

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris
C.Z.U.: 621.436-63(043.3)

BANARI EDUARD

**ARGUMENTAREA COMPOZIȚIEI
BIOCOMBUSTIBILULUI PENTRU MOTOARE CU
APRINDERE PRIN COMPRIMARE**

**255.01 TEHNOLOGII ȘI MIJLOACE TEHNICE PENTRU
AGRICULTURĂ ȘI DEZVOLTAREA RURALĂ**

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

CHIȘINĂU, 2024

Teza a fost elaborată în cadrul Departamentului Transporturi al Universității Tehnice a Moldovei.

Conducători științifici:

CEREMPEI Valerian, dr. hab. în științe tehnice, conf. univ., UTM.

LACUSTA Ion, dr., prof. univ.

Referenți oficiali:

DULGHERU Valeriu – dr. hab. șt. teh., prof. univ., UTM;

PASAT Igor – dr. șt. teh., director adjunct, Institutul de Tehnică Agricolă „Mecagro”.

Componenta consiliului științific specializat ad hoc:

STOICEV Petru – dr. hab. șt. teh., prof. univ. emerit, UTM, **Președinte CȘS;**

GOROBEȚ Vladimir – dr. șt. teh., conf. univ., UTM, **Secretar științific CȘS;**

MARIAN Grigore – dr. hab. șt. teh., prof. univ., UTM, **membru CȘS;**

NOVOROJDIN Dumitru – dr. șt. teh., conf. univ., UTM, **membru CȘS;**

CROITORU Dumitru – dr. șt. teh., cerc. științific superior, IFA al USM, **membru CȘS.**

Susținerea va avea loc la 21 martie 2024, ora 14:00, în ședința Consiliului Științific Specializat D 255.01-23-128 din cadrul Universității Tehnice a Moldovei, MD-2045, Republica Moldova, Chișinău, str. Studenților 9/8, blocul 6, sala 114.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la Biblioteca Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web ANACEC (<https://www.anacec.md/>; www.cnaa.md).

Rezumatul a fost expediat la 16 februarie 2024.

Secretar științific
al Consiliului Științific Specializat,
dr. șt. teh., conf. univ.

GOROBEȚ Vladimir

Conducător științific,
dr. hab. șt. teh., conf. univ.

CEREMPEI Valerian

Autor

BANARI Eduard

© Banari Eduard, 2024

CUPRINS

REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII	4
CONȚINUTUL TEZEI.....	7
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	26
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	29
LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI.....	30
ADNOTARE	32
ANNOTATION	33
АННОТАЦИЯ	34

REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța temei abordate. La momentul actual, societatea umană se confruntă cu o cerere și un consum în permanentă creștere de combustibili fosili, rezervele explorate ale cărora sunt în continuă scădere. Totodată emisiile ale substanțelor nocive rezultate din arderea combustibililor fosili prezintă una dintre cauzele însemnate de poluare a mediului, aducând daune care tot mai greu este posibil de recuperat. În circumstanțele menționate cercetătorii și specialiștii din întreaga lume sunt în căutarea surselor alternative de energie, la care aparțin și sursele regenerabile de energie, cum ar fi esterul metilic obținut din grăsimile vegetale sau animaliere (biodiesel). Biodieselul are capacitatea de a reduce dependența de combustibilii fosili și de a micșora volumul emisiilor poluante în gazele de eșapament ale MAC.

Tema tezei de doctorat se înscrie în prevederile documentelor de politici de nivel internațional și cel național din Republica Moldova: *Convenția-cadru ONU cu privire la schimbarea climei, adoptată la 09.05.1992 în Rio de Janeiro; Protocolul de la Kyoto din 1997 cu Acorduri ulterioare de la Bali, Copenhaga, Cancun, Paris, Madrid, Glasgow; Strategia energetică a Republicii Moldova până în 2030, aprobată prin Hotărârea Guvernului HG nr. 102 din 05.02.2015; Strategia de dezvoltare cu emisiile reduse a Republicii Moldova până în anul 2030, Anexa nr.1 la HG nr. 1470 din 30.12.2016; Strategia de mediu pentru anii 2014-2023 aprobată prin HG nr. 301 din 24.04.2014.*

Informația existentă în sursele de specialitate privind fenomene care au loc în motor alimentat cu amestec biodiesel-motorină (proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor în baza esterului metilic și ale uleiurilor de motor în acțiune; comportarea cuplei tribologice din îmbinarea pieselor din camera de ardere în mediul de biocombustibil; cantitatea substanțelor nocive emise cu gazele de eșapament; valorile optime ale compoziției biocombustibilului și ale parametrilor de funcționare MAC) poartă un caracter fragmentar, deseori chiar contradictoriu sau lipsește (Mohd Khazaai, S. N., et al., 2020; Курманова, Л. С., 2019; Hassan, U., et al., 2018; Марков, В. А., и др., 2015; Грехов, Л. В., и др., 2015; Захарчук, В. И., și Ткачук, В. В., 2012; Дука, Г., și Крачун, А., 2007). În condițiile sus-menționate este necesitatea acută în realizarea cercetărilor pentru cercetarea efectelor ecologice și tehnico-economice de la implementarea amestecului biodiesel-motorină pentru MAC.

Rezultatele obținute în prezenta teză vor permite creșterea securității energetice a Republicii Moldova, ameliorarea situației ecologice la nivel local și global, precum și îmbunătățirea performanțelor tehnico-economice ale MAC și facilitarea pregătirii cadrelor de specialiști.

Scopul lucrării constă în ameliorarea situației în domeniul ecologic și îmbunătățirea performanțelor tehnico-economice ale motoarelor cu aprindere prin comprimare în baza argumentării compoziției amestecului biodiesel-motorină pentru alimentarea acestor motoare.

Reieșind din scopul stipulat, activitățile de cercetare-inovare în această teză sunt orientate spre realizarea următoarelor **obiective**:

1. Identificarea tendințelor existente pe plan internațional și cel național în funcționarea MAC alimentate cu combustibilii fosili și alternativi, obținuți din biomasă.

2. Studiul și argumentarea teoretică a compoziției amestecului biodiesel-motorină în baza procesului de combustie. Determinarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibilului în baza esterului metilic din uleiurile vegetale și ale uleiului de motor în acțiune.

3. Efectuarea cercetărilor tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie în diferite medii și a cercetărilor de stand ale performanțelor MAC alimentat cu biocombustibil.

4. Elaborarea modelelor matematice, argumentarea experimentală a valorilor optime ale compoziției biocombustibilului și ale parametrilor de funcționare a motorului Diesel. Evaluarea efectelor ecologice de la implementarea amestecului biodiesel-motorină pentru MAC.

5. Formularea concluziilor finale și direcțiilor noi de cercetare.

Ipoteza de cercetare

Se presupune că drept urmare a activităților complexe, care includ studiile procesului de combustie și argumentările teoretice ale compoziției amestecului biodiesel-motorină, precum și cercetările experimentale ale performanțelor MAC, alimentate cu amestecuri biodiesel-motorină cu diferite fracții ale biodieselului, există posibilitatea obținerii modelelor matematice care adecvat reflectă dependența cantităților emise de substanțe nocive (CO , C_nH_m , particulele solide) în gazele de eșapament funcție de compoziția amestecului biodiesel-motorină C_B , de parametrii de funcționare a motorului (turațiile arborelui cotit n , sarcina motorului N_i/N_e), iar ecuațiile de regresie obținute vor permite determinarea valorilor optime ale factorilor de influență sus-menționați care asigură obținerea valorilor minime ale emisiilor de substanțe nocive.

O altă presupunere este formulată pe baza datelor existente la momentul actual și constă în posibila egalitate a proprietăților tribologice ale combustibilului tradițional pentru MAC (motorinei) și ale celui regenerabil (biodiesel), ceea ce va asigura o înaltă fiabilitate și durabilitate de funcționare a motorului.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese

Pentru realizarea obiectivelor din prezenta lucrare au fost efectuate studiile de laborator ale proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale amestecurilor combustibile biodiesel-motorină și

ale uleiurilor de motor în acțiune, precum și cercetările experimentale de stand ale MAC cu varierea valorilor ale fracției volumetrică a biodieselului C_B și ale parametrilor de funcționare a motorului (turațiilor arborelui cotit n , sarcinii motorului N_i/N_e). Cercetările sus-menționate au fost efectuate în laboratoare Chimotologie; Studiul MAI din componența catedrei Ingineria Transportului Auto și Tractoare, facultatea Ingineria Agrară și Transport Auto, UASM (actualmente – departamentul Transporturi, UTM).

Pentru a avea posibilitatea de a prognoza fiabilitatea și durabilitatea de funcționare a motorului alimentat cu amestec biodiesel-motorină au fost realizate cercetările tribologice în mediul cu diferiți lubrifianți ale cuplei crom-fontă cenușie care efectiv modelează condițiile de lucru ale îmbinării cămașa cilindrului- primul segment de piston din camera de ardere. Cercetările tribologice s-au efectuat în laboratorul specializat al facultății Ingineria Mecanică, Industrială și Transporturi, UTM.

Inovația științifică: s-au obținut modelele matematice, care au permis identificarea valorilor optime ale raporturilor dintre fracțiile volumetrică ale biodieselului și motorinei în amestec combustibil, ceea ce a cauzat diminuarea emisiilor nocive (CO , C_nH_m , fum) în gaze de eșapament și a consumului specific de combustibil g_e în MAC; s-au determinat caracteristicile tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie în mediul de motorină, amestec biodiesel-motorină și biodiesel pur.

Implementarea rezultatelor științifice s-a realizat în SDE „Chetrosu” (r-1 Anenii Noi), UASM (actualmente UTM) și în procesul didactic al UTM la disciplinele S.A.002 „Motoare cu ardere internă”, S.O.001 „Materiale de exploatare” și S.03.O.24 „Materiale de exploatare pentru autovehicule” la specialitățile 0716.1 Ingineria Transportului Auto și 0716.4 Ingineria Agrară.

Aprobarea rezultatelor științifice. Rezultatele științifice obținute au fost prezentate și discutate la simpozioane, conferințe naționale și internaționale: Simpozionul Științific Internațional „70 ani ai Universității Agrare de Stat din Moldova”, Chișinău, 2003; Conferința științifică internațională „Energetica Moldovei. Aspecte regionale de dezvoltare”. Ediția I, 21-24 septembrie 2005; Materialele Conferinței Internaționale „Sisteme de transport și logistică”, Chișinău, (2007, 2011); Conferința Științifică Internațională „Impactul transporturilor asupra mediului ambiant”, Chișinău, 2008; Simpozionul Științific Internațional „Lucrări Științifice, volumul 21, Inginerie Agrară și Transport Auto”, Chișinău, 2008; Conferința Științifică Internațională „Transport: economie, inginerie și management”, Chișinău, (2010, 2011); Simpozionul Științific Internațional „Agricultura Modernă-Realizări și Perspective”, Chișinău, 2013; Simpozionul Științifico-practic Internațional „Realizări și perspective în Inginerie Agrară și Transport Auto”, Chișinău, 2015; Conferința științifică națională cu participare internațională

„Life sciences in the dialogue of generations: Connections between universities, Academia and Business community”, 29-30 septembrie 2022, Chișinău; Conferința științifică națională cu participare internațională „Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective”, 20-21 mai 2022, Bălți, Moldova; International Symposium ISB-INMATEH' 2023 „Technologies and Technical Systems in Agriculture, Food Industry and Environment”, 5-6 October, Bucharest 2023.

Publicații la tema tezei. Rezultatele cercetărilor sunt publicate în 22 lucrări științifice, dintre care 3 articole în reviste din bazele de date Web of Science, dintre care 1 articol cu Impact Factor (IF 0.484); 2 articole în reviste din străinătate recunoscute; 2 articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, categoria B; 2 articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, categoria C; 3 articole în culegerile științifice și 10 articole în lucrările conferințelor științifice.

CONȚINUTUL TEZEI

Introducerea formulează actualitatea și importanța temei abordate, scopul și obiectivele tezei de doctorat, ipoteza de cercetare, sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese, inovația științifică, precum și implementarea și aprobarea rezultatelor științifice. În introducere este prezentat și conținutul succint al capitolelor care intră în structura tezei.

1. STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIUL PRODUCȚIEI ȘI UTILIZĂRII BIOCOMBUSTIBILILOR PENTRU ALIMENTAREA MAC

Capitolul 1 redă o sinteză a stadiului actual în domeniul producției și utilizării biocombustibililor pentru alimentarea MAC, care include examinarea amănunțită a volumelor de producție și utilizare a resurselor energetice pe plan mondial, trecând în revistă atât combustibilii fosili (petrol, gaze naturale), cât și cele alternative, inclusiv biocombustibilii pentru alimentarea MAC. Deoarece aplicabilitatea tezei de doctorat este în domeniul autovehiculelor (tractoarelor și automobilelor dotate cu MAC), prin urmare capitolul continuă cu o descriere a tendințelor de majorare continuă a numărului de motoare cu aprindere prin comprimare și a volumului de lucrări realizate cu acestea, precum și a influenței gazelor de eșapament asupra situației ecologice. Sunt reflectate documente de politici și acțiunile reale de atenuare a emisiilor de gaze cu efect de seră.

În continuare este prezentată o analiză a volumelor de producție și utilizare a esterilor metilici din grăsimile vegetale și animaliere pentru alimentarea MAC, precum și a proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale acestor biocombustibili, obținuți din diferite materii prime.

