

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**

Teză de doctor în științe inginerești

Conducători științifici:

Cerempei Valerian,
dr. hab., conf. univ.

| |
|---------------------------------|
| Lacusta Ion dr., prof. univ. |
|---------------------------------|

Autor:

Banari Eduard

CHIȘINĂU, 2024

© Banari Eduard, 2024

CUPRINS

| | |
|---|-----------|
| ADNOTARE | 6 |
| ANNOTATION | 7 |
| АННОТАЦИЯ | 8 |
| LISTA ABREVIERILOR | 9 |
| INTRODUCERE | 10 |
| 1. STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIUL PRODUCȚIEI ȘI UTILIZĂRII BIOCOMBUSTIBILILOR PENTRU ALIMENTAREA MAC | 19 |
| 1.1 Tendințe în dezvoltarea motoarelor cu aprindere prin comprimare | 19 |
| 1.1.1 Motoare cu aprindere prin comprimare – sursa importantă de energie | 19 |
| 1.1.2 Politici de ameliorare a situației ecologice în economia mondială | 21 |
| 1.1.3 Tendințe ale emisiilor de GES în Republica Moldova și politicile îndreptate spre diminuarea acestora | 23 |
| 1.1.4 Impactul autovehiculelor asupra stării ecologice în Republica Moldova | 27 |
| 1.1.5 Actualitatea utilizării surselor alternative de energie | 30 |
| 1.2 Producția și utilizarea esterilor metilici din uleiuri vegetale pentru alimentarea MAC | 33 |
| 1.2.1 Esterii metilici din uleiuri vegetale – combustibili de perspectivă | 33 |
| 1.2.2 Proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale esterilor metilici | 37 |
| 1.2.3 Metode și mijloace tehnice de producere a esterilor metilici | 41 |
| 1.3 Concluzii la capitolul 1 | 47 |
| 2. PROGRAM ȘI METODICI DE CERCETARE, ECHIPAMENT, MATERIALE, METODE DE PREPARARE ȘI DE ANALIZĂ | 49 |
| 2.1 Programul cercetărilor | 49 |
| 2.2 Metodici de cercetare, utilaje și echipamente folosite | 50 |
| 2.2.1 Tehnologia și utilajul de esterificare a uleiurilor vegetale | 50 |
| 2.2.2 Studiul proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor și a uleiului de motor | 52 |
| 2.2.3 Cercetări de stand ale MAC alimentat cu biodiesel | 56 |
| 2.2.3.1 Echipamente și materiale utilizate la ridicarea caracteristicilor de stand | 56 |
| 2.2.3.2 Metodologia cercetărilor de stand | 59 |
| 2.2.4 Evaluarea componentei gazelor de eșapament | 61 |
| 2.2.5 Metodologia de cercetare a cuplei tribologice | 63 |

| | |
|---|------------|
| 2.2.6 Încercările de exploatare ale MAC alimentate cu biodiesel | 65 |
| 2.3 Prelucrarea statistică a rezultatelor cercetărilor experimentale | 68 |
| 2.4 Concluzii la capitolul 2..... | 69 |
| 3. ARGUMENTAREA COMPOZIȚIEI BIOCOMBUSTIBILULUI PENTRU MAC..... | 70 |
| 3.1 Obiectivele specifice ale investigațiilor | 70 |
| 3.2 Studiul și argumentarea teoretică a compoziției biocombustibilului (în baza procesului de ardere) | 71 |
| 3.2.1 Teorii referitoare la procesele de ardere în MAI a combustibililor lichizi | 71 |
| 3.2.2 Procese de combustie a amestecurilor biodiesel-motorină | 81 |
| 3.3 Studiul proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor din esterii metilici ale uleiurilor vegetale | 84 |
| 3.3.1 Generalități privind realizarea studiilor experimentale | 84 |
| 3.3.2 Densitatea și viscozitatea cinematică a biocombustibililor | 85 |
| 3.3.3 Temperatura de inflamare | 87 |
| 3.3.4 Temperatura de tulburare | 88 |
| 3.4 Cercetări tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie în diferite medii | 90 |
| 3.4.1 Obiective specifice ale cercetărilor | 90 |
| 3.4.2 Rezultatele cercetărilor tribologice | 92 |
| 3.5 Cercetări de stand ale performanțelor MAC alimentat cu biocombustibil..... | 95 |
| 3.5.1 Program de cercetări | 95 |
| 3.5.2 Ridicarea și analiza caracteristicilor de viteză | 97 |
| 3.5.3 Ridicarea și analiza caracteristicilor de sarcină/de reglaj | 101 |
| 3.6 Concluzii la capitolul 3..... | 105 |
| 4. EVALUAREA EFECTELOR ECOLOGICE ȘI TEHNICE DE LA IMPLEMENTAREA BIOCOMBUSTIBILILOR PENTRU MAC..... | 107 |
| 4.1 Studiul compoziției gazelor de eșapament | 107 |
| 4.1.1 Obiectivele specifice și metoda cercetărilor | 107 |
| 4.1.2 Rezultatele cercetărilor monofactoriale ale substanțelor emise în gazele de eșapament | 108 |
| 4.1.3 Optimizarea compoziției biocombustibilului și a regimurilor de funcționare MAC | 113 |
| 4.2 Determinarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune pe stand | 123 |
| 4.2.1 Generalități privind realizarea studiilor experimentale | 123 |
| 4.2.2 Viscozitatea cinematică | 124 |

