб. / Л. Гаєва, М. Гордійчук. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 272 с.
3. Малащук Ю.В. Розрахунок змішування нафтопродуктів. Одеський національний морський університет.

**Секція 10. КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ
ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ. СИСТЕМИ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ
СИСТЕМАХ І МАШИНАХ**

УДК 629.43

**ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА 4Ч7,5/7,35 В СКЛАДІ
ГІБРИНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ РЕАЛІЗОВАНОЇ ЗА
ПАРАЛЕЛЬНОЮ ТА ПОСЛІДОВНОЮ СХЕМОЮ**

Кузьменко Анатолій Петрович, канд. техн. наук, доц., доцент каф. ДВЗ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: kuzmatolja@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4029-4010

Грицюк Олександр Васильович, докт. техн. наук, професор кафедра ДВЗ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: dthkbd@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5596-6254

Кузьменко Сергій Сергійович, аспірант кафедри двигунів та гібридних
енергетичних установок, національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
e-mail: kusmenko.ss@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5361-8879

На сьогоднішній день одним з найбільш перспективних напрямків покращення екологічних показників транспорту є використання гібридних силових установок, які дозволяють досягти необхідного рівня показників автомобіля за рахунок об'єднання переваг основного і допоміжного джерела енергії. В даний час багато зарубіжних автомобілебудівних компаній ведуть інтенсивні науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи по створенню і вдосконаленню транспортних засобів з гібридними силовими установками, адже такі транспортні засоби мають ряд переваг [1-4].

Сучасні гібридні силові установки включають в себе двигун внутрішнього згоряння або двигун-генератор і тягові накопичувачі енергії, які разом з комбінованими електромеханічними трансмісіями можуть бути побудовані за принципом послідовної, паралельної, або «спліт» схеми, що поєднує послідовно-паралельну схеми [1, 2]. При цьому кожна з цих схем знаходить своє місце в автомобільному транспорті, адже має як переваги так і недоліки.

Одною з головних переваг гібридних силових установок, які включають у свій склад ДВЗ, є можливість забезпечення режиму їх роботи у зоні мінімальної витрати палива не залежно від швидкості руху транспортного засобу. Адже такий підхід дозволяє уникнути роботи двигуна на часткових режимах з високими питомими витратами палива.

Спільна робота ДВЗ і мотор-генератора дозволяє забезпечити високі динамічні властивості гібридного автомобіля при використанні ДВЗ меншої потужності [1].

Метою даного дослідження є порівняння характеристик двигуна MeM3-307, що працює в складі комбінованої силової установки легкового автомобіля яка реалізована за паралельною та послідовною схемою.

Для досягнення поставленої мети було розроблено дві математичні моделі в середовищі у середовищі Simcenter Amesim від компанії Simens [5]. Схеми послідовної та паралельної схеми наведено на рис. 1.

Як видно з схем кожний елемент схеми задається у вигляді піктограми натискаючи на яку можливо завдати чисельно параметри того чи іншого елемента конструкції. Це дозволяє легко адаптувати існуючу схему для будь якого транспортного засобу.

В нашому випадку розрахунок проводився для легкового транспортного засобу категорії M1 загальною масою 1550 кг. В обох випадках режим руху задавався графіком прискорень що відповідає новому європейському їздовому циклу. Приклад завдання режиму руху транспортного засобу в середовищі Simcenter Amesim наведено на рис. 2

В результаті було отримано порівняльні графіки екологічних та економічних показників двигунів що працюють в гібридній силовій установці при послідовній (криві зеленого кольору) та паралельній (криві червоного кольору) схемі (рис. 3.)

З графіків видно, що з точки зору витрати палива і викидів шкідливих речовин таких як CO, CO₂, та C_nH_m схема з послідовною гібридною установкою є більш доцільною. Однак, при цьому, викиди оксидів азоту NO_x в послідовній схемі дещо перевищують паралельну схему. Це можна пояснити тим, що у послідовній схемі гібридної силової установки двигун, у більшості випадків, працює у стаціонарному режимі який найбільш оптимальний з точки зору витрати палива, що супроводжується високими температурами у циліндрі двигуна.

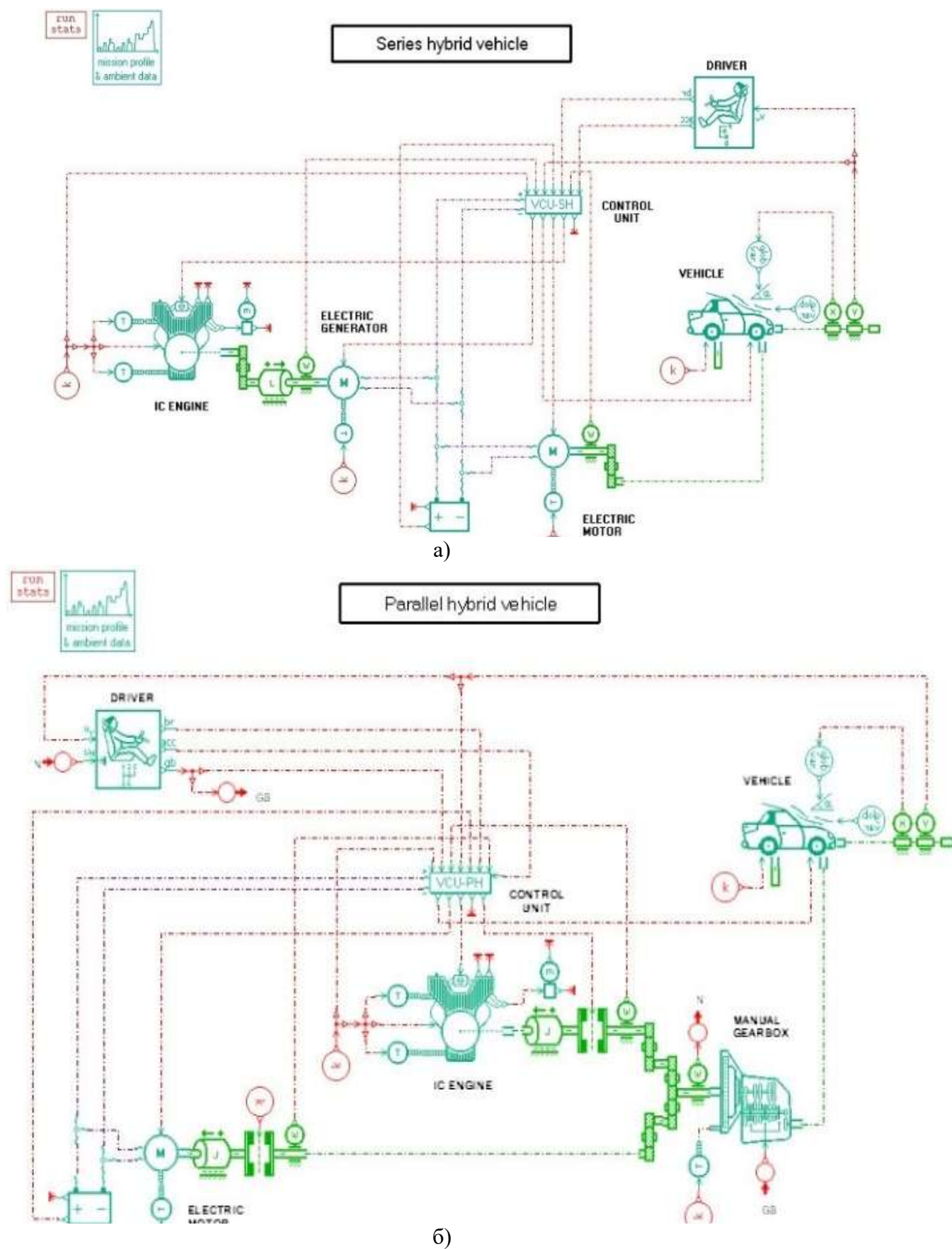


Рисунок 1 – Модель гібридної силової установки транспортного засобу реалізована у середовищі Simcenter Amesim: а – послідовна; б – паралельна