S-a demonstrat în baza analizei efectuate că cel mai eficient combustibil alternativ pe bază de uleiuri vegetale sunt esterii metilici ai acizilor grași (biodiesel), care au proprietăți fizico-chimice și de exploatare (viscozitatea cinematică, densitatea, onctuozitatea) mult mai apropiate de cele ale motorinei (Гумеров, Ф. М., и др., 2006; Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2009).

Capitolul se încheie cu metode și utilaje de producere a esterilor metilici pentru alimentarea MAC. La finalul capitolului au fost formulate concluzii de rigoare.

2. PROGRAM ȘI METODICI DE CERCETARE, ECHIPAMENT, MATERIALE, METODE DE PREPARARE ȘI DE ANALIZĂ

Capitolul 2 prezintă algoritmul efectuării cercetărilor experimentale și a încercărilor de exploatare, cu descrierea construcției și a principiului de funcționare a echipamentelor utilizate.

Pentru esterificarea uleiurilor vegetale s-a utilizat tehnologia, care are la bază reacția de transesterificare în cataliză bazică omogenă a trigliceridelor cu metanol, și instalația cu acțiune ciclică M8-KPB-01 elaborată de specialiștii SA „Alimentarmaș” în cooperare cu Universitatea Agrară de Stat din Moldova (actualmente Universitatea Tehnică a Moldovei) (Слюсаренко, В., и др., 2010). Studiile noastre și ale Institutului de Cercetări Științifice din Industria de Rafinare a Petrolului „MASMA” Ucraina au demonstrat, că proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale biodieselului, obținut cu instalația M8-KPB-01, corespund cerințelor standardului european EN 14214:2003 (Слюсаренко, В., и др., 2010).

Studiul proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor și a uleiului de motor. O parte semnificativă din acest capitol este consacrată descrierii metodelor de evaluare a proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor precum ar fi: densitatea, viscozitatea cinematică, temperatura de inflamare și temperatura de tulburare/congelare.

Studiul proprietăților fizico-chimice și de exploatare a fost realizat pentru următorii combustibili: motorină SUPER DIESEL EURO 5 (GOST 305-82); biodiesel B100 transesterificat din ulei de rapiță; amestecuri formate din motorină și biodiesel în următoarele proporții [% vol.]: B20 (80:20), B50 (50:50).

Proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor și uleiurilor de motor au fost determinate în conformitate cu documentele normative aflate în vigoare pe teritoriul Republicii Moldova:

a) combustibili: densitatea absolută- conform GOST 3900-85, ISO 3838-2004 cu densimetru; viscozitatea cinematică- conform GOST 33-82, ISO 3104-2020 cu viscozimetru VPJ-2; temperatura de inflamare- conform GOST 6356-75, ISO 2719-2016 cu aparatul model PVNE;

temperatura de tulburare/congelare- conform GOST 5066-91, ISO 3013-74 cu aparatul de congelare.

b) uleiul de motor M-10G₂ (GOST 8581-2021; SAE 30; API CC): viscozitatea cinematică- conform GOST 33-82, ISO 3104-2020 cu viscozimetru capilar de sticlă VPJ-2; conținutul de apă- conform GOST 2477-85, ISO 3733-76 cu balanța WA36 PRLT A14; conținutul de cenușă- conform GOST 12417-94, ISO 3987-80 cu cuptorul electric, model SNOL 1.6.2.0.0.8/9-M1; alcalinitatea- conform GOST 11362-96, ISO 6619-88 cu pH-metru-milivoltmetru, model pH-673.

Cercetările de stand ale MAC DC4 11,0/12,5 (model D-241L) alimentat cu biodiesel au fost efectuate conform GOST 18509-88, GOST 17.2.02-98 pe standul KI-5543 (producător – GOSNITI). Motorul încercat a fost alimentat cu combustibilul petrolier standard (motorină, GOST 305-82), cu biodiesel pur B100 și amestecuri biodiesel-motorină B20, B50. Sistemul de ungere a motorului a funcționat cu uleiul M-10G₂ preconizat pentru acest motor cu respectivul pachet de aditivi. Ridicarea caracteristicilor de sarcină și de viteză ale motorului DC4 11,0/12,5 a fost realizată la regimul nominal și la sarcini parțiale de funcționare a motorului.

Evaluarea componentei gazelor de eșapament a fost efectuată în cazul alimentării MAC cu motorină, amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 și biodiesel B100, fiind utilizat analizatorul de gaze Cartec, seria CET 2000 (producător – Cartec GmbH, Germania). Componenta gazelor de eșapament a fost evaluată conform GOST 17.2.02-98, cu varierea sarcinii motorului în următoarele limite: 0%, 25%, 50% și 75% din puterea nominală.

Cercetările tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie au fost efectuate în mediul de motorină și biocombustibili (amestec B20, biodiesel pur B100) pe instalația MVPD-1KPI, care imitează condițiile reale de funcționare a cuplei segmentii de piston - cămașa cilindrului.

Încercările de exploatare ale MAC alimentate cu biodiesel au fost realizate conform GOST 54783-2011 în SDE „Chetrosu” (r-l Anenii Noi) a UASM pe parcursul de 2 ani (2008-2010), fiind încercate patru tractoare universale, model Belarus-82.1 MTZ, echipate cu motoare de tipul DC4 11,0/12,5 alimentate cu motorină și amestec biodiesel-motorină B20.

Prelucrarea statistică a rezultatelor cercetărilor experimentale. Metodele de analiză selectate în cercetare au fost evaluate în prealabil, validarea metodei fiind asigurată prin stabilirea conformității ei protocolului experimentului. Pentru a asigura veridicitatea datelor obținute s-a aplicat criteriul de repetabilitate, conform căruia fiecare experiment a fost repetat de 3-5 ori cu prelucrarea statistică și modelarea matematică a datelor experimentale obținute, utilizând programul Microsoft Office Excel. Optimizarea compoziției biocombustibilului și a parametrilor de funcționare ale MAC s-a realizat prin elaborarea modelelor matematice cu ajutorul facilităților programului STATGRAPHICS Centurion XV, utilizând planul de cercetare Box-Behnken.

3. ARGUMENTAREA COMPOZIȚIEI BIOCOMBUSTIBILULUI PENTRU MAC

Capitolul 3 reflectă rezultatele argumentării teoretice a compoziției amestecurilor biodiesel-motorină în baza procesului de combustie cu evaluarea parametrilor energetici, economici, ecologici ai MAC; ale studiilor proprietăților fizico-chimice ale amestecurilor biodiesel-motorină și ale uleiului de motor în acțiune din baia carterului MAC; ale cercetărilor de stand cu caracteristicile de bază MAC alimentat cu biocombustibil.

Studiul și argumentarea teoretică a compoziției biocombustibilului (în baza procesului de ardere). În calitate de sursă primară a energiei în motoarele cu ardere internă, inclusiv în MAC, servesc reacțiile chimice de oxidare exotermă între combustibil și oxidant. În baza acestor reacții, utilizând datele existente în literatura de specialitate privind compoziția chimică a combustibililor cercetați și principiul aditivității (proporționalității), la prima etapă au fost calculate valorile absolute ale parametrilor de ardere pentru biocombustibilii cercetați: fracția masică a elementelor C, H, O, kg/kg comb., masa moleculară a combustibilului m_c , kg/kmol, indicii reacției stoichiometrice de combustie. Principalii indici ale reacțiilor stoichiometrice au fost: cantitatea teoretic necesară de aer L_0 , kmol, pentru arderea 1 kg combustibil; cantitatea amestecului de ardere M_l , kmol/kg comb., m_l , kg/kg comb.; puterea calorică inferioară NCV a combustibilului, MJ/kg, și a amestecului de ardere MJ/kmol am., MJ/kg am.; variația molară, ΔM , kmol/kg, a produselor de ardere (Tab. 1).

Rezultatele calculelor demonstrează că fracția masică a combustibilului în amestecul de ardere stoichiometric variază de la 6,47% în cazul combustiei motorinei și până la maximum 7,34% pentru biodieselul pur B100, ceea ce, în ultimul caz, majorează consumul specific g_e al biocombustibilului în MAC. De exemplu, pentru asigurarea aceleiași puteri a motorului alimentat cu amestec B20, consumul g_e crește cu 1,6%, iar în cazul biodieselului pur B100- cu 13,4 % în raport cu motorina.

Valorile coeficientului K_c [kmol/ciclu] de modificare a cantității molare a amestecului de ardere variază în limite înguste: de la valoarea maximă 1,0019 cu B20 până la cea minimă 0,9834 cu B100 (în cazul arderii motorinei $K_c=1,0$). Căldura specifică a amestecurilor de ardere ($H_{am. ard.}$, MJ/kmol am.) cu utilizarea motorinei și a biocombustibililor are un trend de creștere în cazul combustiei biodieselului B100 și a amestecurilor biodiesel-motorină, cea mai mare rată de adaos (1,68%) al căldurii specifice $H_{am. ard.}$ este la amestecul de ardere în baza biodieselului pur B100 în raport cu cel în baza motorinei. Rezultatele obținute demonstrează că biodieselul pur B100 și amestecurile biodiesel-motorină pot asigura motorului aceeași putere ca și în cazul utilizării motorinei fără modificarea parametrilor geometrici ai camerei de ardere.

S-a demonstrat prin calculele teoretice că, pentru arderea completă a unui kilogram de biodiesel B100 sunt necesare 12,62 kg de aer, ceea ce este mai puțin cu 14,5%, decât la arderea 1kg de motorină, care necesită cantitatea stoichiometrică a aerului de 14,45 kg. Valorile calculate ale coeficientului convențional al excesului de aer în cazul alimentării cu motorină și amestecuri biodiesel-motorină variază în limita restrânsă $\alpha_{conv}=1,0-0,99$, ceea ce demonstrează posibilitatea alimentării MAC cu amestecuri biodiesel-motorină fără introducerea modificărilor în construcția și în reglările sistemului de alimentare cu combustibil și aer. Datorită prezenței oxigenului O_2 în molecula biodieselului, la funcționarea MAC cu acest combustibil crește efectiv valoarea reală a coeficientului de exces al aerului α , ceea ce majorează completitudinea arderii biocombustibilului și nu necesită modificarea sistemului de alimentare al motorului.

Tabelul 1. Valorile extrapolate ale parametrilor de ardere pentru biocombustibilii cercetați

Denumirea parametrilor	Tipul combustibilului						
	Motorină	B20	B40	B50	B60	B75	B100
Masa moleculară a combustibilului m_c , [kg/kmol]	213,9	228,98	244,05	251,59	259,13	270,44	289,28
Cantitatea amestecului de ardere: - M_1 , [kmol/kg comb.] - m_1 , [kg/kg comb.]	0,5039 15,45	0,4954 15,21	0,4781 14,72	0,4744 14,62	0,4652 14,35	0,4570 14,12	0,4396 13,62
Fracția masică a combustibilului în amestec de ardere stoichiometric, [% mas.]	6,4724	6,5746	6,7934	6,8399	6,9686	7,0821	7,3421
Puterea calorifică inferioară NCV : - a combustibilului, [MJ/kg] - a amestecului de ardere: [MJ/kmol am.] [MJ/kg am.]	42,5 84,34 2,7508	41,7 84,174 2,7416	40,7 85,128 2,7649	40,2 84,738 2,7496	39,7 85,339 2,7665	38,9 85,120 2,7549	37,7 85,759 2,7679
Coeficientul modificării consumului volumic al biocombustibililor în raport cu motorină $K_{cv}=V^B/V^m$	1,0	1,0047	1,0183	1,0229	1,0275	1,0420	1,0611
Variația molară, ΔM , [10^{-4} kmol/kg]	328,13	326,88	330,63	329,69	331,88	332,03	334,38
Raportul variației molare, μ	1,0651	1,0659	1,0691	1,0694	1,0713	1,0726	1,0760
Coeficientul modificării cantității molare a amestecului de ardere: $K=M_1^B/M_1^m$, [kmol/kg comb.] $K_c=NCV^m/NCV^B \cdot K$, [kmol/ciclu]	1,0	0,9831 1,0019	0,9487 0,9907	0,9414 0,9953	0,9231 0,9883	0,9069 0,9908	0,8723 0,9834
Coeficientul convențional de exces al aerului, α_{conv}	1,0	0,99955	0,99924	0,99888	0,99883	0,99876	0,99868

Notă: 1. M_1^B , M_1^m - reprezintă cantitatea amestecului de ardere cu biocombustibilii și, respectiv, cu motorină, [kmol/kg comb.];

2. NCV^m , NCV^B - puterea calorifică inferioară a motorinei și, respectiv, a biocombustibililor, [MJ/kg].

Studiul proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor din esterii metilici ale uleiurilor vegetale. Proprietățile menționate ale combustibililor în mare măsură determină caracterul procesului de ardere a amestecului de lucru și performanțele motorului, de

aceea după realizarea cercetărilor teoretice ale biocombustibililor au fost estimate proprietățile lor. În calitate de obiect al studiilor proprietăților fizico-chimice au servit: motorina SUPER DIESEL EURO 5, biodieselul B100, amestecul biodiesel-motorină (B20, B50), pentru care au fost măsurate densitatea, viscozitatea cinematică, temperatura de inflamare și temperatura de tulburare/congelare.

Rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale în cadrul studiilor de laborator au demonstrat că, valorile densității (la 15 °C) și a viscozității cinematice (la 40 °C) a biodieselului pur B100 intră în limitele intervalului specificat de standardul SM STB 1657:2009 (EN 14214:2003), care reglementează proprietățile combustibilului pentru MAC.