| | |
|---|------------|
| 4.2.3 Alcalinitatea | 125 |
| 4.2.4 Conținutul de cenușă și de apă..... | 126 |
| 4.3 Încercările de exploatare ale motoarelor alimentate cu biocombustibil..... | 128 |
| 4.3.1 Generalități, obiectivele specifice ale încercărilor..... | 128 |
| 4.3.2 Rezultatele încercărilor | 129 |
| 4.4 Justificarea ecologică a utilizării biodieselului pentru alimentarea MAC | 133 |
| 4.5 Concluzii la capitolul 4..... | 136 |
| CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI | 139 |
| BIBLIOGRAFIE..... | 142 |
| ANEXE..... | 159 |
| DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII..... | 192 |
| CURRICULUM VITAE | 193 |

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.

LISTA ABREVIERILOR

| | |
|-------------------|---|
| BNS | Biroul Național de Statistică |
| CNDI | Contribuția națională determinată intenționată |
| ESSD | Date științifice ale sistemului Pământului (engl.: Earth System Science Data) |
| FAME | Metil Esteri ai Acizilor Grași |
| GCP | Global Carbon Project |
| GES | Gaze cu efect de seră |
| GPL | Gaz Petrolier Lichefiat |
| GtCO ₂ | Gigatone echivalent de dioxid de carbon |
| IEA | Agenția Internațională de Energie |
| kt | kilotone |
| MAC | Motoare cu aprindere prin comprimare |
| MAI | Motoare cu ardere internă |
| MAS | Motoare cu aprindere prin scânteie |
| Mb/zi | Milioane de barili/zi |
| MtCO ₂ | Megatone echivalent de dioxid de carbon |
| ONU | Organizația Națiunilor Unite |
| OPEC | Organizația Țărilor Exportatoare de Petrol |
| RNI | Raportul Național de Inventariere |
| SDE | Stațiunea Didactică Experimentală |
| SRE | Surse regenerabile de energie |
| SUA | Statele Unite ale Americii |
| UASM | Universitatea Agrară de Stat din Moldova |
| UCO | Ulei de gătit uzat (engl.: Used Cooking Oil) |
| UE | Uniunea Europeană |
| UTM | Universitatea Tehnică a Moldovei |

INTRODUCERE

În prezent, societatea umană se confruntă cu un ansamblu de probleme, rezolvarea cărora se impune în mod imperios. Conform studiilor specialiștilor consacrați (FAO, 2016; Neupane, D., et al., 2022; Boincean, B., et al., 2020; Tayari, S., et al., 2020; Sun, S., și Li, K., 2020; Schumacher, L. G., 1996), problemele date necesită un șir de măsuri stringente:

a) asigurarea securității alimentare și celei energetice în condițiile unei creșteri sporite a numărului populației în societatea globală și ale epuizării zăcămintelor de resursele energetice fosile;

b) ameliorarea situației ecologice care suportă impactul negativ tot mai mare al încălzirii globale cauzate de creșterea concentrației gazelor cu efect de seră (GES) în atmosfera Pământului.