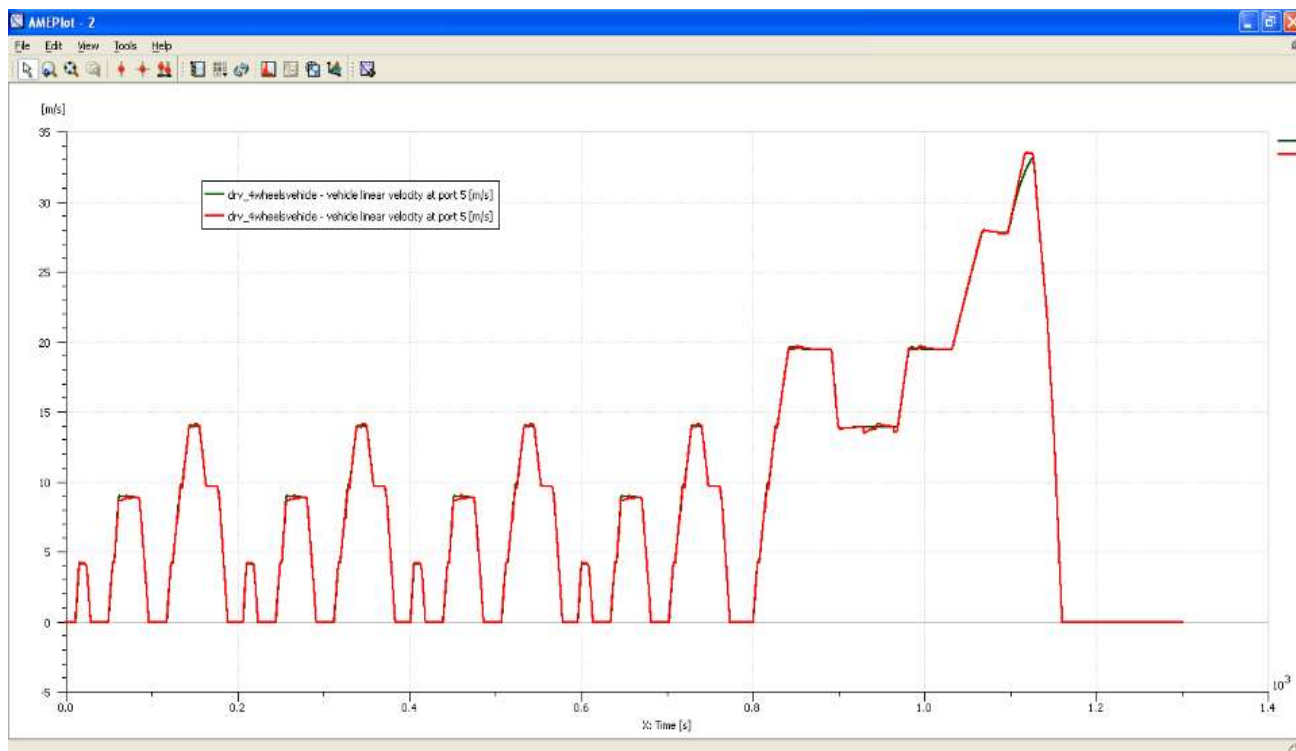


Рисунок 2 – Завдання режимів роботи (руху) транспортного засобу по циклу NEDC у середовищі Simcenter Amesim

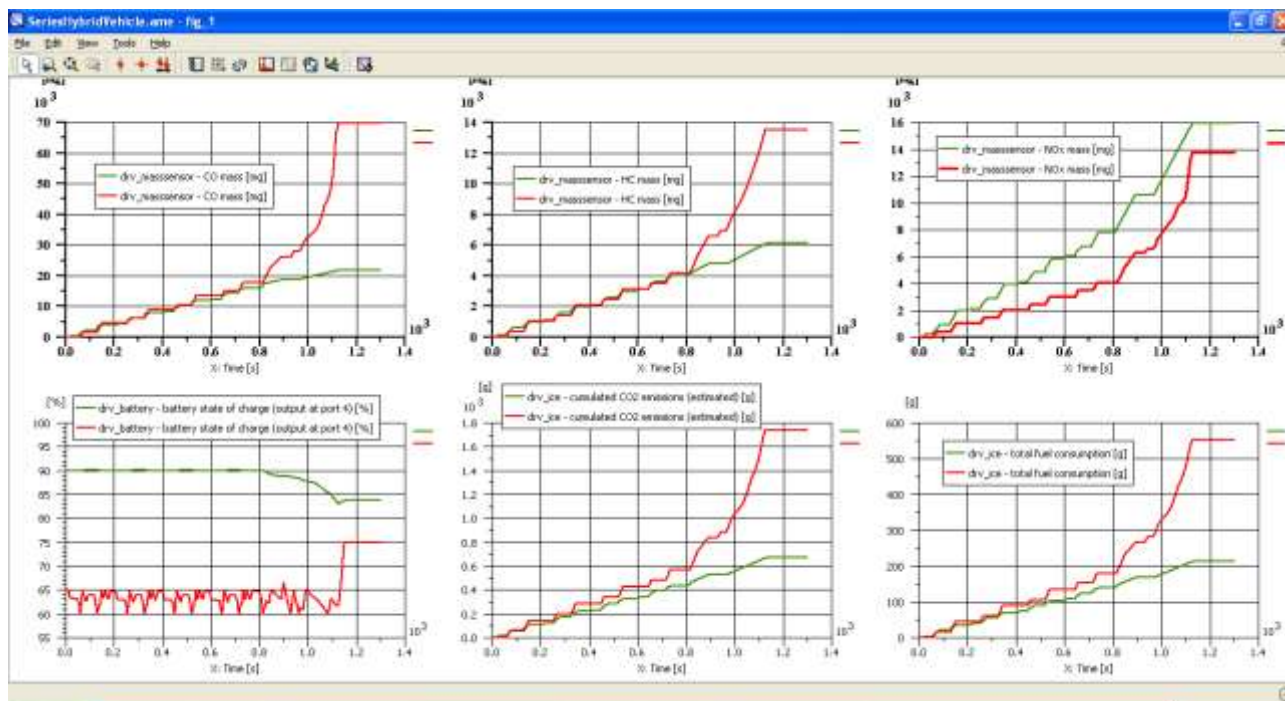


Рисунок 3 – Порівняльні результати розрахунку показників двигуна MeM3-307 в складі послідовної та паралельної гібридної силової установки транспортного засобу категорії M1

Висновки

В роботі виконано аналіз літературних джерел, який показав, що застосування гібридних силових установок є перспективним напрямком для покращення економічних і екологічних характеристик транспортних засобів. Розроблена та налаштована математична модель для розрахунку гібридної силової установки за послідовною та паралельною схемою у середовищі Simcenter Amesim.. Проведено розрахунки показників двигуна MeM3-307 у складі транспортного засобу категорії M1 з гібридною силовою установкою. Побудовані порівняльні графіки для послідовної та паралельної схеми гібридного приводу.

Література

1. Кубіч В. І. Гібридні силові установки легкових автомобілів : навч. посіб. Запоріжжя НУ «Запорізька політехніка», 2021. 193 с.
2. Гібридні автомобілі : монографія / О. В. Бажинов та ін. Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. Х.: Крок, 2008. 327 с.
3. Mi, Chris, and Masrur, M. Abul, "Hybrid and Electric Vehicles: Principles, Applications and Practical Perspectives," J. Wiley, 2011.
4. Осетров О. О., Кравченко С.С., Чучуменко Б.С. Обґрунтування параметрів послідовної гібридної силової установки легкового автомобіля. Двигуни внутрішнього згоряння. 2022. №1. С.78-85 DOI: 10.20998/0419-8719.2022.1.10
5. Simcenter Amesim, див <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/systems-simulation/>

Секція 11. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ. ЕНЕРГЕТИКА І НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.13+621.43+681.518

ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОЇ ГОТОВНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ З ДВИГУНАМИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ

Грицук Ігор Валерійович, докт. техн. наук, професор,
професор кафедри суднових технічних систем і комплексів,

Херсонська державна морська академія,

e-mail: gritsuk_iv@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7065-6820

Погорлецький Дмитро Сергійович, канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедри СТСК, Херсонська державна морська академія,

e-mail: dimon150582@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1256-8053,

Худяков Ігор Валентинович, канд. техн. наук, доцент кафедри СТСК,
Херсонська державна морська академія,

e-mail: igor.khudiakov563@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8900-7879

Черненко Валентина Володимирівна, старший викл. кафедри СТСК,
Херсонська державна морська академія,

e-mail: v.chernenko18@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2013-7058

Кужельний Ярослав Володимирович, канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування,

Національний Університет «Чернігівська політехніка»,

e-mail: kyzhelnyuyitm@stu.cn.ua, ORCID ID: 0000-0002-5269-8557

Серед ключових проблем ефективного функціонування колісної техніки (КТ), енергетичних установок (ЕУ) та транспортних засобів (ТЗ) особливу увагу приділяють передпусковій термічній підготовці двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). Вона забезпечує належний рівень оперативної готовності (ОГ) в складних експлуатаційних умовах. Особливо гостро ця проблема проявляється у випадках значного віддалення КТ, ЕУ і ТЗ від місць базування, населених пунктів і ліній електропостачання, що значно ускладнює або унеможлиблює використання стандартних методів передпускового прогріву. Варто зазначити, що за низьких температур процес підготовки двигуна займає тривалий час, що негативно впливає на оперативну готовність. В умовах

холодного періоду часто двигуни не вимикаються зовсім, що веде до зайвої витрати палива та зменшення їх ресурсу.