Valoarea punctului de inflamabilitate pentru biocombustibili este mai mare în raport cu cea a motorinei: pentru B100- cu 64 °C, pentru B50- cu 15 °C, pentru B20- cu 3 °C, fapt care servește drept dovadă, că biocombustibilii studiați sunt mai stabili din punct de vedere a siguranței antiincendiară.

Cercetări tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie în diferite medii. S-a stabilit în baza cercetărilor că, valorile medii ale coeficientului de frecare în cupla studiată, în cazul utilizării biocombustibililor B20, B100 în calitate de materialul lubrifiant, sunt mai înalte în raport cu motorina: cu 15,6% pentru B20 și, respectiv, cu 23,3% pentru B100 (Fig. 1). Creșterea coeficientului de frecare în mediul biocombustibililor cercetați s-a produs, probabil, din cauza valorilor mai înalte ale viscozității lor.

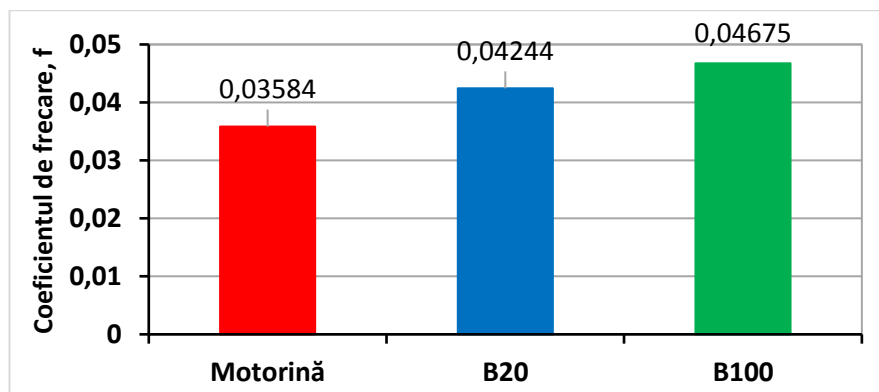


Fig. 1. Valorile medii ale coeficientului de frecare ale cuplei tribologice funcție de materialul lubrifiant utilizat (Cerempei, V., Banari, E., Poștaru, Gh., Popa, L., 2023)

Totodată, valorile uzurii totale U_t ale cuplei tribologice pentru toată durata cercetărilor s-au micșorat, în raport cu lubrifierea în mediul de motorină, cu 36,8% pentru cazul B20 și cu 39,5% pentru cazul B100 (Fig. 2). Scăderea substanțială a uzurii totale a cuplei tribologice în cazul lubrifierii cu biocombustibilii B20, B100, probabil, se datorează compoziției chimice, precum și a viscozității mai mari a acestora, ceea ce în ansamblu îmbunătățește proprietățile de lubrifiere ale

biocombustibililor B100, B20. Este important că amestecarea biodieselului cu motorină în proporție de 20:80 are un efect sinergic, deoarece valoarea uzurii totale a elementelor cuplei tribologice cu utilizarea în calitate de lubrifiant a amestecului B20 ($U_t=2,4mg$) și a biodieselului pur B100 ($U_t=2,3mg$) nu se deosebește cu mult (Cerempei, V., Banari, E., Poștaru, Gh., Popa, L., 2023).

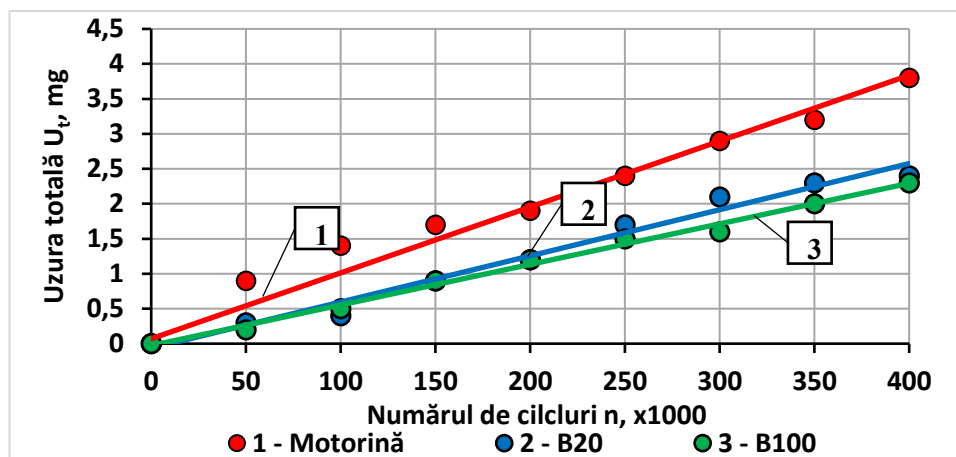


Fig. 2. Dinamica uzurii totale a cuplei tribologice cu utilizarea diferitor lubrifianți (motorină, biocombustibili B20, B100) (Cerempei, V., Banari, E., Poștaru, Gh., Popa, L., 2023)

Cercetări de stand ale performanțelor MAC alimentat cu biocombustibil. Analiza surselor bibliografice privind producerea și utilizarea biocombustibililor pentru alimentarea MAC, efectuată în capitolul 1, a demonstrat necesitatea studierii comportării motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu combustibilul petrolier și cel alternativ. Prin urmare, au fost ridicate caracteristicile de sarcină și viteză ale MAC alimentat cu motorină (combustibil martor), biodiesel B100, amestecuri biodiesel-motorină B20 (motorină 80% + biodiesel 20%), B50 (motorină 50% + biodiesel 50%).

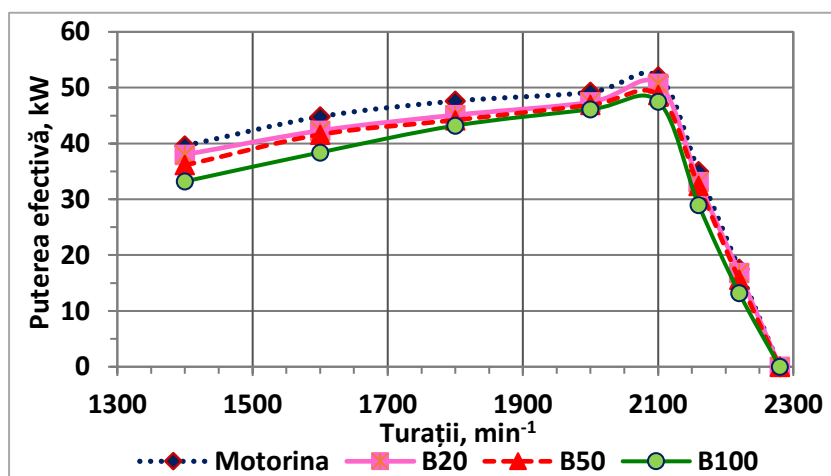


Fig. 3. Modificarea puterii efective a motorului DC4 11,0/12,5 funcție de turația arborelui cotit (Banari, E., 2022a)

Analiza modificării puterii efective a motorului DC4 11,0/12,5 funcție de turația arborelui cotit demonstrează că, în cazul alimentării MAC cu biodiesel B100 se observă o diminuare a puterii efective N_e la regimul nominal de funcționare a motorului (turația $n = 2100 \text{ min}^{-1}$) cu 8,7% sau cu 4,2 kW în raport cu funcționarea motorului pe motorină (Fig. 3).

Alimentarea motorului DC4 11,0/12,5 cu bioamestecuri a adus de asemenea la o scădere a puterii efective a motorului la regimul nominal de funcționare comparativ cu alimentarea motorului cu motorină, însă această scădere avea valori mai mici: 2,5% pentru amestec de combustibil B20 și 6,4% pentru B50.

Este necesar de menționat faptul că, prezența unei cantități de oxigen în moleculele biodieselului (până la 10-11% în B100) este cauza principală a diminuării puterii calorifice a biocombustibilului comparativ cu cea a motorinei. Drept urmare acestui fenomen consumul specific efectiv al biocombustibilului g_e se majorează. În cazul alimentării MAC cu biodiesel B100 și cu amestecuri combustibile B20, B50 consumul specific efectiv g_e a crescut în raport cu alimentarea motorului cu motorină (Fig. 4).

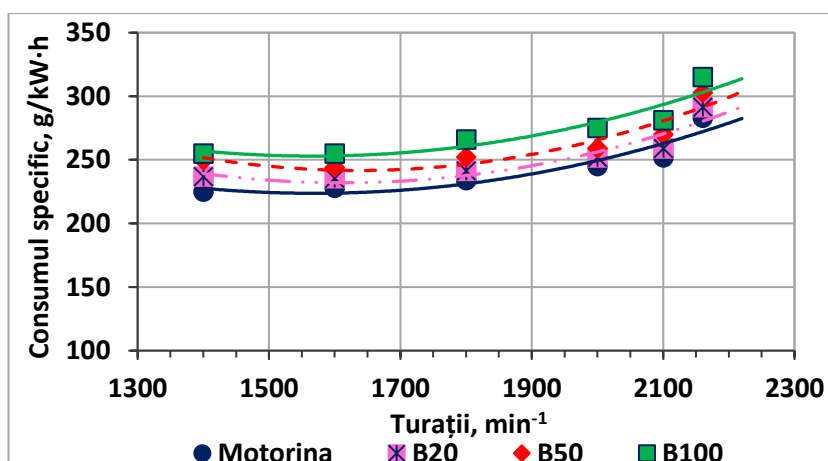


Fig. 4. Consumul specific de combustibil al motorului DC4 11,0/12,5 funcție de turația arborelui cotit (Banari, E., 2022a)

Din analiza graficului rezultă, că valorile consumului specific efectiv al biocombustibililor B20, B50 și B100 s-au majorat în raport cu motorina:

a) la regimul puterii maxime (turația $n = 2100 \text{ min}^{-1}$): cu 2,8% pentru cazul B20; cu 7,1% pentru cazul B50 și cu 11,6 % pentru cazul B100;

b) la regimul momentului maxim (turația $n = 1400 \text{ min}^{-1}$): cu 5,2 % pentru cazul B20; cu 10,9 % pentru cazul B50 și cu 13,3 % pentru cazul B100.

Rezultatele noastre coincid cu cele obținute de alți autori (Марков, B. A., et al., 2009), care au stabilit că randamentul efectiv η_e al motorului alimentat cu biodiesel B100 și cu amestecuri

combustibile B20, B50 se modifică neesențial pentru toate cazurile în raport cu motorina: la regimul puterii maxime variația valorilor randamentului η_e se află în limitele 33,3÷33,5 %, iar la regimul momentului maxim acest interval este egal cu 34,3÷36,4 %.

4. EVALUAREA EFECTELOR ECOLOGICE ȘI TEHNICE DE LA IMPLEMENTAREA BIOCOMBUSTIBILILOR PENTRU MAC

Rezultatele cercetărilor monofactoriale ale substanțelor emise în gazele de eșapament.

La etapa dată în gazele de eșapament au fost determinate fracțiile mai multor substanțe, care reflectă nu numai nocivitatea substanțelor de ardere, ci și completitudinea procesului de ardere în MAC: monoxidul de carbon (CO), bioxidul de carbon (CO₂), hidrocarburi (C_nH_m), oxigen (O₂), emisiile de particule solide (fumegarea).

Rezultatele obținute în urma cercetărilor de stand ale motorului DC4 11,0/12,5 (Fig. 5) demonstrează faptul, că în intervalul gradului de solicitare a motorului $N_i/N_e = 0\%-75\%$, cu utilizarea biodieselului B100 concentrația emisiei monoxidului de carbon (CO) se micșorează de la 0,040 până la 0,015 %vol., fiind cu 0,010÷0,005 %vol. mai redusă în raport cu motorina, cu utilizarea căreia fracția CO diminuează în limita 0,050÷0,020 %vol. în același interval de sarcini ale motorului.

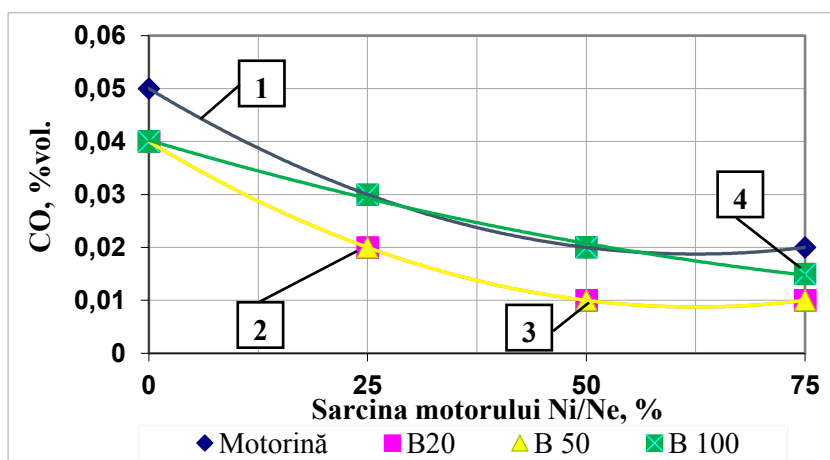


Fig. 5. Frația volumetrică CO în gazele de eșapament funcție de sarcina motorului (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100; $n=2100 \text{ min}^{-1}$) (Banari, E., 2022b)

Utilizarea amestecurilor biocombustibile are un efect benefic asupra concentrației CO în gazele de eșapament cu sarcina motorului în limita $N_i/N_e = 0\%-63\%$. În cazul alimentării MAC cu amestecuri B20 și B50, la gradul de solicitare a motorului de la 0 până la 50% N_e , se observă o diminuare a concentrației CO de la 0,04 până 0,01 %vol., având permanent valorile mai mici cu 0,01 %vol. în raport cu motorina, care în același interval de sarcini a permis obținerea fracției CO în limita 0,05÷0,02 %vol. Scăderea fracției CO în gazele de eșapament este consecința majorării gradului de completitudine a arderii carbonului din molecula combustibilului în prezența cantității suficiente de oxigen. Acest fenomen benefic se observă în intervalul sarcinilor mici și mijlocii ale

motorului pentru toate tipurile de combustibili studiați, în special, pentru B20 și B50. La sarcina motorului Ni/Ne = 75% fracția CO în gazele de eșapament se menține la nivelul de 0,02% pentru motorină, iar pentru amestecurile B20 și B50 se micșorează până la 0,01%. Luând în considerare faptul, că alimentarea motorului cu biodiesel pur B100 are drept consecință scăderea permanentă a fracției CO în intervalul întreg al sarcinii motorului de la 0% până la 75%, putem presupune că alimentarea aceluiași motor cu amestecuri B20, B50 provoacă un efect sinergic la sarcina de 75%.