Măsurile sus-menționate necesită a fi realizate la toate nivelele vieții social-economice: local, regional și global.

După cum estimează unii specialiști din domeniu, dacă se va menține consumul combustibililor fosili la nivelul actual, atunci rezervele de țiței la nivel mondial se vor epuiza aproximativ până în 2060 (Cohen, S., 2022). De menționat, că conform raportului realizat de către *British Petroleum Company* în 2021 rezervele globale de țiței se estimează la 1,73 trilioane de barili. Într-un alt raport al companiei britanice *Statistical Review of World Energy*, se menționează că rezervele explorate de țiței sunt distribuite pe suprafața Terrei extrem de neuniform, ceea ce este sursa multiplelor conflicte. Conform raportului menționat, cele mai mari rezerve de țiței (303,8 miliarde de barili) sunt în Venezuela, Arabia Saudită este poziționată pe locul al doilea cu 297,5 miliarde de barili, locul al treilea cu 168,1 miliarde de barili este ocupat de Canada, ulterior fiind urmată de SUA, Iran, Irak, Rusia, Kuwait, Emiratele Arabe Unite (EAU) și Libia (*Statistical Review of World Energy 2021/70th edition*).

Creșterea accelerată a consumului de sursele energetice primare a diminuat substanțial rezervele accesibile ale combustibililor fosili. Totodată arderea acestor combustibili a provocat emisiile de gaze cu efect de seră (CO₂, NO_x, CH₄ etc.) în cantități care depășesc posibilitățile naturii de a neutraliza efectele negative, ceea ce a dezechilibrat procesele naturale de autoreglare și a cauzat apariția crizei climatice (Maheshwari, P., et al., 2022; Singh, A. R., et al., 2022; Mehmood, M. A., et al., 2017). În legătură cu acutizarea crizei energetice și a celei climatice, a devenit un imperativ pentru oamenii de știință și de producție de a recurge la căutarea și asimilarea noilor tipuri de combustibili alternativi din sursele regenerabile de energie.

Necesitatea utilizării surselor regenerabile de energie (SRE) a fost conștientizată de către conducerea țărilor puternic dezvoltate, începând cu anii '70- '80 ai secolului trecut odată cu

majorarea pagubelor aduse mediului ambiant prin poluarea atmosferei, apelor din rezervele globale și a solului. Ulterior, în baza acestei conștientizări, au fost stipulate în documente de politici internaționale și realizate măsuri importante de ameliorare a situației ecologice și energetice. Experiența acumulată deja, dovedește faptul că utilizarea surselor regenerabile de energie și implementarea diverselor măsuri cu privire la eficientizarea consumului de energie, contribuie la diminuarea impactului negativ asupra Terrei noastre influențat de combustibilii tradiționali (Cline William, R., 2007; Arabella Fraser and Amy Kirbyshire, 2017; Hăbășescu, I., et al., 2009; Caisin, S., et al., 2014). În acest context și în Republica Moldova au fost elaborate și aprobate un șir întreg de documente de politici în care sunt prevăzute măsurile concrete de diminuare a emisiilor de gaze cu efect de seră, printre aceste sunt: Strategia de mediu pentru perioada anilor 2014-2023 (HG nr. 1470, 2016), Strategia energetică a Republicii Moldova până în 2030 (HG nr. 102 din 5 februarie 2015).

Autovehiculele alimentate cu combustibilii de origine fosilă împreună cu utilajele din sectorul energetic aduc cea mai mare contribuție la emisiile substanțelor nocive, inclusiv GES. În prezent, în economia mondială ponderea motoarelor cu ardere internă, care sunt alimentate cu combustibilii fosili, constituie 25% în volumul lucrărilor efectuate, iar emisiile globale de gaze cu efect de seră ale acestora reprezintă 10-12% din volumul total (Reitz, R. D., Ogawa, H., Payriet, R., et al., 2020). Tendințele mondiale în dezvoltarea surselor energetice, care acționează diferite mașini și utilaje, indică faptul că motorul cu aprindere prin comprimare MAC continuă să fie sursa principală de energie pentru vehicule și utilaje exploatate în sectorul agroalimentar și cel de transport (Dabbagh, H. A., et al., 2013; Contino, F., et al., 2013). Ținând cont de faptul susmenționat și reieșind din problemele existente în domeniul energetic, ecologic și alimentar, este necesară înlocuirea combustibililor de origine petrolieră cu combustibilii alternativi pentru alimentarea MAC.