Для підвищення рівня ОГ КТ, ЕУ та ТЗ із ДВЗ була проведена модернізація, спрямована на створення системи підтримки теплового стану. Було розроблено й досліджено комплексну систему термічної підготовки (КСТП), яка використовує теплові акумулятори фазового переходу (ТАФП) різного типу, теплоакумуючі матеріали (ТАМ), утилізатори теплоти, комунікаційні елементи та засоби контролю й управління. Джерелами енергії для акумуляції тепла слугували відпрацьовані гази (ВГ), теплоносії на основі технологічних рідин, поверхні з природною конвекцією тощо. Також було запроваджено засоби прискореного прогріву двигунів.

Розв'язання загальної проблеми підвищення ОГ базується на усуненні суперечності між потребою в додатковій тепловій енергії для передпускового та післяпускового прогріву ДВЗ КТ, ЕУ й ТЗ і її неефективним розсіюванням у навколишнє середовище під час роботи. Конструкція КСТП передбачає об'єднання в єдину систему елементів охолодження (СО), мащення (СМ), випуску (СВ) ВГ ДВЗ, а також спеціальних пристроїв управління, що працюють за заданими алгоритмами. Це має важливе значення для підготовки двигуна до запуску, його прогріву перед навантаженням або початком руху.

Для реалізації КСТП був розроблений комплекс, що включає теплові акумулятори на основі матеріалів із фазовим переходом, які нагріваються відпрацьованими газами та забезпечують ефективний передпусковий розігрів двигуна.

Також система містить модуль прискореного прогріву після запуску. ТАФП акумулює теплову енергію, що міститься у вихлопних газах ДВЗ, зберігаючи її в корпусі теплового акумулятора відповідно до теплоємності ВГ двигуна. Було проведено розрахунки, аналітичні та експериментальні дослідження, що дозволили визначити ключові параметри ТАМ і ТАФП, пов'язані з їхньою геометрією та конструкцією теплообмінника, а також особливості роботи системи прискореного прогріву.

Основними об'єктами експериментальних випробувань КСТП стали вантажний автомобіль ГАЗ-66-11 із двигуном ЗМЗ-66-06 (8Ч 9,2/8) та легковий автомобіль KIA CEE'D 2.0 5MT2 із двигуном G4GC (4Ч 7,72/8,45), які були оснащені відповідною системою. Підключення ТАФП до випускної системи здійснювалося за допомогою додаткового теплообмінника, який обробляв до 40% потоку відпрацьованих газів, а також керованих клапанів. З'єднання з системами охолодження та мащення виконувалося через спеціальні патрубки до блоку циліндрів і піддону двигуна відповідно.

На рис. 1 зображено автомобіль ГАЗ-66-11 під час тестування процесів передпускового та післяпускового прогріву двигуна й кабіни.

Проведені дослідження підтвердили ефективність запропонованих методів підтримання ОГ і оптимального температурного стану (ОТС) КТ, ЕУ та ТЗ у процесі експлуатації. Було визначено численні характеристики ТАМ, що забезпечують ефективну роботу в складі ТАФП, а також отримано їхні фазоперехідні параметри.

Випробувані й доведені до рівня експлуатації ТАФП забезпечили суттєве скорочення часу прогріву та підвищення ефективності роботи ДВЗ.



Рисунок 1 – Транспортний засіб ГАЗ-66-11 під час випробувань системи передпускового і післяпускового прогріву двигуна та кабіни

Лабораторні дослідження на стаціонарних двигунах розмірності 6Ч 12/14 (К-461М1 – дизельне паливо, К-159М2 – природний газ) показали, що застосування КСТП дозволяє зменшити час прогріву охолоджуючої рідини (ОР) на 23-44%, моторної оливи (МО) – на 20-44% порівняно зі штатними системами. Загальна витрата палива на прогрів двигуна знизилася на 69-80%, а викиди шкідливих речовин – на 85-97%.

У процесі експериментів, проведених на автомобілі KIA CEE'D 2.0 5MT2 із двигуном G4GC (4Ч 8,2/9,35), час нагрівання ОР скоротився на 17,8-68,4%, а витрата палива – на 19,5-56,25% залежно від умов експлуатації. Для вантажного автомобіля ГАЗ-66-11 із двигуном ЗМЗ-66-06 (8Ч 9,2/8) скорочення часу нагріву ОР становило 53-69%.

Оптимальним варіантом із погляду балансу між часом прогріву, пробігом і витратою палива є прогрів двигуна на холостому ходу з подальшим рухом. Для забезпечення комфортної температури в салоні за температур навколишнього середовища нижче -5 °С необхідне використання КСТП.

Досліджено вплив компонентів КСТП на стабільність параметрів ОГ і ОТС. Використання найбільш ефективних варіантів комплектації КСТП дозволяє забезпечити транспортну безпеку, екологічну нешкідливість, комфорт водія та можливість негайного навантаження двигуна після запуску.

Загалом, модернізація систем підтримки теплового стану дозволила значно підвищити рівень оперативної готовності колісної техніки з двигунами внутрішнього згоряння.

Висновки

Досліджено вплив компонентів КСТП на стабільність параметрів ОГ і ОТС. Використання найбільш ефективних варіантів комплектації КСТП дозволяє забезпечити транспортну безпеку, екологічну нешкідливість, комфорт водія та можливість негайного навантаження двигуна після запуску.

Загалом, модернізація систем підтримки теплового стану дозволила значно підвищити рівень оперативної готовності колісної техніки з двигунами внутрішнього згоряння.

Література

1. Забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів. І.В. Грицук, В.П. Волков, О.М. Вольська, Т.В. Волкова. – Одеса: ОЛДІ+, 2024. – 368 с. . ISBN 978-966-289-832-3
2. Основи функціонування систем теплової підготовки транспортних засобів. І.В. Грицук, В.П. Волков, Р.В. Симоненко, Т.В. Волкова - Херсон, ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. – 314 с.
3. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., "Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator," SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, doi:10.4271/2016-01-0204.
4. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників транспортних засобів з системою теплової підготовки: монографія / І.В.Грицук, В.П. Волков, Д.С. Погорлецький, Т.В. Волкова, В.П. Кужель – Харків- Херсон-Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К», 2022. – 178 с.

ВПЛИВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ЕНЕРГЕТИКУ: GPT-4o ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

Дідок Володимир Олегович, викладач каф. Комп'ютерних наук та інформаційних технологій, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
e-mail: volodymyr.didok@kname.edu.ua, ORCID: 0009-0001-0453-1808

Бредіхін Володимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент каф. Комп'ютерних наук та інформаційних технологій,
e-mail: volodymyr.bredikhin@kname.edu.ua, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
ORCID: 0000-0002-6063-5046

Розвиток великих мовних моделей, зокрема GPT-4o, спричиняє революційні зміни у багатьох галузях, але водночас породжує серйозні виклики для енергетичного сектора. Сучасні методи навчання таких систем вимагають використання надпотужних дата-центрів, що працюють безперервно для забезпечення обчислювальної потужності, необхідної для тренування моделей із мільярдами параметрів. У результаті споживання електроенергії набуває масштабів, що порівнюються з потребами цілих міст. Наприклад, навчання попередньої моделі GPT-3 могло споживати понад 1287 МВт·год електроенергії та призводити до викидів близько 502 тонн CO₂, що свідчить про величезні ресурси, необхідні для цього процесу [1].

Оптимізація витрат енергії стає одним із пріоритетних завдань для дослідників та інженерів. Вже сьогодні розробляються алгоритмічні методи, які дозволяють зменшити обчислювальні витрати без втрати якості результату. За допомогою оптимізації параметрів навчання можна досягти зниження споживання енергії до 75%, що суттєво впливає на операційні витрати дата-центрів [2]. Одночасно з програмними рішеннями, виробники апаратного забезпечення впроваджують нові технології. Наприклад, TPU від Google або вдосконалені GPU від NVIDIA розраховані на максимальну продуктивність при мінімальному енергоспоживанні, що сприяє зниженню навантаження на електромережу.

Зростаючий попит на обчислювальні потужності стимулює технологічних гігантів шукати альтернативні джерела енергії для забезпечення стабільного електропостачання дата-центрів. У цьому контексті особливу увагу приділено інвестиціям у власні енергогенеруючі потужності. Наприклад, корпорація Microsoft реалізовує проекти зі відновлення ядерних реакторів, що колись були зупинені, для забезпечення енергією своїх обчислювальних центрів. Такий підхід дозволяє не лише гарантувати безперебійну роботу, але й знизити залежність від традиційних джерел електроенергії, здебільшого базованих на викопному паливі [3]. Інвестиції у відновлювану енергетику та

ядерні технології є стратегічно важливими, адже вони сприяють модернізації енергетичної інфраструктури та забезпечують довгострокову економічну стабільність.