La funcționarea MAC cu toate tipurile de combustibili supuși testării (Fig. 6) se observă o majorare a emisiei de CO₂ pe tot intervalul de sarcini ale motorului de la 0 până la 75% Ne. Aceasta majorare este una obiectivă, deoarece cu creșterea sarcinii motorului este necesară majorarea cantității ciclice a combustibilului, efectul final fiind creșterea proporțională a produsului reacției de combustie a carbonului. La gradul de solicitare a motorului de 75% Ne emisia de CO₂ are valoare cea mai înaltă (7,81-7,83 %vol.) în cazul alimentării cu biodiesel B100 și amestecul B50, sporul fiind de 0,92-0,94 %vol. în raport cu motorina (CO₂ = 6,89 %vol.). În cazul alimentării cu amestecul B20 la gradul de solicitare a motorului de 75% Ne, de asemenea, are loc o creștere a concentrației emisiei CO₂ în raport cu motorină cu 0,42 %vol. (valoarea absolută-7,31% vol.).

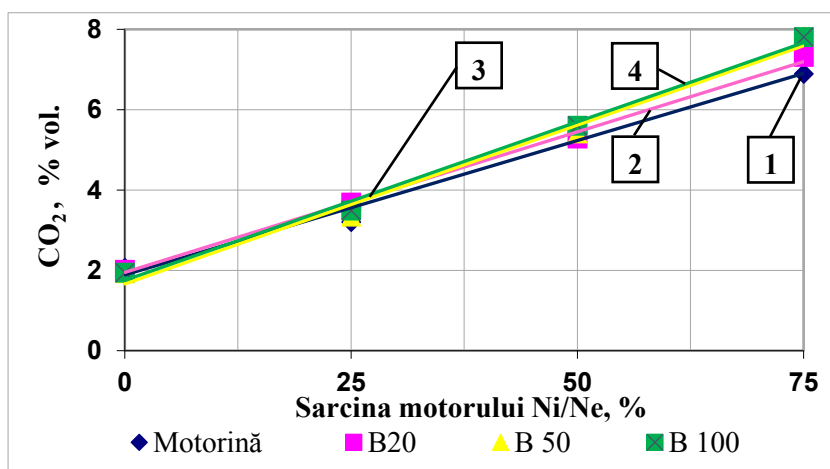


Fig. 6. Frația volumetrică CO₂ în gazele de eșapament funcție de sarcina motorului (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100; n=2100 min⁻¹) (Banari, E., 2022b)

Datele prezentate în figura 7 demonstrează faptul că, emisia de C_nH_m depinde de tipul de combustibil utilizat și de modalitatea realizării procesului de ardere a combustibilului în camera de lucru a motorului. De exemplu, în cazul alimentării motorului cu biodiesel B100 se observă o diminuare substanțială a concentrației emisiei de C_nH_m în raport motorină cu până la 9 ppm (scăderea- 39,1%) în intervalul gradului de solicitare a motorului de la 0 până la 50% Ne, iar la sarcina de 75% Ne cantitatea C_nH_m se diminuează cu 8 ppm (scăderea-34,8%). În cazul alimentării motorului cu B50, la fel, s-a remarcat o micșorare a concentrației emisiei de C_nH_m în raport cu motorina cu 2 ppm (scăderea-8,3%) la gradul de solicitare a motorului de 75% Ne. Alimentarea

MAC cu amestecul B20 nu a produs schimbări esențiale în emisia de C_nH_m în raport cu motorina pe tot intervalul studiat al gradului de solicitare a motorului de la 0 până la 75% N_e .

Așadar, cu mărirea concentrației biodieselului în amestec cu motorină, emisia hidrocarburilor (C_nH_m) în gazele de eșapament are tendința de scădere, fapt ce demonstrează, că completitudinea arderii biocombustibilului este mai înaltă în raport cu motorină.

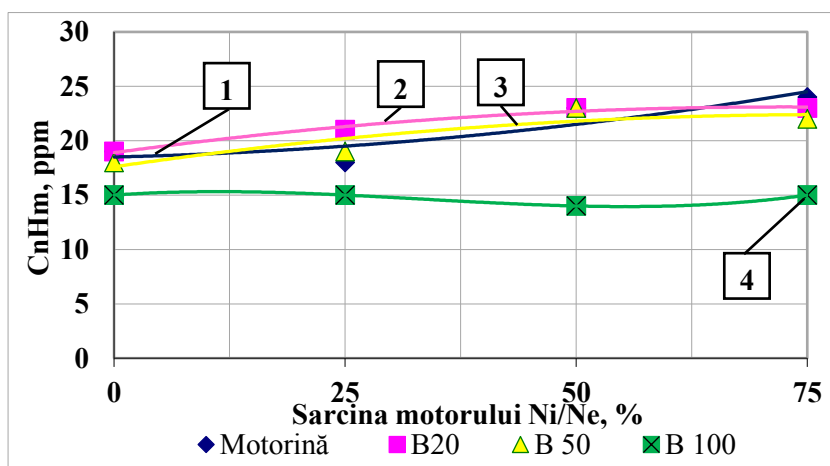


Fig. 7. Frația volumetrică C_nH_m în gazele de eșapament funcție de sarcina motorului (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100; $n=2100 \text{ min}^{-1}$) (Banari, E., 2022b)

Cantitățile emisiilor de fum în gazele de evacuare determinate în urma cercetărilor experimentale ale motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină, biodiesel B100 și cu amestecuri B20, B50 demonstrează că, majorarea concentrației esterului metilic în amestec cu motorina duce la o scădere a emisieii de fum (Fig. 8).

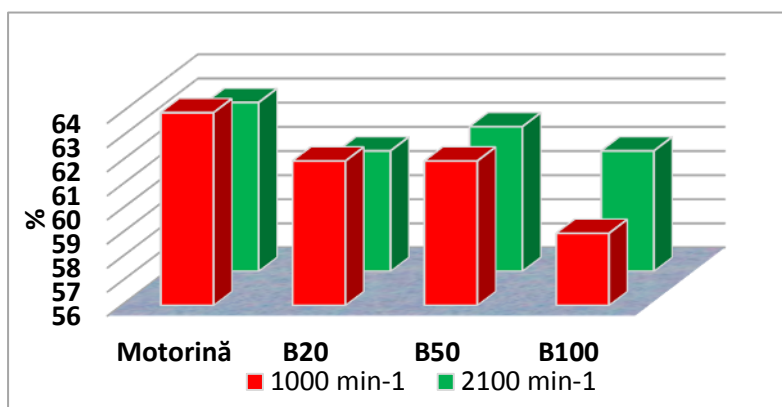


Fig. 8. Valorile emisieii de fum la funcționarea motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu combustibilii cercetați (primul rând $n = 1000 \text{ min}^{-1}$, al doilea rând $n = 2100 \text{ min}^{-1}$) (Banari, E., 2022b)

De exemplu, la funcționarea motorului în regim de mers în gol ($n=1000 \text{ min}^{-1}$) s-a constatat că, pentru cazul alimentării cu motorină concentrația emisieii de fum a alcătuit 64%, iar pentru amestecurile combustibile B20, B50 concentrația emisieii are valoarea de 62%, și pentru B100 (biodiesel pur) – 59%. La funcționarea MAC cu turația arborelui cotit $n = 2100 \text{ min}^{-1}$ la fel există tendința de micșorare a concentrației emisieii de fum de la 63% până la 61%, de unde menționăm faptul că, utilizarea biocombustibilului diminuează emisia de fum în gazele de eșapament în raport cu alimentarea motorului cu motorină.

Optimizarea compoziției biocombustibilului și a regimurilor de funcționare MAC.

Scopul preconizat pentru etapa dată constă în obținerea modelelor matematice care să permită identificarea valorilor optime ale factorilor de influență și diminuarea emisiilor nocive de CO, C_nH_m și fum în gazele de eșapament ale motorului alimentat cu motorină și amestecuri biodiesel-motorină. Prin urmare, în calitate de funcții de replică au fost selectate substanțele nocive: oxidul de carbon CO (y_1), hidrocarburile C_nH_m (y_2) și fumul (y_3). Componenta nominală a factorilor de influență și nivelurile de variere a lor sunt prezentate în tabelul 2.

Determinarea modelelor matematice care reflectă dependența valorilor emisiilor substanțelor nocive în gazele de eșapament funcție de fracția biodieselului în amestec C_B , turațiile arborelui cotit n și sarcina motorului N_i/N_e s-a realizat, utilizând planul de cercetare Box-Behnken 3³ (Montgomery, Douglas, C., 2013; Карпушкин, С. В., și Глебов, А. О., 2017; Сидняев, Н. И., 2012; Ferreira, S. L. C., 2007) (Tab. 2).

Tabelul 2. Niveluri de variere a factorilor de influență în planul de cercetare Box-Behnken 3³

Factorii	Valorile naturale				Niveluri valorilor codate		
	Niveluri			Interval de variație	inferior	de bază	superior
	Inferior	de bază	superior				
X_1 – fracția biodieselului în amestec C_B , [%vol.]	0	20	40	20	-1	0	+1
X_2 – turațiile arborelui cotit n , [min ⁻¹]	1500	1800	2100	300	-1	0	+1
X_3 – sarcina motorului N_i/N_e , [%]	50	75	100	25	-1	0	+1

În timpul realizării cercetărilor polifactoriale temperatura lichidului de răcire în sistemul de răcire a motorului a fost de 70-80 °C, iar temperatura mediului ambiant în laborator - 20±2 °C.

În urma realizării experimentelor polifactoriale au fost obținute rezultate și calculate ecuațiile de regresie. Frația CO în gazele de eșapament se prezintă prin următoarea expresie:

$$CO = 0,03 - 0,0075 \cdot X_1 - 0,01375 \cdot X_2 - 0,00375 \cdot X_3 + 0,01125 \cdot X_1^2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,01625 \cdot X_3^2 \quad (1)$$

Analiza dependențelor grafice (Fig. 9, 10) identifică diapazonul parametrilor funcționali care asigură valorile minime ale emisiilor CO: fracția biodieselului în amestecul combustibil $C_B = (-0,15) - (+0,2)$ (valorile codate) sau în valorile absolute $C_B = 17-24\%$ vol. (B17-B24); turațiile arborelui cotit - $n = (+0,6) - (+1,0)$ (valorile codate) (1900÷2100 min⁻¹).

Rezultatele calculului de optimizare în baza modelului matematic (1) arată în mod concret valorile optime ale compoziției biocombustibilului și ale regimurilor de funcționare a motorului D- 241L: fracția biodieselului $C_B = (-0,11)$ (valoarea codată) sau valoarea absolută $C_B = 18\%$ vol.

(B18); turația arborelui cotit $n = 0,9999$ (2100 min^{-1}) și sarcina motorului $N_i/N_e = 100\%$. Valorile sus-menționate ale compoziției biocombustibilului și ale regimurilor de funcționare asigură emisiile CO la nivelul minim de $0,0024 \text{ \%vol.}$

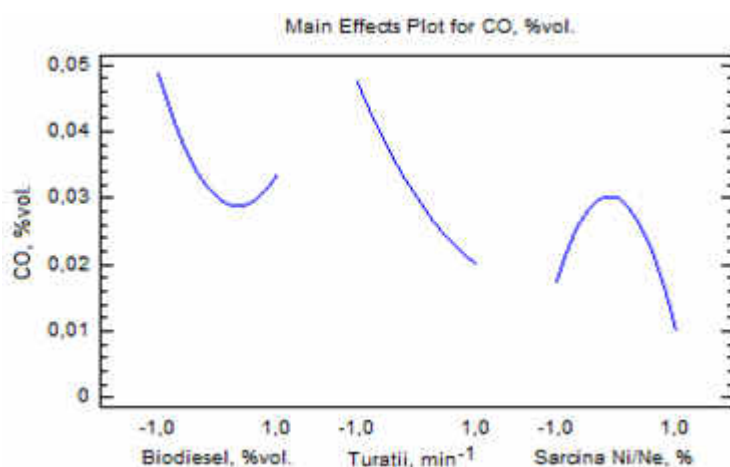
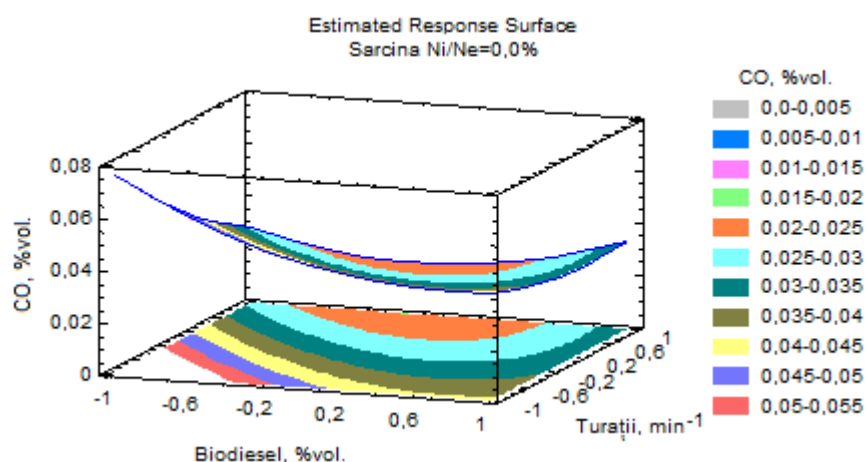


Fig. 9. Dependente ale efectelor principale asupra emisiiei CO funcție de compoziția biocombustibilului, turațiile arborelui cotit și sarcina motorului

Dependența emisiiei hidrocarburilor C_nH_m în gazele de eșapament de cei trei factori (fracția de biodiesel, turația arborelui cotit și sarcina motorului) este reprezentată în ecuația de regresie:

$$C_nH_m = 25,0 - 1,25 \cdot X_1 - 1,25 \cdot X_2 + 0,5 \cdot X_3 - 1,25 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,625 \cdot X_3^2 \quad (2)$$

Fig. 10. Dependența fracției CO în gazele de eșapament funcție de compoziția biocombustibilului și turațiile arborelui cotit

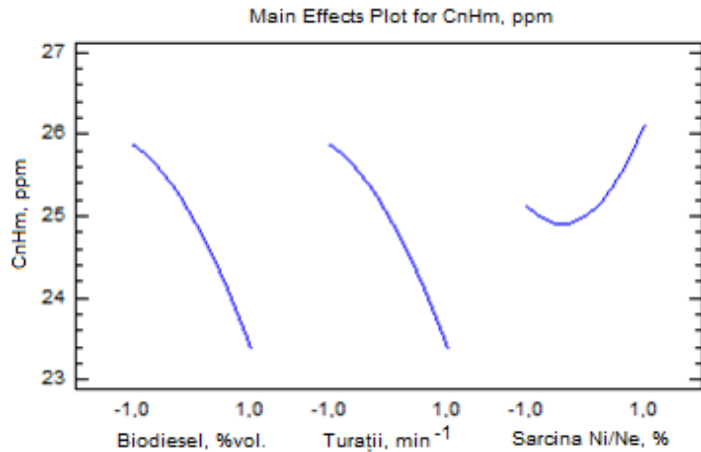


Ecuația de regresie (2) prezentată grafic în figurile 11-12 atestă corectitudinea ipotezei teoretice, formulate de noi anterior în capitolul 3 și în lucrarea (Banari, E., Mancuș, N., 2017; Banari, E., 2022), cu privire la dependența cantității emise a hidrocarburilor C_nH_m în gaze de eșapament funcție de fracția biodieselului C_B în amestec cu motorină, de turațiile arborelui cotit n și de sarcina motorului N_i/N_e .

Tendința modificării emisiiei hidrocarburilor C_nH_m funcție de sarcina motorului în cadrul cercetărilor polifactoriale (Fig. 11) în intervalul $N_i/N_e=50\%-75\%$ (intervalul valorilor codate (-1)...0) coincide cu rezultatele obținute în cadrul cercetărilor monofactoriale (Fig. 7). În acest interval emisiile hidrocarburilor C_nH_m au valorile minime de 25,2-24,8 ppm, însă majorarea sarcinii până la 100% are drept consecință creșterea emisiilor C_nH_m cu 0,9 ppm, adică, până 26,1

ppm, ceea ce poate fi provocat de sporirea consumului orar de combustibil G_h și diminuarea parțială a completitudinii arderii combustibilului. De menționat că, în intervalul valorilor maxime ale sarcinii $N_i/N_e = 80-100\%$ creșterea cantității emise de hidrocarburi este una nesemnificativă în limita 25,5-26,3 ppm. Analiza influenței sarcinii permite de identificat intervalul valorilor optime $N_i/N_e = 65-85\%$, care asigură emisiile minime de C_nH_m .

Fig. 11. Dependente ale efectelor principale pentru C_nH_m funcție de fracția biodieselului, de turațiile arborelui cotit și sarcina motorului



Majorarea fracției biodieselului C_B în amestec cu motorină de la 0 %vol. până la 40 %vol. are drept consecință scăderea cantității emise de hidrocarburi C_nH_m , ceea ce prezintă un fenomen pozitiv, cauza căruia, probabil, este faptul că moleculele biodieselului conțin nu numai hidrocarburi, ci și atomi de oxigen, care servesc pentru îmbunătățirea procesului de combustie. Datorită acestui fenomen, cu majorarea fracției biodieselului crește cantitatea specifică a oxigenului și completitudinea arderii amestecului combustibil, diminuând cantitatea emisă de C_nH_m în gazele de eșapament de la 25,8% până la 23,3%.

Suprafața de replică (Fig. 12) arată un interval optim unde cantitatea emisă de C_nH_m este minimă, variind în limita 22,3 - 25,5 ppm. Prin urmare, intervalul optim al fracției biodieselului C_B are valori în limita (+0,6)÷(+1,0) (34-40 %vol. de biodiesel) și al turațiilor arborelui cotit n tot în aceeași limită a valorilor codate (valorile absolute- 1900 - 2100 min^{-1}).

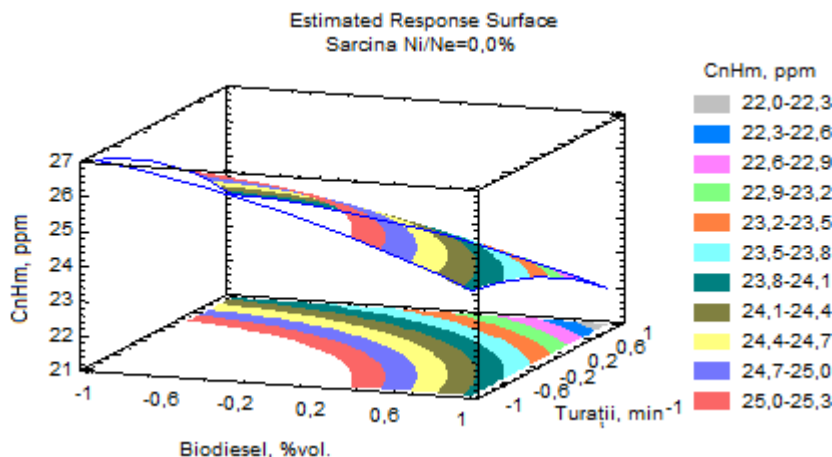


Fig. 12. Dependența fracției C_nH_m în gaze de eșapament funcție de fracția biodieselului și turațiile arborelui cotit

Rezultatele calculelor în baza expresiei (2) demonstrează că intervalul valorilor optime pentru compoziția combustibilului și parametrii de lucru este următorul: fracția biodieselului C_B în amestec - +0,999 (valoarea absolută- 40 %vol.), turația arborelui cotit n - +1,0 (2100 min⁻¹) și sarcina motorului N_i/N_e - +0,4 (75-85%). Acestui interval corespunde fracția hidrocarburilor C_nH_m de 21,9 ppm.

După prelucrarea matematică a valorilor măsurate ale concentrației de fum în gazele de eșapament funcție de nivelul factorilor de influență (fracția biodieselului în amestec C_B , turația arborelui cotit n și sarcina motorului N_i/N_e) s-a obținut următoarea ecuație de regresie:

$$\text{Fum} = 61,0 - 1,75 \cdot X_1 + 1,875 \cdot X_3 + 2,875 \cdot X_1^2 + 1,0 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,0 \cdot X_1 \cdot X_3 \quad (3)$$

Analiza efectelor principale (Fig. 13) demonstrează faptul că cu sporirea sarcinii N_i/N_e crește și cantitatea fumului de la 59,2% până la 63%, fiind o creștere nesemnificativă. Tendința de majorare a cantității emise de fum este una sincronă cu ale hidrocarburilor C_nH_m în intervalul sarcinilor $N_i/N_e=75-100\%$.

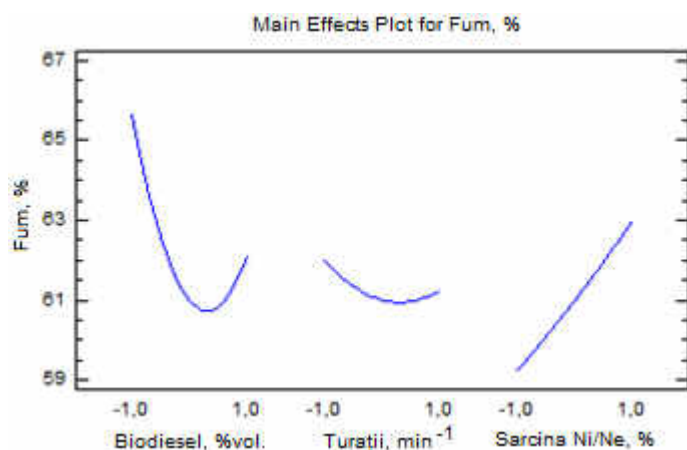


Fig. 13. Dependente ale efectelor principale pentru emisiile fumului funcție de fracția biodieselului, turațiile arborelui cotit și sarcina motorului

Varierea turațiilor arborelui cotit n în limita 1500-2100 min⁻¹ influențează neesențial asupra cantității emise de fum, care se schimbă de la 62,5% și, respectiv, până la 61%. Analiza influenței asupra emisiilor de fum din partea fracției biodieselului C_B în amestec cu motorina indică (ca și în cazurile cantităților emise de C_nH_m și CO), că fracția optimă a biodieselului este 20÷30 %vol. (B20 - B30) (Fig. 13).

Din suprafața de replică (Fig. 14), care demonstrează caracterul modificării cantităților emise de fum se poate de identificat intervalele optime ale valorilor fracției biodieselului în amestec combustibil și ale parametrilor de funcționare a motorului: fracția biodieselului- 0- (+0,5) (valorile naturale- 20-30 %vol.), turațiile arborelui cotit- 1700...1900 min⁻¹.

Modelele matematice (1-3), prezentate grafic în figurile 9-14, atestă corectitudinea ipotezei teoretice, formulate de noi anterior în capitolul 3, cu privire la dependența de parametrii funcționali MAC (fracția biodieselului C_B în amestec cu motorina, turația arborelui cotit n , sarcina motorului

N_i/N_e) a gradului de completitudine a arderii combustibililor în cilindri și, drept consecință, a cantităților emise de substanțele nocive (inclusiv, CO, C_nH_m și fum) în gazele de eșapament.

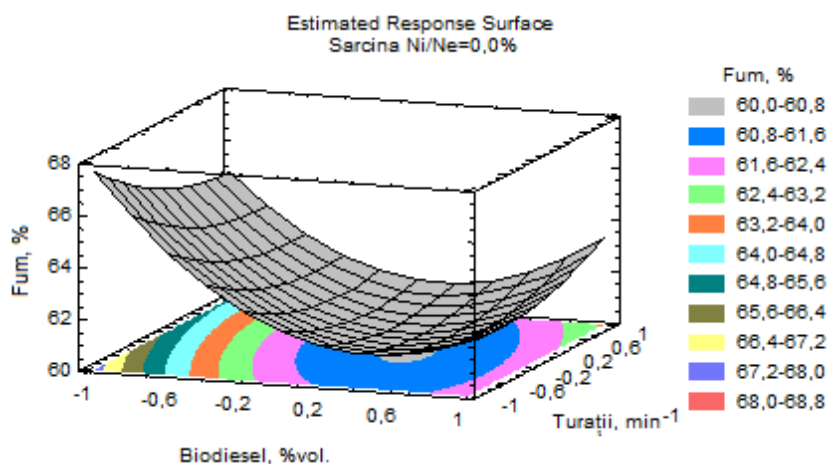


Fig. 14. Dependența fracției de fum în gazele de eșapament funcție de fracția biodieselului și turațiile arborelui cotit

Analiza complexă a rezultatelor cercetărilor parametrilor energetici (puterii efective N_e) și economici (consumului orar G_h și specific de combustibil g_e), obținute în capitolul 3, și ale celor ecologici (cantităților specifice ale emisiilor de substanțe nocive) din capitolul 4 demonstrează o corelație dintre valorile parametrilor sus-menționați, care asigură cantitățile minime ale consumului specific de combustibil g_e și ale emisiilor de substanțe nocive (CO, C_nH_m și fum) în produsele de ardere din MAC DC4 11,0/12,5 (Tab. 3).

Tabelul 3. Valorile optime ale compoziției biocombustibilului și ale parametrilor de funcționare pentru motorul DC4 11,0/12,5

Nr. d/o	Denumirea (Parametrii de lucru)	Intervalele parametrilor obținute experimental care asigură valorile minime ale consumului g_e și ale emisiilor de noxe:				Intervalele recomandate ale parametrilor de lucru
		Consumul specific de combustibil g_e	CO	C_nH_m	Fum	
1.	Fracția biodieselului în amestec C_B , [%vol.]	20	15÷25	30÷40	20÷27	20÷30
2.	Turațiile arborelui cotit n , [min^{-1}]	1600÷2000	1920÷2100	1950÷2100	1740÷1980	1900÷2000
3.	Sarcina motorului MAC N_i/N_e , [%]	70÷85	80÷100	60÷85	50÷70	70÷85

Analiza caracteristicilor de viteză (Cap. 3, Fig. 4) demonstrează că valorile minime ale consumului specific de combustibil g_e se mențin în limitele turațiilor arborelui cotit $n = 1600-2000 \text{ min}^{-1}$ cu fracția biodieselului în amestec cu motorina $C_B = 20 \text{ %vol.}$ (B20), care are valorile ale consumului specific g_e aproape egale cu cele obținute cu motorină. Analiza caracteristicilor de sarcină și de regulator ale motorului DC4 11,0/12,5 identifică faptul că valorile consumului specific g_e în cazul alimentării motorului cu amestec combustibil B20 și cu motorină coincid,

valorile minime ale consumului g_e în ambele cazuri se obțin în intervalul sarcinii motorului $N_i/N_e=70-85\%$.