Дослідження, проведені у різних університетах та аналітичними центрами, свідчать про те, що сучасна енергетична система вже відчуває додаткове навантаження через розвиток ІІІ. За даними одного з досліджень, якщо не вживати заходів з оптимізації, то до 2030 року споживання електроенергії для обчислювальних центрів може зрости утричі, що становитиме до 5% загального електроспоживання в окремих регіонах [4]. Відтак, інтеграція «зелених» технологій та застосування методів управління навантаженням стають необхідними для забезпечення стійкості енергосистем.

У сучасних дата-центрах впроваджуються розумні системи управління, які дозволяють адаптувати навантаження залежно від доступності чистої енергії. Так, планування запуску навчальних процесів на ті години, коли мережа забезпечена відновлюваними джерелами, сприяє зниженню вуглецевого сліду та економії коштів.

Невід'ємною складовою цього процесу є і розвиток спеціалізованих апаратних засобів, орієнтованих на підвищення енергоефективності. Компанії активно працюють над впровадженням нових чипів та оптимізацією існуючих технологій для зменшення витрат електроенергії при високих обчислювальних навантаженнях. Ці зусилля дозволяють досягати більшої продуктивності при меншій споживаності енергії, що має позитивний вплив на економіку та екологію.

Таким чином, розвиток GPT-4o та інших великих мовних моделей стає каталізатором не лише технологічних змін, але й трансформації енергетичної стратегії. Впровадження інноваційних методів оптимізації, модернізація апаратного забезпечення та активні інвестиції в альтернативні джерела енергії дозволяють вирішувати проблему високого споживання електроенергії. З одного боку, це сприяє зниженню операційних витрат та забезпеченню стабільного постачання електроенергії, а з іншого – стимулює розвиток нових технологій та підвищення енергоефективності. Досвід провідних компаній США у цьому напрямку може стати орієнтиром для всього світу, забезпечуючи сталі економічне зростання та зменшення впливу на довкілля.

Література

1. Amodei D., Hernandez D. AI and compute [Електронний ресурс] / D. Amodei, D. Hernandez. – 2018. – Режим доступу: <https://openai.com/research/ai-and-compute#addendum> (дата звернення: 26.02.2025).
2. Strubell E., Ganesh A., McCallum A. Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP [Електронний ресурс] / E. Strubell, A. Ganesh, A. McCallum. – 2019. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1906.02243> (дата звернення: 26.02.2025).

3. Reuters. Tech giants take US nuclear industry to next level [Електронний ресурс] / Reuters. – 05.11.2024. – Режим доступу: <https://www.reuters.com/business/energy/tech-giants-take-us-nuclear-industry-next-level-2024-11-05/> (дата звернення: 26.02.2025).

4. Business Insider. Google is taking the nuclear option to power soaring demand for AI [Електронний ресурс] / Business Insider. – 15.10.2024. – Режим доступу: <https://www.businessinsider.com/google-nuclear-power-ai-data-centers-2024-10> (дата звернення: 26.02.2025).

УДК 620.9

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ: ВИКЛИКИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ІННОВАЦІЇ В ПЕРЕХОДІ ДО СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Душкін Станіслав Сергійович, канд. техн. наук, доцент кафедра екології,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: d.akass@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9345-9632

Сучасний світ стикається з безпрецедентними викликами, пов'язаними зі зміною клімату, виснаженням природних ресурсів і погіршенням стану навколишнього середовища. Традиційні енергетичні системи, засновані на використанні викопного палива, є основним джерелом викидів парникових газів, забруднення повітря та інших екологічних проблем. Ці фактори роблять перехід до екологічно стійких енергетичних технологій і систем одним із ключових завдань сучасності [1–5].

Екологізація енергетики передбачає впровадження технологій, що мінімізують вплив на навколишнє середовище, збільшення частки поновлюваних джерел енергії та підвищення енергоефективності. Цей процес не тільки сприяє зниженню негативних наслідків для екосистем, а й відкриває нові можливості для економічного зростання, створення робочих місць і зміцнення енергетичної безпеки.

Особливого значення набуває розвиток енергозберігаючих технологій, які дають змогу знизити енергоспоживання, зменшити витрати та скоротити вуглецевий слід. Вони стають важливим інструментом у вирішенні глобальних екологічних проблем, а також у забезпеченні сталого розвитку [6].

У рамках цієї роботи обговорюються ключові аспекти екологізації енергетичних систем, вплив енергетики на навколишнє середовище, а також перспективи застосування енергозберігаючих технологій. Особливу увагу приділено сучасним викликам, бар'єрам та інноваціям, які формують майбутнє «зеленої» енергетики [7].

Екологізація енергетичних систем являє собою процес переходу до стійких методів виробництва, розподілу і споживання енергії, що мінімізують шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Одним із ключових елементів екологізації є збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Сонячна, вітрова, гідро- і геотермальна енергетика мають величезний потенціал для заміщення викопного палива. Наприклад, впровадження сонячних панелей і вітрогенераторів дає змогу значно скоротити викиди вуглекислого газу. Однак ключовими викликами залишаються високі початкові інвестиції, нестабільність виробництва енергії (залежно від погоди) і необхідність розвитку систем зберігання енергії.

Декарбонізація включає в себе скорочення викидів парникових газів через перехід на безвуглецеві технології. Це можливо завдяки впровадженню водневих технологій, ядерної енергетики нового покоління (наприклад, реакторів малої потужності), а також технологій уловлювання та зберігання вуглекислого газу (CCS).

Для забезпечення стабільності енергосистем необхідні ефективні рішення зі зберігання енергії. Сучасні акумуляторні батареї, суперконденсатори та водневі системи зберігання стають ключовими компонентами майбутніх екологічних енергосистем. Вони дають змогу інтегрувати змінні ВДЕ в енергомережі та забезпечувати безперервне енергопостачання.

Взаємозв'язок енергетики та довкілля є ключовим аспектом сталого розвитку. Традиційні методи виробництва і споживання енергії, засновані на використанні викопного палива, чинять значний негативний вплив на екосистеми, що підкреслює необхідність переходу до екологічно чистих технологій.

Виробництво енергії з вугілля, нафти і газу супроводжується значними викидами парникових газів, а будівництво та експлуатація енергетичних об'єктів змінюють ландшафти і впливають на біорізноманіття. Перехід на поновлювані джерела енергії дає змогу значно знизити вплив на довкілля. Зниження енергоспоживання за рахунок впровадження енергоефективних технологій є важливим способом зменшення навантаження на навколишнє середовище. Інновації у сфері теплопостачання, модернізація систем освітлення та використання інтелектуальних технологій управління енергоспоживанням знижують обсяги виробництва енергії та, як наслідок, викиди шкідливих речовин.

Енергетика відіграє найважливішу роль у сучасному світі, забезпечуючи розвиток економіки та поліпшення якості життя. Однак традиційні методи виробництва та споживання енергії чинять значний негативний вплив на навколишнє середовище. Саме тому екологізація енергетичних систем стає ключовим напрямком для розв'язання екологічних і кліматичних проблем.

Традиційні енергетичні системи, засновані на використанні вугілля, нафти та природного газу, супроводжуються викидами вуглекислого газу,

метану та інших парникових газів. Це сприяє посиленню глобального потепління та зміні кліматичних умов.

Крім того, такі забруднювальні речовини, як сірчисті та азотні сполуки, спричиняють кислотні дощі, руйнуючи ґрунти, водойми та лісові екосистеми.

Енергозберігаючі технології відіграють ключову роль у процесі екологізації енергетичних систем. Вони спрямовані на зниження споживання енергії без шкоди для рівня комфорту і продуктивності, що дає змогу зменшити вуглецевий слід, знизити витрати і скоротити вплив на навколишнє середовище.

Екологізація енергетичних систем не тільки розв'язує актуальні проблеми екології та клімату, а й відкриває нові горизонти для технологічного прогресу та економічного зростання. Перспективні напрямки та інноваційні розробки здатні прискорити перехід до сталої енергетики, забезпечуючи ефективне використання ресурсів і мінімізацію впливу на навколишнє середовище.

Інновації в галузі енергоефективних технологій стають невід'ємною частиною концепції розумних міст:

- енергозберігаючі будівлі з інтегрованими системами управління енергією, що дають змогу скоротити споживання електроенергії та тепла.
- мережі електромобілів із зарядними станціями, які використовують енергію від ВДЕ.
- розумні мережі (smart grids), що забезпечують баланс між виробництвом і споживанням енергії в реальному часі.

В умовах посилення наслідків зміни клімату та вичерпання викопних ресурсів перехід на відновлювальні джерела енергії та енергозберігаючі технології стає не просто бажаною стратегією, а життєво необхідною.