Prin urmare, rezultatele obținute în baza cercetărilor teoretice și experimentale din capitolele 3 și 4 au dat posibilitate de identificat intervalele valorilor optime ale compoziției biocombustibilului, turațiilor arborelui cotit și ale sarcinii motorului: $C_B = 20\div 30 \text{ \%vol.}$, $n = 1900\div 2000 \text{ min}^{-1}$, $N_i/N_e = 70\div 85\%$.

Încercările de exploatare ale motoarelor alimentate cu biocombustibil au fost realizate în condițiile îndeplinirii diverselor lucrări agricole și de transport. Volumul lucrărilor îndeplinite de fiecare tractor a variat în limita 647-724 moto-ore, ceea ce coincide cu sarcina medie anuală a unui tractor de tip Belarus 82.1 în Republica Moldova. Încercările de exploatare a motoarelor alimentate cu motorină și amestec biodiesel-motorină (B20) s-au efectuat într-un singur schimb (durata schimbului- $\tau = 8-10$ ore), sarcina motoarelor variind în limita $N_i/N_e = 55-85\%$. Perioada de lucru în sarcină a tractoarelor încercate a constituit 70-80% din durata schimbului.

Pe parcursul încercărilor au fost măsurate valorile parametrilor funcționali ai motoarelor D-243. Analiza rezultatelor măsurărilor indică că starea tehnică a motoarelor, alimentate cu motorină și amestec B20, a fost stabilă și conformă regulilor de exploatare (Tab. 4).

Tabelul 4. Valorile parametrilor funcționali ai motoarelor D-243 alimentate cu motorină și amestec B20 după încercări de exploatare

Parametrii	Motoare alimentate cu			
	motorină		amestec B20	
	Numărul de înmatriculare a tractoarelor			
	AN-A 406	AN-A 409	AN-A 931	AN-A 932
Volumul de lucrări, [moto-ore]	698	682	647	724
Consumul mediu orar de combustibil, [kg/oră]	9,6 ± 0,48	10,15 ± 0,45	10,4 ± 0,52	11,8 ± 0,53
Temperatura apei, [°C]	85	87	88	90
Temperatura uleiului de motor, [°C]	75	82	78	80
Presiunea uleiului de motor, [MPa]	0,32 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,30 ± 0,01
Consumul de ulei la ardere, [g/h]	112 ± 5,6	124 ± 5,7	130 ± 5,8	137 ± 5,9
Debitul de gaze scăpate în carterul motorului, [l/min]	80 ± 4,0	81 ± 4,1	79 ± 4,1	80 ± 4,0
Presiunea de compresie, [MPa]	19,5 ± 0,8	19,5 ± 0,9	21,3 ± 0,9	21 ± 0,9
Presiunea de injectare a combustibilului, [MPa]	18,0 ± 0,8	17,5 ± 0,9	17,5 ± 0,9	17,5 ± 0,9

Valorile medii ale consumul orar al combustibililor au variat în felul următor: motorină- 9,6-10,15 kg/h, B20- 10,4-11,8 kg/h, consumul mediu al uleiului de motor a constituit 112-137 g/h (1,09-1,13 %vol. din cantitatea volumetrică a combustibilului consumat). Alimentarea motoarelor

DC4 11,0/12,5 cu amestec B20 a condus la majorarea consumului orar G_h în medie cu 11%, ceea ce corespunde calculelor teoretice și rezultatelor obținute din cercetări de stand (cap. 3).

Justificarea ecologică a utilizării biodieselului pentru alimentarea MAC. Una dintre principalele surse energetice utilizate în agricultură, silvicultură, în sectorul transportului la momentul actual este motorina. Conform *Rapoartelor ANRE privind rezultatul monitorizării pieței produselor petroliere*, în Republica Moldova au fost importate în anii 2018-2022 cantități de motorină cu media anuală de 620,1 mii tone, care complet satisfac cerințele pieței interne (Tab. 5).

Tabelul 5. Volumul de import al motorinei și cantitatea medie necesară de biocombustibil în Republica Moldova, [mii t/an]

Tipul combustibilului	Anii					Media
	2018	2019	2020	2021	2022	
<i>Petrolier</i>						
Motorină	587,84	624,04	603,36	648,87	636,45	620,1
<i>Biocombustibil</i>						
B20						637,5
B100						695,8

Consumul intern mediu anual al biocombustibililor B20, B100 a fost calculat, ținând cont de consumul intern al motorinei și consumul specific g_e al biocombustibililor, care a fost determinat în cadrul cercetărilor de stand.

Conform datelor specialiștilor în domeniul ecologic (Крэчун, А., et al., 2008; Александров, В. Ю., et al., 1995) la arderea 1t de motorină se degajă cu gazele de eșapament ale MAC substanțele nocive (CO , C_nH_m , funingine) cu cantitățile specifice prezentate în tabelul 6.

Tabelul 6. Cantitățile specifice de substanțe nocive emise la arderea 1t de combustibil, [kg/t]

Nr. d/o	Denumirea substanțelor nocive	Cantitățile specifice de substanțe emise la arderea 1t de combustibil			Diminuarea emisiei de substanțe nocive după arderea biocombustibilului, Δm , [kg/t]	
		Motorină	Biocombustibil		B20	B100
			B20	B100		
1.	CO , [kg]	9	5,39	6,29	3,61	2,71
2.	C_nH_m , [kg]	20	18,87	11,7	1,13	8,3
3.	Particule solide (funingine), [kg]	16	14,68	14,2	1,32	1,8
4.	CO_2 , [kg]	3 153	3 116	2 823	37	330

Cantitățile specifice ale substanțelor nocive sus-menționate (CO , C_nH_m , funingine) emise la arderea 1t de biocombustibil B20, B100 au fost identificate în cadrul cercetărilor monografice din capitolul 4, (Banari, E., 2022). Cantitățile specifice ale dioxidului de carbon (CO_2) emise la arderea 1t de combustibil sunt obținute în baza calculelor din capitolul 3.

În baza datelor obținute în tabelele 5, 6 au fost calculate pentru condițiile din Republica Moldova valorile absolute ale emisiilor de substanțe nocive după arderea în MAC a motorinei și a biocombustibililor B20, B100, în cazul când acești combustibili alternativi vor înlocui motorina (Tab. 7).

Tabelul 7. Valorile absolute ale emisiilor de substanțe nocive după arderea în MAC a motorinei și a biocombustibililor B20, B100 în RM

Nr. d/o	Denumirea substanțelor nocive	Valorile absolute ale emisiilor, [t/an], după arderea combustibililor			Volumele de reducere a emisiilor de substanțe nocive ΔM , [t/an], după arderea	
		Motorină	B20	B100	B20	B100
1.	CO	5 580,9	3 436,1	4 376,6	2 144,8	1 204,3
2.	C _n H _m	12 402	12 029,6	8 140,9	372,4	4 261,1
3.	Particule solide (funingine)	9 921,6	9358,5	9 880,4	563,1	41,2
4.	CO ₂ , total/ inclusiv GES	1 955 175,3/ 1 955 175,3	1 986 450/ 1 589 160	1 964 243,4 /0	366 015,3	1 955 175,3

În procesul de calculare a valorilor absolute ale emisiilor de CO₂ a fost luat în considerare faptul, că la arderea motorinei toată cantitatea emisă de CO₂ intră în componența gazelor cu efect de seră (GES), în care CO₂ și metanul (CH₄) sunt părțile componente majoritare. Altceva se întâmplă în cazul arderii biocombustibililor B20 și B100: la arderea B20 și B100 numai 80% și, respectiv, 0% din cantitățile emise de CO₂ intră în componența GES, altă parte a emisiilor de CO₂ (20% și, respectiv, 100%) prezintă emisiile cu efect neutru, deoarece ulterior urmează a fi absorbite de plante în procesul de fotosinteză cu obținerea materiei prime pentru producerea biodieselului (Banari, E., 2022; Banari, E., și Mancuș, N., 2017).

Volumele de reducere a emisiilor de substanțe nocive, t/an, după arderea biocombustibililor B20, B100 au fost calculate din diferențele valorilor absolute ale emisiilor de CO, C_nH_m, funingine, CO₂, obținute după arderea motorinei și a biocombustibililor respectivi. În procesul de calcul al volumelor de reducere a emisiilor de CO₂ s-a ținut cont numai de cantitățile emise în componența GES, fără a ține seama de cele cu efect neutru.

Așadar, rezultatele obținute demonstrează, că alimentarea MAC cu biocombustibil produce un impact minim asupra mediului, utilizarea biocombustibililor nu numai asigură recirculația bioxidului de carbon în atmosferă, dar și reduce concentrația de până la 50% în gazele de eșapament ale MAC a principalelor componente toxice - monoxid de carbon (CO), hidrocarburi nearse (C_nH_m) și particule solide (Banari, E., și Mancuș, N., 2017; Banari, E., 2022b).

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Rezultatele obținute în cadrul activităților de cercetare-inovare realizate de către autor, pe parcursul elaborării prezentei teze, în vederea ameliorării situației în domeniul ecologic prin argumentarea valorilor optime ale compoziției biocombustibilului și ale parametrilor de funcționare MAC, au permis formularea concluziilor generale:

1. A fost efectuată o analiză a stadiului actual în domeniul producției și utilizării biocombustibililor pentru alimentarea MAC; s-a demonstrat că, biocombustibilii obținuți din grăsimile vegetale sau din reziduurile lor din industria alimentară aparțin categoriei de combustibili regenerabili cu impact neutru asupra mediului ambiant; s-a argumentat necesitatea utilizării metodei ciclice de esterificare a uleiurilor vegetale pentru producerea biodieselului.

2. S-a elaborat metodologia și programul de cercetare, care include mai multe metodici bazate pe metode cunoscute și cele originale pentru realizarea cercetărilor experimentale și a încercărilor de producție. În cooperare cu specialiștii SA Alimentarmaș, utilizând metoda selectată și instalația pilot elaborată, s-a produs, prin transesterificarea uleiului din semințe de rapiță un lot experimental de biodiesel, care corespunde cerințelor standardului internațional EN 14214-2003 (cap. 2, p. 2.2.1) (Слюсаренко, В., Лакуста, И., **Банарь, Е.**, 2010).

3. S-au determinat:

- proprietățile fizico-chimice și de exploatare (densitatea, viscozitatea cinematică, temperatura de inflamare, temperatura de tulburare/congelare) ale combustibililor (motorină, amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 și biodieselul pur B100); rezultatele studiilor de laborator au confirmat posibilitatea și limitele de utilizare a biocombustibililor pentru alimentarea MAC (**Banari, E.**, 2013);

- caracteristicile tribologice ale cuplei segment de piston-cămașa cilindrului la funcționarea acesteia în mediu de motorină și de biocombustibili B20, B100. S-a stabilit că coeficientul de frecare în mediul biocombustibililor B20 și B100 are valori mai înalte cu 15,6% și, respectiv, cu 23,3% în raport cu motorina, iar uzura totală U_t ale corpului și contracorpului, pentru toată perioada cercetărilor, în mediul B20 și B100 este mai mică, în raport cu cea în mediul de motorină, cu 36,8% și, respectiv, cu 39,5% (cap. 3, p. 3.4.2) (Cerempei, V., **Banari, E.**, Poștaru, Gh., Popa, L., 2023);

- parametrii diagramei indicate în baza calculelor teoretice ale procesului de ardere; s-a stabilit că fazele de ardere ale biocombustibililor diferă în proporții mici (<4%) în raport cu motorină, deoarece proprietățile fizico-chimice ale biodieselului oferă posibilitatea aranjamentului arderii la același nivel după faze cu motorina, parametrii constructivi ai camerei de ardere pentru ambele tipuri de combustibil fiind identice. S-a constatat, că randamentul efectiv η_e al motorului

se majorează cu până la 20% în cazul alimentării cu biodiesel B100 în raport cu motorină datorită arderii mai complete a biodieselului și a derivatelor acestuia, ceea ce reprezintă valoarea teoretică;

- performanțele tehnico-economice ale MAC DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină și biocombustibili B20, B50, B100, fiind demonstrat în baza cercetărilor experimentale de stand, că folosirea biocombustibililor nu necesită modificarea sistemului de alimentare și a camerei de ardere a motorului. S-a evidențiat o creștere a consumului orar G_h al biocombustibilului comparativ cu motorină la toate regimurile de cercetare ale caracteristicii de viteză: B100-cu 7,8%, B50-cu 5%, B20-cu 2,5%. Totodată, majorarea fracției biodieselului în amestec cu motorină diminuează puterea nominală N_e a motorului, cea mai mare scădere fiind în cazul alimentării motorului cu biodiesel B100- cu 8,7% în raport cu motorină. Cauza efectelor menționate este valoarea mai mică cu 12,7% a puterii calorifice a biodieselului (37,7 MJ/kg) în raport cu cea a motorinei (42,5 MJ/kg) (cap. 3, p. 3.5.2; 3.5.3) (**Banari, E., 2010; Banari, E., 2022a**);

- proprietățile uleiului de motor în acțiune în cadrul cercetărilor de stand și al încercărilor de exploatare ale motoarelor alimentate cu motorină și amestec B20. S-a stabilit că majorările viscozității cinematice și ale conținutului de cenușă sulfată în uleiul de motor pentru ambele tipuri de combustibil după toată perioada încercărilor de exploatare (625 moto-ore) sunt în limitele cerute de regulamentul tehnic, ne depășind sporul 26,3%. Alcalinitatea uleiului de motor în acțiune după aceeași perioadă de încercări a scăzut cu 4,18 mg KOH/g ulei în motoare alimentate cu motorină și cu 1,78 mg KOH/g ulei- cu amestec B20. Îmbunătățirea semnificativă a stabilității indicelui de alcalinitate a uleiului de motor, alimentat cu biocombustibil B20, se datorează faptului că acesta nu conține sulf (cap. 4, p. 4.2.2; 4.2.3) (**Banari E., 2013**);

- veridicitatea rezultatelor obținute în condiții de laborator după efectuarea încercărilor de exploatare ale tractoarelor universale Belarus 82.1 (4 unități) dotate cu motoare D-243, care s-au alimentat cu biocombustibil de compoziția optimă B20 și motorină.