Сучасні рішення, як-от розумні енергомережі, системи зберігання енергії, енергоефективні технології та декарбонізація, вже сьогодні доводять свою ефективність у зниженні вуглецевого сліду й оптимізації енергоспоживання [8].

Проте процес екологізації стикається з низкою бар'єрів, включно з високою вартістю впровадження технологій, технологічними обмеженнями і недостатньою обізнаністю суспільства. Ці проблеми вимагають узгоджених дій на національному та міжнародному рівнях, стимулювання інновацій, а також активної участі наукового співтовариства, бізнесу та громадян.

Найважливішим завданням на шляху до сталого енергетичного майбутнього залишається створення балансу між економічними, екологічними та соціальними аспектами. Приклад успішних екологічних перетворень в енергетиці в різних країнах світу демонструє, що такий підхід можливий і приносить значні вигоди.

Література

1. Бойко, В. М. Енергозбереження та енергоефективність: навчальний посібник. Київ: Видавництво «Ліра-К», 2015. 320 с.
2. Гончарук, Т. В. Відновлювані джерела енергії: підручник. Київ: Видавництво «Кондор», 2018. 280 с.
3. Ковальчук, О. В. Екологічна безпека енергетичних систем. Харків: Видавництво «Ранок», 2017. 250 с.
4. Литвиненко, В. І. Енергетична безпека України: монографія. Київ: Видавництво «Наукова думка», 2016. 300 с.
5. Петров, І. М. Енергоефективні технології в промисловості. Львів: Видавництво «Світ», 2019. 270 с.
6. Душкін, С.С. Нові підходи до сталого розвитку міст. Міжнар. наук.-техн. конф. «Сталий розвиток транспортних систем: наука і практика». Харків, ХНАДУ, 25-26 листопада 2024 р. С. 238-240.
7. Sovacool, B. K. The Routledge Handbook of Energy Security. London: Routledge, 2010. 720 pages. DOI: 10.4324/9780203883175
8. Smil, V. Energy and Civilization: A History. Cambridge: The MIT Press, 2017. 568 pages. DOI: 10.7551/mitpress/9780262035774.001.0001.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИДОРОЖНІХ ЕКОСИСТЕМ

Приходько Кирило Володимирович, аспірант

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
e-mail: kurylo.prykhodko1410@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7165-1834

Прокопенко Наталія Вікторівна, канд. біол. наук, доцент кафедри Екології
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
e-mail: natvikpro08@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2783-2777

На сьогоднішній день існує багато різних моделей та програмних засобів, що базуються на окремих алгоритмах або їх поєднанні та можуть бути використані для опису процесу розповсюдження речовин в просторі. Значним недоліком таких систем є час виконання обчислень та велика кількість вхідних параметрів деякі з яких достатньо важко виміряти в реальних умовах.

Таким чином, наявні математичні моделі не надають гнучкості в обчисленнях, що призводить до неможливості їх застосування у ситуаціях обмеження по часу або наявним даним. З іншої сторони, наявність додаткових параметрів надало б змогу збільшити точність моделювання, ефективність застосування тих чи інших моделей.

Створено багато програмних застосунків, що дозволяють спрогнозувати розповсюдження забруднюючих речовин в певному середовищі. Найбільш гнучким є веб-застосунок SimScale, що дозволяє розробити модель з нуля чи переглянути вже існуючі з метою прототипування та адаптації до об'єкту моделювання.

Нажаль, серйозним недоліком цього програмного продукту, як вже зазначалося вище, є необхідність доступу в інтернет. Для офлайн моделювання більше підходить програмний продукт SimFlow 5.0.

На сьогоднішній день деякі відносно прості моделі, що відображають розповсюдження забруднення на відносно невеликій ділянці схожій на квартал у місті, займають понад добу опрацювання у потужних мережах штучного інтелекту, які не вдасться застосувати безпосередньо на мобільних пристроях [1].

Певні складнощі в ході дослідження виникають у зв'язку з тим, що достеменно невідома точність моделей, що застосовуються. Через це необхідно розробити алгоритм, який поєднує обчислення показання приладів, що показують вміст речовини до початку процесу забруднення, після фази активного потрапляння забруднюючої речовини, а також показання моделі в аналогічні періоди часу. Таким чином можна отримати похибку моделювання реального об'єкту та, припускаючи лінійну залежність, розробити спрощену і уточнену математичні моделі, що відрізнятимуться точністю моделювання реального об'єкту, а також показниками математичної моделі.

Для моделювання забруднення можуть застосовуватися як площинні так і просторові моделі. Приклад результатів моделювання площинної моделі наведено на рис. 1. Приклад результатів моделювання просторової моделі наведено на рис. 2.

Також потрібно враховувати параметри, які необхідно задати при обчисленні моделі. У SimScale у користувача нема можливості керувати цими параметрами, але у SimFlow 5.0 така можливість є. Відповідні екранні форми наведені на рис. 3 та 4.

Слід зазначити, що обидва програмні застосунки мають великі недоліки такі як неможливість коригування точності обчислень та відсутність гнучкості при визначенні вхідних параметрів моделі.

Необхідно врахувати вищенаведені недоліки та додати різні моделі, що поєднуюватимуть більшу точність там, де це необхідно, та швидшу швидкість побудови моделі для застосування у мобільних системах, системах жорсткого чи м'якого реального часу. Такий програмний продукт дозволить отримувати результат моделювання у зручному місці та у зручний час.

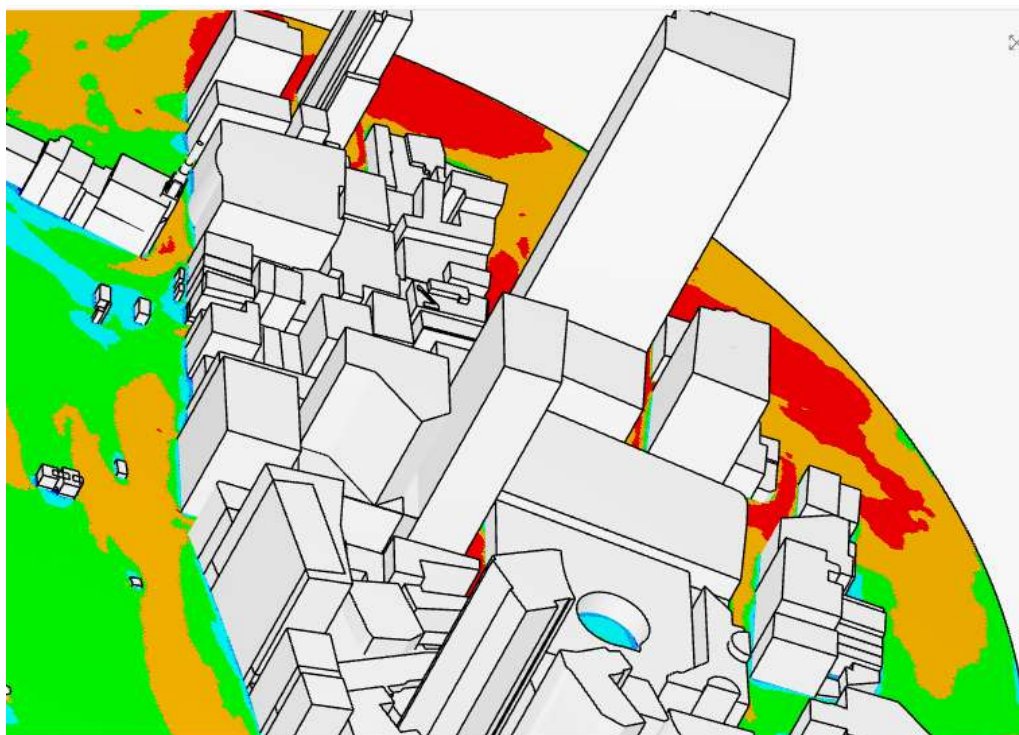


Рисунок 1 – Візуалізація площинного забруднення придорожньої території, що отримана у результаті роботи програмного середовища симуляції забруднення SimScale

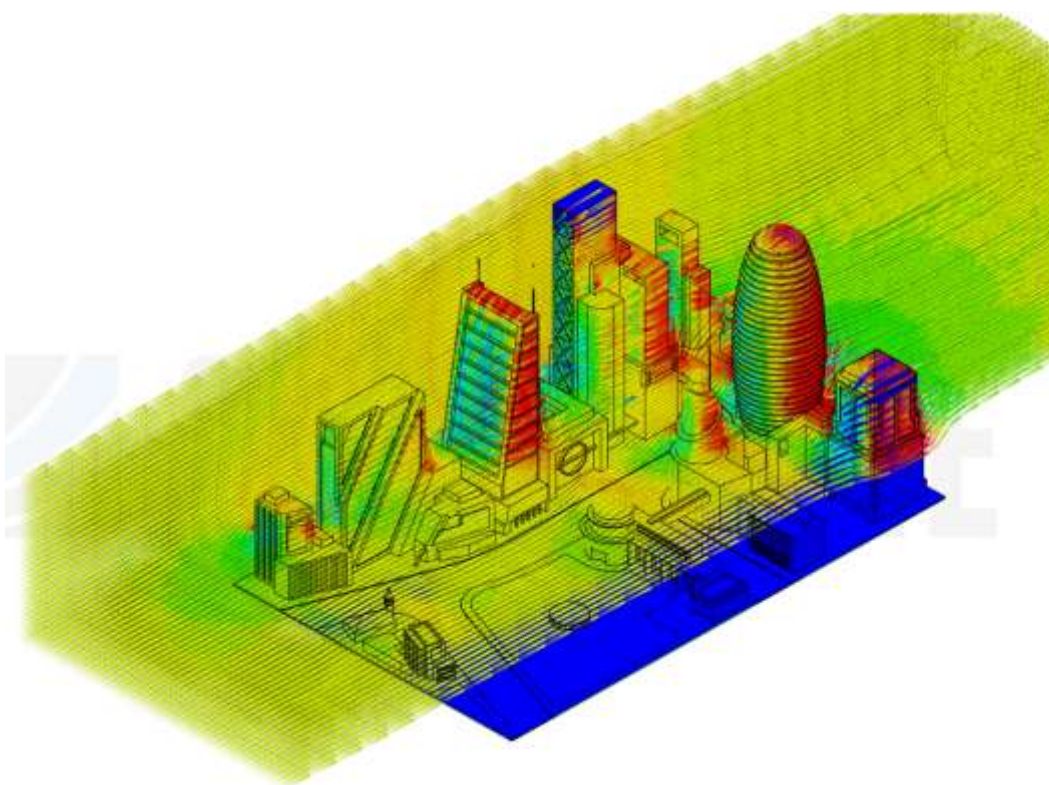


Рисунок 2 – Візуалізація просторового забруднення придорожньої території, що отримана у результаті роботи програмного середовища симуляції забруднення SimScale

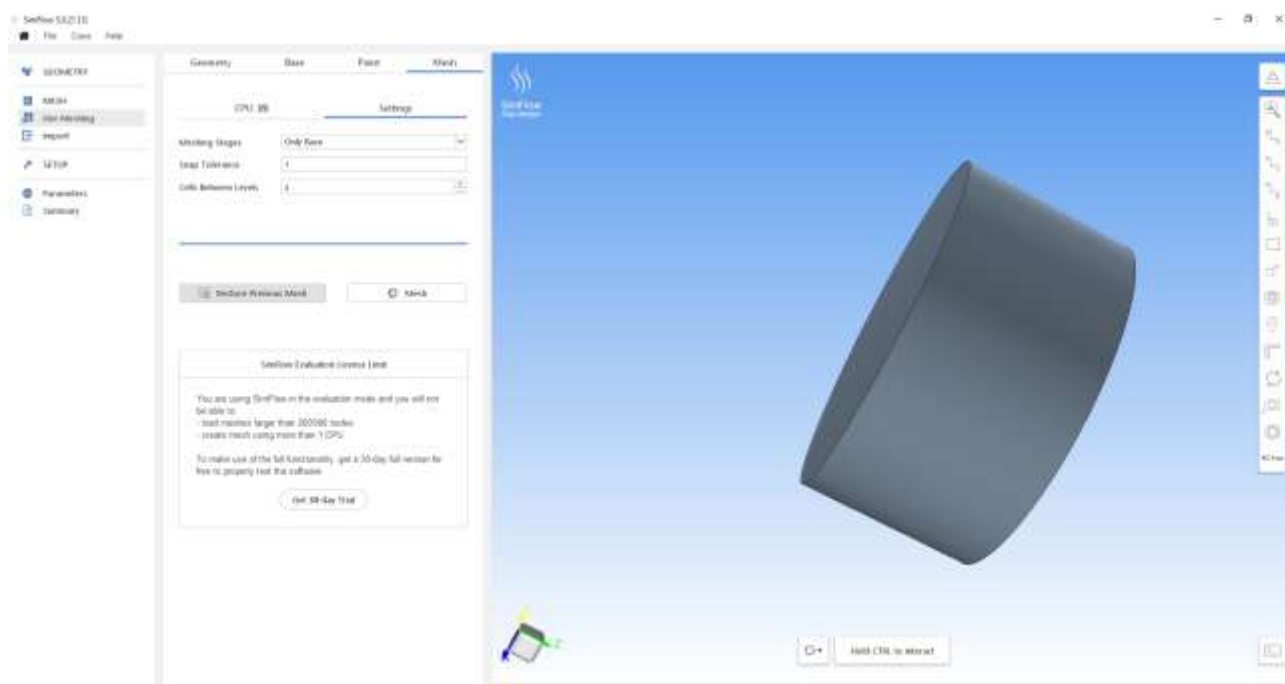


Рисунок 3 – Вибір параметрів обчислення моделі у SimFlow 5.0

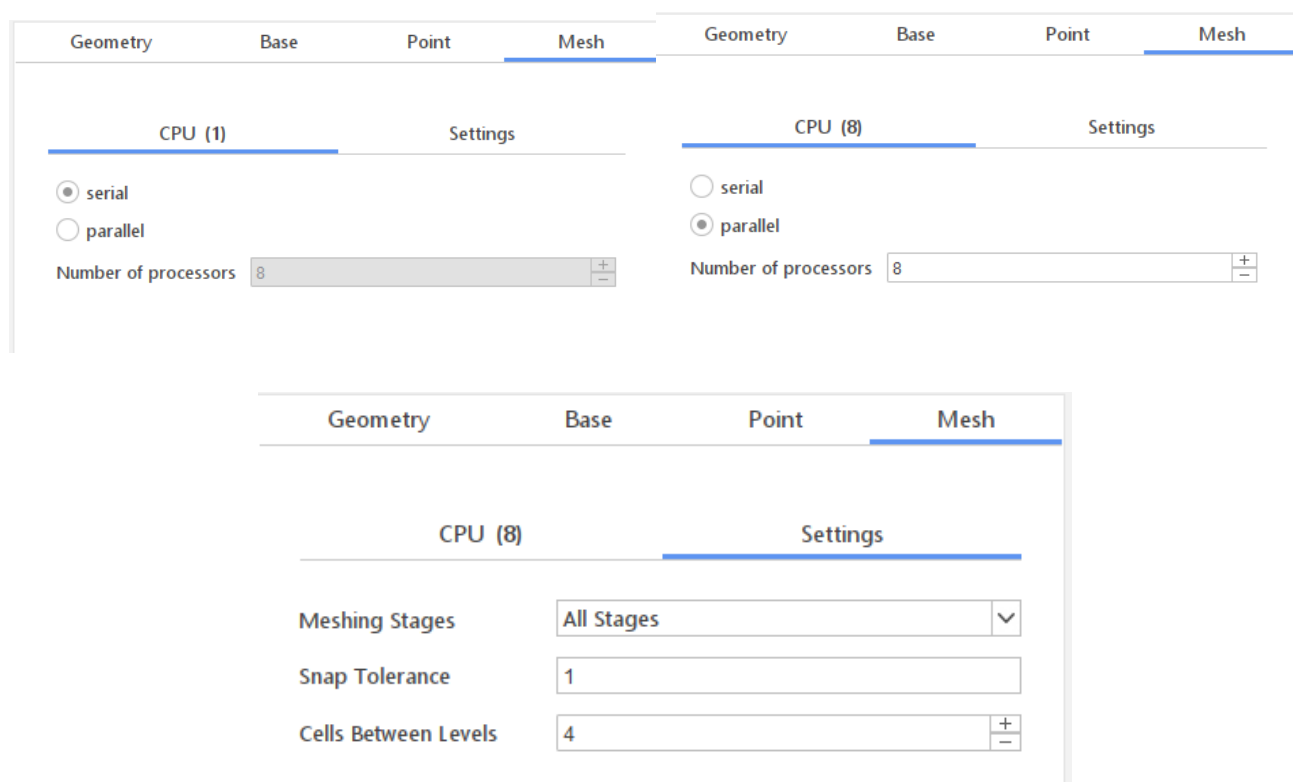


Рисунок 4 – Параметри обчислень, що можна задати для збільшення ефективності обчислення локально

Література

1. World Health Organization. Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide: Global Update 2005. Geneva: WHO, 2006. 22 с. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107823/9789289021920-eng.pdf?sequence=1> (дата звернення: 02.02.2025).