4. S-a demonstrat în baza cercetărilor de stand, că alimentarea MAC cu biodiesel B100 și amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 a condus la diminuarea în gazele de eșapament a cantității emise de substanțele nocive (CO, C_nH_m și a fumului) cu până la 34,8% în raport cu motorină.

S-au obținut după realizarea experimentelor polifactoriale modelele matematice, care au permis identificarea valorilor optime ale fracției biodieselului în amestec cu motorină ($C_B = 20\div 30\%$ vol.) și ale parametrilor funcționali ai motorului (turația arborelui cotit $n = 1900\div 2000$ min⁻¹, sarcina MAC $N_i/N_e = 70-85\%$), care asigură diminuarea emisiilor de substanțe nocive în gazele de eșapament ale motorului alimentat cu biocombustibil, ceea ce reprezintă o valoare practică.

5. S-a argumentat, că înlocuirea motorinei cu biocombustibili în baza esterilor metilici ai acizilor grași are un efect benefic și va permite în condițiile din Republica Moldova să fie obținute următoarele performanțe ecologice: utilizarea amestecului B20 va avea drept efect scăderea emisiilor GES cu 0,37 Mt/an ($\Delta=18,8$ %mas.), iar a biodieselului B100- cu 1,96 Mt/an ($\Delta=100$ %mas.). Utilizarea biocombustibililor B20, B100 asigură scăderea și emisiilor de substanțe nocive (oxid de carbon CO, hidrocarburi C_nH_m , funingine), care aduc daune majore mediului ambiant, în următoarele proporții (în raport cu motorina): $\Delta= 21,6-38,4$ %mas. pentru CO, $\Delta= 3,0-34,4$ %mas. pentru C_nH_m , $\Delta= 0,4-5,7$ %mas. pentru funingine.

Sugestii privind potențialele direcții viitoare ale activităților de cercetare-inovare

Rezultatele obținute în aceasta lucrare pot asigura evoluția unor noi direcții ale activităților de cercetare-inovare în domeniul biocarburanților lichizi, precum:

1. Identificarea surselor noi de materie primă, existentă în Republica Moldova pentru producerea biocombustibililor lichizi destinate motoarelor cu ardere internă. Evaluarea potențialului energetic și ecologic, precum și a proprietăților fizico-chimice ale acestor surse, inclusiv ale deșeurilor agricole și ale reziduurilor din industria alimentară și din sectorul alimentației publice.

2. Ajustarea tehnologiilor existente pentru producerea biocombustibililor lichizi din materiile prime noi, estimarea tehnico-economică a tehnologiilor ajustate.

3. Studiarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor obținuți, argumentarea teoretico-experimentală a parametrilor procesului de combustie în MAC a biocarburanților din materiile prime identificate. Elaborarea rețetelor de amestecuri biodiesel-motorină cu compoziția optimă.

4. Determinarea influenței proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor obținuți din materiile prime noi asupra performanțelor motoarelor cu ardere internă și a impactului asupra mediului înconjurător.

5. Stabilirea posibilităților de adaptare la cerințele normelor Uniunii Europene privind proprietățile biocarburanților produse din materiile prime competitive în Republica Moldova.

Propuneri de utilizare a rezultatelor obținute în prezenta lucrare în domeniul ecologic și socio-economic:

Realizarea unui ciclu de activități de cercetare-inovare-transfer tehnologic cu scopul extinderii ariei de utilizare a recomandărilor tehnice și ecologice obținute în prezenta teză de doctorat prin universalizarea și adaptarea acestora la diferite tipuri ale motoarelor cu aprindere prin comprimare și prin sporirea fiabilității și durabilității de funcționare a acestor motoare.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Brevet de invenție MD 3559 G2 2008.04.30. Dispozitiv pentru obținerea biocombustibilului/Suleimanov Zaifulla, MD, Sliusarenco Valentin, MD/ Cererea depusă 30.04.2008. BOPI nr. 4/2008.
2. HĂBĂȘESCU, I., CEREMPEI, V., DELEU, V. et al. *Energie din biomasă: Tehnologii și mijloace tehnice*. Min. Agriculturii și Industriei Alimentare, Academia de Științe a Moldovei, I TA „Mecagro”. Ch., Bons Offices, 2009, 368 p. ISBN 978-9975-80-301-4.
3. EN 14214:2003. Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods.
4. FERREIRA, S. L. C., BRUNS, R. E., et al. „Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods”, In: *Analytica Chimica Acta*, 597(2), pp. 179-186, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.07.011>.
5. HASSAN, Ubaid, AL-ZUBAIDI, Isam, IBRAHIM, Hussameldin. The Effect of Off-Spec Canola Biodiesel Blending on Fuel Properties for Cold Weather Applications. In: *Journal Not Specified*. 2018, vol. 2, 30. <https://doi.org/10.3390/chemengineering2030030>.
6. MOHD KHAZAAI, S. N., MANIAM, G. P., AB. RAHIM, M. H., MOHD ALWI, M. H. F. Determination of biodiesel amount in various biodiesel-diesel blends. In: *GADING Journal of Science and Technology*, Vol. 3, No. 2, 2020 – eISSN: 2637-0018.
7. MONTGOMERY, Douglas C. *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons, Incorporated, Eighth edition, 2013, p. 757. ISBN 978-1-118-14692-7.
8. АЛЕКСАНДРОВ, А. А., АРХАРОВ, И. А., МАРКОВ, В. А. и др. *Нефтяные моторные топлива: экологические аспекты применения*. Под ред. А. А. Александрова, В. А. Маркова. Москва: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2014. 691 с.
9. ГРЕХОВ, Л. В., МАРКОВ, В. А., ДЕВЯНИН, С. Н., БЫКОВСКАЯ, Л. И. Исследования процесса топливоподачи дизеля, работающего на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла. В: *«АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное Топливо»*. Газомоторное топливо, № 7, 2015, ISSN 2073-8323, с. 21-30. https://www.mashin.ru/files/2015/agzk7_15_min.pdf.
10. ДУКА, Г., КРАЧУН, А. Растительное сырье для получения ГСМ и энергетическая безопасность Республики Молдова. В: *Problemele Energeticii Regionale*, 2007, nr. 1, pp. 1-12. ISSN 1857-0070.
11. ЗАХАРЧУК, В. И., ТКАЧУК, В. В. Луцкий национальный технический университет. Технология получения и эксплуатационные характеристики изопропилового эфира рапсового масла. НТЖ: *Химия и технология топлив и масел* № 6, 2012, стр. 3-6.
12. КАРПУШКИН, С. В., ГЛЕБОВ, А. О. *Теория инженерного эксперимента*. Учебное пособие, Тамбов, 2017, 81 с.
13. КУРМАНОВА, Л. С. *Повышение эффективности работы дизелей тепловозов путем применения смеси дизельного топлива и природного газа*. дисс. канд. техн. наук. Самара, 2019. 210 с.
14. МАРКОВ, В. А., ЗЕНИН, А. А., ДЕВЯНИН, С. Н. Работа транспортного дизеля на смеси дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла. В: *Турбины и дизели*. № 3, 2009, с. 14-19.
15. МАРКОВ, В. А., СТРЕМЯКОВ, А. В., и др. Показатели токсичности отработавших газов дизельного двигателя, работающего на многокомпонентных смесевых биотопливах. В: *Безопасность в техносфере*, № 5 (сентябрь-октябрь), 2015.
16. СИДНЯЕВ, Н. И. *Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных*. Учебное пособие / Н.И. Сидняев. – М.: ИД Юрайт, 2012. 399 с.

LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI

Articole în reviste din bazele de date Web of Science și Scopus

1. CEREMPEI, V., **BANARI, E.**, POȘTARU, Gh., POPA, L. Tribological research of the chrome- gray cast iron coupling with lubrication in different environments. În: *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol. 70, No. 2 / 2023. Bucharest. Pages 583-592. **IF: 0,484**, 1,0 c.a., inclusiv, Banari E. - 0,33 c.a. ISSN 2068 – 2239, ISSN 2068 – 4215. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-70-56>.

2. **BANARI, E.** Studies abouts the energy and economic performances of the DC4 11.0/12.5 biodiesel combustion engine. În: *Ingineria Automobilului*, nr. 66 / martie 2023, p. 22-24, România, 0,44 c.a., ISSN 1842 – 4074, <http://siar.ro/wp-content/uploads/2023/03/rIA66.pdf>

3. **BANARI, E.**, MANCUȘ, N. Impactul ecologic al utilizării biocarburanților. În: *Ingineria Automobilului*, nr. 45 / decembrie, 2017, p. 14-16, România, 0,34 c.a., inclusiv, Banari E. - 0,17 c.a., ISSN 2457 – 5275, <http://siar.ro/wp-content/uploads/2017/11/rIA-45.pdf>.

Articole în reviste din străinătate recunoscute

4. LACUSTA, I., BEȘLEAGĂ, Ig., **BANARI, E.** Utilizarea biodieselului la alimentarea MAC. În: *Buletinul Institutului Politehnic din Iași*. Tomul LVI (LX), Fasc. 4B, Secția Construcții de mașini, Editura Politehnicum, Iași, 2010, p. 395-400, 0,30 c.a., inclusiv, Banari E. - 0,10 c.a..

5. ЛАКУСТА, И. Г., БЕШЛЯГЭ, И. И, **БАНАРЬ, Э. П.** Особенности теплового расчета дизельного двигателя, работающего на биотопливе. В: *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. Издательство: Брянский Государственный Аграрный Университет (Кокино) №: 1 (16), г. 2017, 0,45 c.a., inclusiv, Banari E. - 0,15 c.a., стр. 237-245, ISBN 5-88517-082-7.

6. ДИКИЙ, А. А., ВОЛЯК, П. С., **БАНАРЬ, Э. П.** Математическое моделирование энергетических и экономических параметров двигателя 4DC-125/110 работающего на различных видах топлива на основании теплового расчета. В: *ОМТС. Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин*. Вып. 49, с. 75-82, 2019, 0,42 c.a., inclusiv, Banari E. - 0,14 c.a., ISSN 2414-3820, г. Кропивницкий.

Articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, categoria B

7. СЛЮСАРЕНКО, В., ГАНЯ, Г., ЛАКУСТА, И., **БАНАРЬ, Е.** Технологический процесс производства биотоплива. În: *Știința agricolă*, UASM, Chișinău, 2010, nr. 1, p. 58-61, 0,32 c.a., inclusiv Banari E. – 0,11 c.a., ISSN 1857-0003, http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/10572/Revista_Stiinta_Agricola_N1-2010_p58-61.pdf?sequence=1&isAllowed=y

8. **BANARI, E.** Evaluarea performanțelor ecologice ale motorului cu aprindere prin comprimare alimentat cu diverse tipuri de combustibili. În: *Știința agricolă*, UASM, Chișinău, 2022, nr. 1, p. 92-96, 0,44 c.a., ISSN 1857-0003, <https://sa.uasm.md/index.php?journal=sa&page=article&op=view&path%5B%5D=781&path%5B%5D=789>.

Articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, categoria C

9. LACUSTA, I., BEȘLEAGĂ, Ig., **BANARI, E.** Performanțele energetice ale motorului diesel alimentat cu biodiesel. În: *Agricultura Moldovei. Revistă de știință și practică*. № 7-8, 2009, p. 26-28, 0,9 c.a., inclusiv, Banari E. - 0,3 c.a., ISSN 0582-5229.

10. LACUSTA, I., BEȘLEAGĂ, Ig., **BANARI, E.** Impactul ecologic la utilizarea biocombustibilului pentru alimentarea motoarelor diesel. În: *Mediul Ambient. Revistă științifică, de informație și cultură ecologică*. № 5 (47) octombrie, 2009, p. 20-23, 0,35 c.a., inclusiv, Banari E. – 0,11 c.a., ISSN 1810-9551.

În lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

11. HĂBĂȘESCU, I., CEREMPEI, V., ESIR, M., NOVOROJDIN, D., **BANARI, E.**, LUPAȘCU, T., DRAGALIN, I. Indicii de performanță a motorului cu aprindere prin comprimare alimentat cu biocombustibil. În: *Energetica Moldovei. Aspecte regionale de dezvoltare*. Ediția I, 21-24 septembrie 2005, Chișinău. Republica Moldova: Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei, 2005, pp. 672-683, 0,90 c.a., inclusiv Banari E. - 0,13 c.a., ISBN 9975-62-145-7.