UDC 504.064.4 : 621.431 : 389.14 : 528.088

DESIGNING AND DEVELOPING OF PORTABLE DISMOUNTABLE TEST BENCH FOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE WORKING CHARACTERISTICS OF EXECUTIVE ELEMENTS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES AGAINST THE INFLUENCE OF POWER PLANTS WITH RECIPROCATING ICE

Oleksandr Kondratenko, DSc(Engineering), Professor, Head of the Department of Environmental Protection Technologies of the Scientific and Educational Institute of Management and Population Safety, National University of Civil Protection of Ukraine of SES of Ukraine, e-mail: kondratenkoom2016@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9687-0454

Viacheslav Krasnov, MSc(Civil Protection), Adjunct of the Department of Environmental Protection Technologies of the Scientific and Educational Institute of Management and Population Safety, National University of Civil Protection of Ukraine of SES of Ukraine, e-mail: krasnov.viacheslav_2022phd@nuczu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8445-6843

The relevance of this research lies in the development of the portable dismountable test bench (PDTB), which enables experimental studies of the performance indicators of power plants (PP) with reciprocating internal combustion engines (RICE), as well as the efficiency of various actuators in environmental protection technologies (EPT) aimed at protecting the environment from technogenic impacts. These PP units with RICE may include firefighting and emergency rescue vehicles (FERV) used by the State Emergency Service of Ukraine (SES of Ukraine), especially in remote areas and frontline zones. This is crucial both during armed aggression and for post-war reconstruction of critical infrastructure.

The proposed PDTB design includes the following measurement devices:

- 5-component gas analyzer to measure concentrations of unburned hydrocarbons (CnHm), CO, NO_x, CO₂, and O₂ in exhaust gases (EG);
- opacity meter for EG opacity;

- differential U-tube manometers for EG pressure drop measurements at the EPT actuator inlet and within the executive element of EPT;
- temperature measurement system for EG, the working medium, and solid EPT components at 6–10 points;
- sound level meter for noise pollution from the RICE and EPT executive element of EPT;
- environmental sensors, including a barometer-aneroid, mercury thermometer, anemometer, and hygrometer.

Additionally, there is a foldable table for a mobile computer that processes signals from the stand's instruments using criterion-based mathematical analysis and a power supply with protection features.

The appearance (a) and the layout and of the PDTB (b) are shown in Fig. 1.

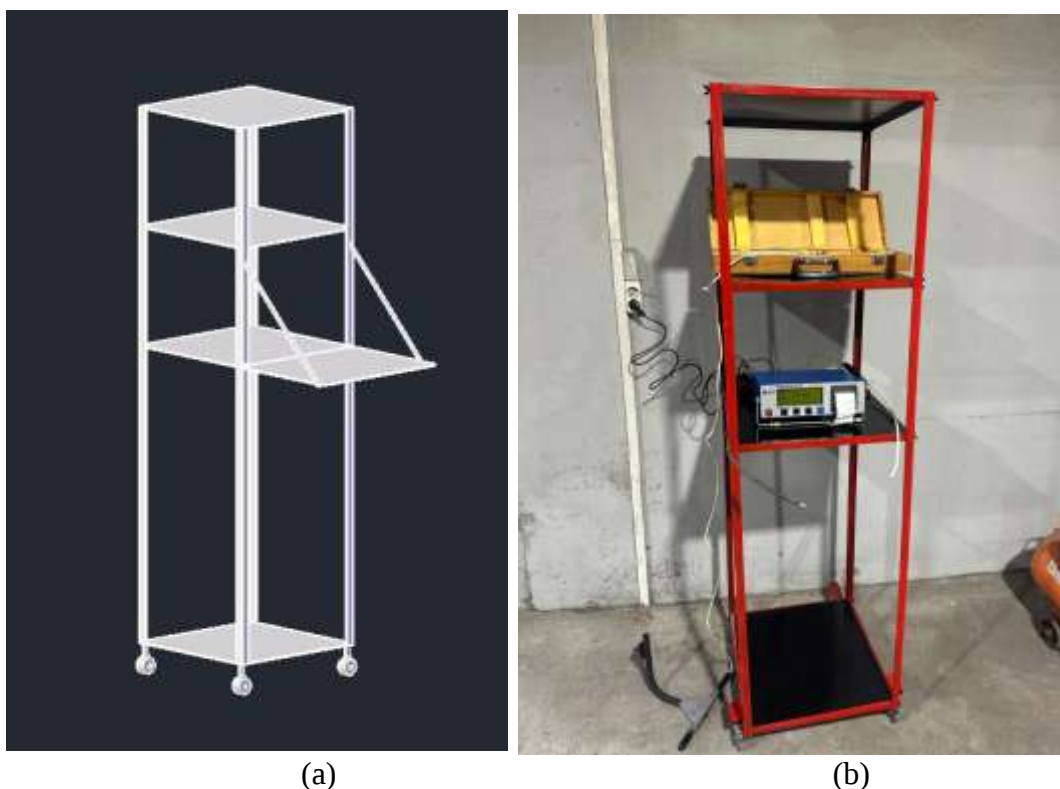


Figure 1 – Diagram (a) and appearance (b) of the designed and developed portable dismantlable test bench

In Fig. 2 presented opacimeter META-01 for the PDTB (a) and its instrument verification document (b). In Fig. 3 presented 4-component gas analyzer Autotest 02.02 for the PDTB (a) and its instrument verification document (b).

The purpose of the study is to improve the environmental safety (ES) indicators of power PP with RICE, particularly for FERV, by developing the portable dismantlable test bench for experimental studying the environmental characteristics of such PP with RICE and the efficiency of FERV.



Figure 2 – Opacimeter META-01 for the mobile test bench (a)
and its instrument verification document (b)

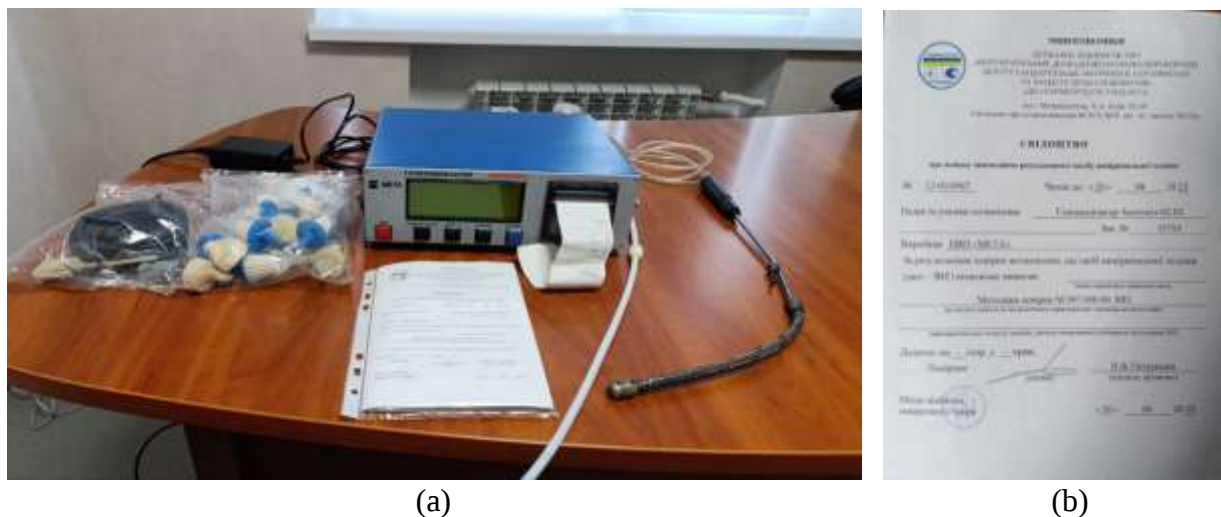


Figure 3 – 4-component gas analyzer Autotest 02.02 for the mobile test bench (a)
and its instrument verification document (b)

The problem of the study lies in the absence of a mobile test bench suitable for such studies in remote and conflict-affected areas.

The concept of the study is to create a quickly deployable, universal test bench with all necessary instruments for direct and indirect measurement of RICE, ES and EPT efficiency indicators essential for complex criteria-based assessment.

The object of the study includes ES factors, executive element of EPT efficiency indicators, and factors for complex criteria-based assessment of FERV exploitation process. The subject of the study is the portable dismountable test bench for experimentally determining the physical quantities of the research object. The scientific novelty of results of the study lies in refining the concept for experimental acquisition of baseline data to assess ES during exploitation of PP with RICE, specifically adapted for FERV in remote departments affected by armed aggression.

The practical value of results of the study is in developing a portable dismountable test bench for FERV in remote departments in conflict-affected areas, ensuring compliance with the «Regulations on Environmental Safety for the State Emergency Service of Ukraine» approved by Order No. 618 on September 20, 2013.

This study was carried out as part of the scientific and research work of the Department of Environmental Protection Technologies of the Educational and Scientific Institute of Management and Population Safety of the National University of Civil Protection of Ukraine of SES of Ukraine «Development of a methodology for complex assessment of the impact of exploitation and application of special equipment on the environment in conditions of military aggression» (State Registration № 0124U000374, 01.2024–12.2026).