12. **BANARI, E.** Performanțele energetice ale unui motor Diesel alimentat cu biocombustibil. În: *Transport: economie, inginerie și management. Conferința a IV-a științifică internațională*, 29-30 octombrie 2010. Ch.: UTM, 2010, p. 137-140, 0,27 c.a. ISBN 978-9975-45-145-1.

În lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

13. **BANARI, E.** Impactul ecologic la utilizarea carburanților alternativi pentru autovehicule. În: *Transport: economie, inginerie și management. Conferința națională științifico-practică cu participare internațională*. 28-29 octombrie 2011. Ch.: UTM, 2011. p. 177-180, 0,26 c.a., ISBN 978-9975-45-181-9.

14. **BANARI, E.** Studiul performanțelor energetice a motorului cu ardere internă alimentat cu biodiesel obținut din uleiuri vegetale. În: *Conferința „Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective”*. Bălți, Moldova, 20-21 mai 2022, Ediția 6, 0,35 c.a., p. 251-255.

15. **BANARI, E.** Study in the field of reducing the harmfulness of a biodiesel powered engine. În: Conferința „*Life sciences in the dialogue of generations: connections between universities, academia and business community*”, 2 Chișinău, Moldova, 29-30 septembrie 2022, 0,1 c.a., ISBN 978-9975-159-80-7.

În lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

16. NOVOROJDIN, D., GĂINĂ, A., **BANARI, E.** Potențialul utilizării carburanților netradiționali pentru tractoare și automobile în Republica Moldova. În: *70 ani ai Universității Agrare de Stat din Moldova. Materialele simpozionului științific internațional*, UASM, Chișinău, 2003, p. 93-94, ISBN 9975-9624-5-9.

17. **BANARI, E.** Unele probleme ale utilizării uleiului din produse vegetale la motoarele cu aprindere prin comprimare. În: *Lucrări științifice*, UASM. Chișinău, 2008, vol. 21, (Inginerie Agrară și Transport auto), p. 230-231, ISBN 978-9975-64-132-6, 0,13 c.a.

18. NOVOROJDIN, D., **BANARI, E.** Particularitățile utilizării uleiului din produse vegetale la motoarele cu aprindere prin comprimare. În: *Sisteme de transport și logistică. Materialele Conferinței Internaționale Chișinău*, 25-26 octombrie. Chișinău „Evrca” 2007, p. 32-33, 0,1 c.a.

19. NOVOROJDIN, D., **BANARI, E.** Utilizări ale biocombustibilului la motoarele cu aprindere prin comprimare. În: *Impactul transporturilor asupra mediului ambiant/Materialele Conferinței Științifice*, 23-24 octombrie. Chișinău „Evrca” 2008, p. 48-49.

20. **BANARI, E.** Influența utilizării bioc carburanților asupra mediului și căile de diminuare a acestora. În: *Sisteme de transport și logistică. Materialele Conferinței Internaționale Chișinău*, 7-9 decembrie 2011. Chișinău „Evrca”, 2011, p. 95-99, ISBN 978-9975-4448-0-4, 0,28 c.a.

21. **BANARI, E.** Parametrii fizico-chimici ai uleiului de motor alimentat cu diferite tipuri de combustibil. În: *Lucrări științifice*, UASM. Chișinău, 2013, vol. 38, (Inginerie Agrară și Transport auto), p. 279-280, 0,15 c.a., ISBN 978-9975-64-125-8.

22. **BANARI, E.** Aspecte ecologice la utilizarea combustibililor alternativi în MAI. În: *Lucrări științifice*, UASM, Chișinău, 2015, vol. 45, (Inginerie Agrară și Transport auto), p. 315-318, 0,17 c.a. ISBN 978-9975-64-276-7.

ADNOTARE

BANARI Eduard

„Argumentarea compoziției biocombustibilului pentru motoare cu aprindere prin comprimare”, teză de doctor în științe inginerești, Chișinău, 2024

Structura tezei: introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 194 titluri, 16 anexe, 132 de pagini ale părții principale, 67 de figuri, 15 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 22 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: motor cu aprindere prin comprimare, emisii poluante, biocombustibil, biodiesel, model fizic, matematic, optimizare, compoziția, parametrii de funcționare, tribologie, încercare.

Scopul lucrării: ameliorarea situației în domeniul ecologic și îmbunătățirea performanțelor tehnico-economice ale motoarelor cu aprindere prin comprimare în baza argumentării compoziției amestecului biodiesel-motorină pentru alimentarea acestor motoare.

Obiectivele cercetării: studiul și argumentarea teoretică a compoziției amestecului biodiesel-motorină; determinarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibilului și ale uleiului de motor în acțiune; efectuarea cercetărilor tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie în diferite medii și a cercetărilor de stand ale performanțelor MAC alimentat cu biocombustibil; elaborarea modelelor matematice, optimizarea compoziției amestecului biodiesel-motorină și a parametrilor de funcționare MAC, evaluarea efectelor ecologice de la implementarea biocombustibilului; formularea concluziilor finale și direcțiilor noi de cercetare.

Noutatea și originalitatea științifică: elaborarea modelelor fizice și matematice ale procesului de combustie a amestecurilor biodiesel-motorină cu determinarea performanțelor energetice, economice, ecologice ale MAC; stabilirea soluțiilor optime privind compoziția amestecului biodiesel-motorină și privind parametrii de funcționare a motorului alimentat cu acest combustibil; obținerea caracteristicilor tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie în mediul amestecului biodiesel-motorină.

Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante constau în elaborarea modelelor matematice ale procesului de combustie în MAC care permit identificarea valorilor optime ale compoziției amestecului biodiesel-motorină și ale parametrilor de funcționare a motorului, asigurând diminuarea emisiilor nocive de CO, C_nH_m și fum în gazele de eșapament ale motorului; argumentarea teoretică și demonstrarea experimentală a efectului ecologic de la implementarea amestecului biodiesel-motorină cu compoziția optimă.

Semnificația teoretică: elaborarea metodologiei de cercetare cu abordarea complexă a problemei privind diminuarea emisiilor de substanțe nocive rezultate din combustia în MAC, extinderea bazei de cunoștințe în domeniul utilizării biodieselului pentru alimentarea MAC.

Valoarea aplicativă: rezultatele cercetării servesc drept temelii pentru utilizarea amestecului biodiesel-motorină pentru alimentarea MAC cu reducerea emisiilor de substanțe nocive în gaze de eșapament și ameliorarea situației ecologice, precum și cu majorarea durabilității de funcționare a motorului.

Implementarea rezultatelor științifice: rezultatele obținute au fost implementate în SDE „Chetrosu” (r-1 Anenii Noi), UASM (actualmente UTM) și în procesul didactic al UTM la disciplinele S.A.002 „Motoare cu ardere internă”, S.O.001 „Materiale de exploatare” și S.O3.O.24 „Materiale de exploatare pentru autovehicule” la specialitățile 0716.1 Ingineria Transportului Auto și 0716.4 Ingineria Agrară.

ANNOTATION

BANARI Eduard

"Argumentation of biofuel composition for compression ignition engines", PhD thesis in engineering sciences, Chisinau, 2024

Structure of the thesis: introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 194 titles, 16 appendices, 132 pages of the main part, 67 figures, 15 tables. The results obtained are published in 22 scientific papers.

Keywords: compression ignition engine, pollutant emissions, biofuel, biodiesel, physical model, mathematical, optimization, composition, operating parameters, tribology, test

Purpose of the work: improving the situation in the ecological field and improving the technical-economic performance of compression ignition engines based on the argumentation of the composition of the biodiesel-diesel mixture for fueling these engines.

Research objectives: the study and theoretical argumentation of the composition of the biodiesel-diesel mixture; determination of the physico-chemical and exploitation properties of biofuel and motor oil in action; carrying out tribological researches of chrome-gray cast iron coupling in different environments and bench researches of internal combustion engines performance fueled with biofuel; the development of mathematical models, the optimization of the composition of the biodiesel-diesel mixture and the operating parameters of the internal combustion engines, the evaluation of the ecological effects from the implementation of the biofuel; formulating final conclusions and new research directions.

Scientific novelty and originality: the development of physical and mathematical models of the combustion process of biodiesel-diesel mixtures with the determination of the energetic, economic, ecological performances of internal combustion engines; establishing optimal solutions regarding the composition of the biodiesel-diesel mixture and regarding the operating parameters of the engine fueled with this fuel; obtaining the tribological characteristics of the chrome-gray cast iron coupling in the environment of the biodiesel-diesel mixture.

The obtained results that contribute to the solution of an important scientific problem consist in the development of mathematical models of the combustion process in internal combustion engines that allow the identification of the optimal values of the composition of the biodiesel-diesel mixture and of the engine operating parameters, ensuring the reduction of harmful emissions of CO, C_nH_m and smoke in the exhaust gases of the engine; theoretical argumentation and experimental demonstration of the ecological effect from the implementation of the biodiesel-diesel mixture with the optimal composition.

Theoretical significance: elaboration of the research methodology with the complex approach to the problem of reducing emissions of harmful substances resulting from combustion in internal combustion engines, expanding the knowledge base in the field of using biodiesel for powering internal combustion engines.

Application value: the research results serve as a basis for the use of the biodiesel-diesel mixture for fueling the internal combustion engines with the reduction of emissions of harmful substances in exhaust gases and the improvement of the ecological situation, as well as with the increase of the durability of the engine.

Implementation of scientific results: the results obtained are implemented in the educational and experimental station "Chetrosu" (r-l Anenii Noi), SAUM (currently TUM) and in the didactic process of TUM in the subjects S.A.002 „Internal combustion engines”, S.O.001 „Exploitation materials”, and S.03.O.24 „Exploitation materials for motor vehicles” in the specialties 0716.1 Automotive Transport Engineering and 0716.4 Agricultural Engineering.

АННОТАЦИЯ

БАНАРЬ Эдуард

«Аргументация состава биотоплива для двигателей с воспламенением от сжатия», кандидатская диссертация в области инженерных наук, Кишинев, 2024 г.

Структура диссертации: введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, библиография из 194 литературных источников, 16 приложения, 132 страницы основной части, 67 рисунков, 15 таблиц. Полученные результаты опубликованы в 22 научных статьях.

Ключевые слова: двигатель с воспламенением от сжатия, выбросы загрязняющих веществ, биотопливо, биодизель, модель физическая, математическая, оптимизация, состав, рабочие параметры, трибология, испытания.

Цель работы: улучшение экологической ситуации и усовершенствование технико-экономических показателей двигателей с воспламенением от сжатия на основе аргументации состава смеси биодизель-дизтопливо для сгорания в этих двигателях.

Задачи исследования: изучение и теоретическое обоснование состава смеси биодизель-дизтопливо; определение физико-химических и эксплуатационных свойств биотоплива и моторного масла в действии; проведение трибологических исследований пары трения хром-серый чугун с различными смазочными материалами и стендовых исследований характеристик ДВС, питаемых биотопливом; разработка математических моделей, оптимизация состава биотоплива и рабочих параметров ДВС, оценка экологических эффектов от внедрения биодизеля; формулирование окончательных выводов и новых направлений исследований.

Научная новизна и оригинальность: разработка физико-математических моделей процесса сгорания смесей биодизель-дизтопливо с определением энергетических, экономических, экологических показателей ДВС; оптимизация состава смеси биодизель-дизтопливо и эксплуатационных параметров двигателя, работающего на этом топливе; установление трибологических характеристик пары трения хром-серый чугун в среде смеси биодизель-дизтопливо.

Полученные результаты, способствующие решению важной научной задачи, заключаются в разработке математических моделей процесса сгорания в ДВС, позволяющих выявить оптимальные значения состава смеси биодизель-дизтопливо и параметров работы двигателя, обеспечивая тем самым снижение вредных выбросов CO, C_nH_m и дыма в выхлопных газах дизельного двигателя; теоретическое обоснование и экспериментальная демонстрация экологического эффекта от внедрения смеси биодизель-дизтопливо оптимального состава.

Теоретическая значимость: разработка методологии исследования с комплексным подходом к проблеме снижения выбросов вредных веществ при работе ДВС, расширение базы знаний в области использования биодизеля для питания дизельных двигателей.

Прикладное значение: результаты исследований служат основанием для использования смеси биодизель-дизтопливо для заправки двигателей с уменьшением выбросов вредных веществ в выхлопных газах и с улучшением экологической обстановки, а также с повышением долговечности работы двигателей.

Внедрение научных результатов: полученные результаты внедрены в учебно-экспериментальной станции «Кетросу» (р-н Анений Ной), ГАУМ (в настоящее время ТУМ) и в учебном процессе ТУМ для изучения дисциплин S.A.002 „Двигатели внутреннего сгорания”, S.O.001 „Эксплуатационные материалы”, и S.03.O.24 „Эксплуатационные материалы для автотранспортных средств” по специальностям 0716.1 Инженерия Автомобильного Транспорта и 0716.4 Аграрная инженерия.

BANARI EDUARD

**ARGUMENTAREA COMPOZIȚIEI
BIOCOMBUSTIBILULUI PENTRU MOTOARE CU
APRINDERE PRIN COMPRIMARE**

**255.01 TEHNOLOGII ȘI MIJLOACE TEHNICE PENTRU
AGRICULTURĂ ȘI DEZVOLTAREA RURALĂ**

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar 14.02.24

Formatul hârtiei A4

Hârtie ofset. Tipar digital

Tirajul 50 ex.

Coli de tipar 2,2

Comanda nr. 7

Tipografia Print- Caro, strada Columna 170

Tel.: 022853386, 069124696