At the same time, materials from the VCU library system were used, including electronic versions of journals and other materials, databases, interlibrary subscription as part of participation in Non-Resident Academic Associates program co-sponsored by the College of Humanities and Sciences at Virginia Commonwealth University (VCU) and the Davis Center for Eurasian Studies at Harvard University in 2024–2025 academic year.

Conclusions

Thus, in this study the portable dismountable test bench for experimental research of the working characteristics of executive elements of complex synergetical environmental protection technologies against the influence of power plants with reciprocating internal combustion engine based on the exhaust gas filter with liquid working body was designed and developed.

References

1. Kondratenko O.M. The place of DPF with a liquid working body in the classification of atmospheric air protection technologies from the complex negative influence of power plants with reciprocation ICE / O.M. Kondratenko, V.A. Krasnov, V.M. Semykin // Technogenic and ecological safety. – Kh.: NUCP of Ukraine, 2023. – 14(2/2023). – pp. 67–91. – DOI: 10.52363/2522-1892.2023.2.8.
2. Development and Use of the Index of Particulate Matter Filter Efficiency in Environmental Protection Technology for Diesel-Generator with Consumption of Biofuels / O. Kondratenko, V. Andronov, V. Koloskov, O. Strokov // 2021 IEEE KhPI Week on Advanced Technology: Conference Proceedings (13–17 September 2021, NTU «KhPI», Kharkiv). – Kharkiv: NTU «KhPI», 2021. – pp. 239–244. – DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570034.
3. Інструментальна похибка відомих формул перерахунку показників димності у показники токсичності відпрацьованих газів поршневих ДВЗ / О.М. Кондратенко, В.А. Андронов, О.П. Строков, В.М. Бабакін, В.А. Краснов // Technogenic and ecological safety. – 2022. – № 12(2/2022). – С. 3–18. – DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.1.
4. Krasnov V.A. Portable test bench for experimental research of the working characteristics of executive elements of environmental protection technologies against the influence of power plants with reciprocating ICE [Text] / V.A. Krasnov, O.M. Kondratenko // Екологічна безпека в умовах війни: збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (21 листопада 2024 р., ЛДУБЖД, Львів). – Львів: ЛДУБЖД, 2024. – С. 45–47.

Секція 12. КОНСАЛТИНГОВІ СХЕМИ В ЕНЕРГЕТИЦІ. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ І МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЙОГО ПРОВЕДЕННЯ. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

ПРОАКТИВНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СТРУКТУР ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Гетьман Ольга Олександрівна, канд. екон. наук, доцент кафедри менеджменту, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: getman.olga.actinon@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4538-5736>

Енергетика є одним з ключових секторів економіки, що постійно змінюється через розвиток нових технологій, мінливі політичні та економічні умови, а також зростаючі вимоги до енергоефективності та екологічної стійкості. У цьому контексті енергетичний консалтинг стає важливим інструментом для адаптації компаній до нових викликів і трансформації їхніх організаційних структур. Консалтинг в енергетичному секторі охоплює широкий спектр послуг – від стратегічного консалтингу до впровадження технологічних інновацій та управлінських реформ. Зміни в організаційній структурі енергетичних компаній є особливо важливими і зумовлені такими факторами: необхідність адаптації до викликів на енергетичному ринку, інтеграція нових енергетичних технологій. Одним з основних напрямків консалтингових послуг є допомога компаніям у реструктуризації та оптимізації організаційної структури. Це включає вдосконалення внутрішніх бізнес-процесів для підвищення ефективності та перехід до моделі управління, яка є більш гнучкою й адаптованою до зовнішнього середовища. Крім того, зміни в організаційній структурі включають запровадження горизонтальної моделі управління, скорочення ієрархічних рівнів для пришвидшення прийняття рішень та посилення комунікації між різними відділами.

Це важливо для того, щоб якісно реагувати на достатньо швидкі зміни в технологіях та нормативно-правовому регулюванні в енергетичному секторі. Довгострокове функціонування підприємств на ринку товарів і послуг стає можливим завдяки відповідній конфігурації організаційної структури за умови, якщо її параметри дизайну сумісні з рівнем впливу основних характеристик зовнішнього середовища [1].

Хоча вищезазначене є самоочевидним, більшість існуючих підходів до трансформації конфігурації структур підприємств енергетичного сектору або

не враховують пріоритетність визначення впливу чинників зовнішнього оточення на вибір запланованої конфігурації, або враховують вплив зовнішнього середовища без оцінки швидкості зміни цього впливу, не маючи на це достатніх підстав. Тому метою цього дослідження є розробка проактивного підходу до трансформації структурної конфігурації як інструменту консалтингу, що враховує оцінку швидкості зміни впливу факторів зовнішнього середовища на організацію.

Структурна трансформація енергетичних компаній є важливим кроком у вирішенні низки викликів у сучасному світі. По-перше, енергетичні компанії повинні стати більш гнучкими та інноваційними, щоб більш ефективно використовувати відновлювані джерела енергії. По-друге, енергетичні компанії повинні стати більш клієнтоорієнтованими.

Загалом, структурна реформа енергетичних компаній необхідна для того, щоб відповідати як вимогам сталого розвитку, так і викликам, що стоять перед світом [2, 3]. Це не лише можливість підвищити конкурентоспроможність, але й шанс для енергетичного сектору стати ключовим гравцем у боротьбі зі зміною клімату та забезпечити енергетичну безпеку на глобальному рівні.

Розглядаючи проактивний підхід, слід звернути увагу на такі аспекти основних етапів: визначення рівня складності та динамічності враховує не тільки вплив факторів зовнішнього середовища на підприємство, а й вплив на середовище в цілому; функціональні залежності оцінюються в контексті впливу зовнішнього середовища на підприємство, а інфраструктура - в контексті їх впливу на підприємство; при визначенні похідних отриманих функцій особливу увагу слід звернути на значення похідних (не за модулями); визначення напряму трансформації здійснюється після визначення типу зовнішнього середовища, його основних характеристик; трансформація існуючого підприємства в плановане підприємство може здійснюватися тільки в тому випадку, якщо змінився тип зовнішнього середовища (з урахуванням порівняння значень похідних функціональних залежностей щодо рівня впливу його характеристик).

Висновки

Своєчасні зміни в організаційній структурі залежать не тільки від правильно розрахованих параметрів дизайну, а й від правильно застосованого проактивного підходу, що забезпечує ефективну роботу підприємства зараз і в довгостроковій перспективі. Проактивний підхід до зміни організаційної конфігурації забезпечує завчасне виявлення потенційних структурних та інших проблем, своєчасне проведення організаційних реформ та запобігання регресу на будь-якому етапі життєвого циклу компанії. Проактивний підхід може бути застосований у будь-якому зовнішньому середовищі, незалежно від віку

організації, її географічного розташування, сектору або позиції на ринку товарів чи послуг.

Література

1. Гетьман О. О. Сучасна концепція стратегічного управління. Управлінська діяльність: досвід, тенденції, перспективи : зб. наук. праць. Харків : ХНУБА, 2022. С. 4-14. URL: https://kmpa.kh.ua/files/collections/2022/Upravlinska_diialnist_dosvid,_tendentsii,_perspektyvy.pdf#page=6
2. Андрєєва Т. Є., Гетьман О. О. Групування організаційних одиниць у диференціальному зовнішньому середовищі. Сучасне управління: регіон, місто, організація в системі національної безпеки країни : колективна монографія / за заг. ред. Н. Е. Аванесової. Харків : ФОП Панов А. М., 2020. С. 321-335. URL: https://kmpa.kh.ua/files/monographies/2020/Suchasne_upravlinnya_rehion,_misto,_orhanizatsiya_v_systemi_natsionalnoyi_bezpeky_krayiny.pdf
3. Криворучко Г. В., Аванесова Н. Е., Гетьман О. О., Ткачук Д. В. Теоретико-практичні рекомендації: найм та управління персоналом підприємства. Науковий вісник будівництва. 2021. Т. 106, №4. С. 208-213. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/1646/1644>

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ
ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ»
11–12 березня 2025 року
(Посвідчення УкрІНТЕІ від 09 грудня 2024 р. № 774)**

Відповідальність за зміст статей несуть автори

Відповідальний за випуск *Корогодський В.А.*

В авторській редакції

Видавець ФОП Бровін О.В.
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.
Формат 60x84/16 Ум. друк. арк. 11,16. Тир. 100 прим. Зам. 819.

Надруковано з макету замовника ФОП Бровіна І.П.
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (066) 822-71-30

СТИЛЬ-ІЗДАТ[®]
ДРУКАРНЯ
www.stil-izdat.com