Realizarea eficientă a obiectivului de implementare a combustibililor alternativi se poate efectua în baza elaborării și utilizării biocombustibililor obținuți din surse regenerabile de energie. La această categorie de combustibili aparține biocombustibilul obținut din uleiurile vegetale și din reziduurile industriei alimentare, numit biodiesel, care asigură conservarea gazelor cu efect de seră și îndeplinește cerințele economice (consum orar G_h și specific g_e de combustibil în cantități reduse), ecologice și cele tehnice de exploatare a motoarelor cu aprindere prin comprimare. Biodieselul, sau esterul metilic al acizilor grași (FAME), este un biocombustibil lichid compus din esterii mono-alchilici derivați ai grăsimilor animale sau vegetale, care se obține prin reacția de transesterificare. Totodată, biodieselul posedă proprietăți fizice, care sunt asemănătoare cu cele ale motorinei, ceea ce îi permite să fie utilizat în stare pură sau în amestec cu motorina în camera

de ardere, fără modificări esențiale ale motoarelor cu aprindere prin comprimare (Atabani, A. E., et al., 2012; Knothe, G., 2017).

Reperete istorice în dezvoltarea, producerea și utilizarea biodieselului ca combustibil alternativ pentru MAC se datează de la începutul secolului XX. Pentru prima dată în anul 1937 inventatorul Chavanne G. de la Universitatea din Bruxelles (Belgia) a obținut un brevet de invenție cu privire la transesterificarea uleiurilor vegetale în esteri alchilici ai acizilor grași și utilizarea acestora pentru substituirea motorinei. Cu un an mai târziu, în 1938, un autobuz de pasageri alimentat cu esterul etilic al uleiului de palmier a circulat între Bruxelles și Louvain (Knothe, G., Gerpen, J. V., 2005). În Africa de Sud în 1979 au fost realizate cercetări cu privire la rafinarea și transesterificarea uleiului de floarea-soarelui, produsul obținut fiind adus până la cerințele specificate în standardul pentru motorină. În continuare, în anul 1985 într-un colegiul agricol din Austria a fost lansată prima fabrică pentru producerea biodieselului pentru alimentarea MAC. Din 1992 biodiesel a fost produs în Europa deja în cantitățile industriale mari, Germania fiind cel mai mare producător (Pahl, G., 2005).

În SUA, pentru prima dată în anul 1991, biodieselul a fost produs pe scară industrială în orașul Kansas City, statul Missouri, iar în 1995 Universitatea din Idaho a furnizat Parcului Național Yellowstone biodiesel pentru alimentarea unui camion de tonaj mare care a parcurs câteva sute de mii de mile fără defecțiuni ale motorului. *Compania Pacific Biodiesel* a devenit una dintre primele fabrici de biodiesel din Statele Unite, care în 1996 a procesat pe insula Maui din Hawaii, uleiul vegetal uzat din sectorul alimentației publice în biodiesel (Pacific Biodiesel, 2022).

Din anii '70-'80 ai secolului trecut și până în prezent, producerea biodieselului a luat o amploare în mai multe regiuni ale lumii. Oamenii de știință au depus și depun în continuare numeroase eforturi cu scopul elaborării și implementării în economia mondială a amestecurilor combustibile biodiesel-motorină pentru alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare. Prin urmare, nu numai cercetătorii sus-menționați de pe continentul american (din SUA: Knothe, G., Schumacher, L. G., Borgelt, S. C., Fosseen, D., Goetz, W., Hires, W.) și cel european (Spania: Lapuerta, M., Armas, O., Rodríguez-Fernández, J.; România: Benea, B. C., Burnete, N., Geacai, E., Geambașu, S., Fazal Um Min, Allah; Republica Moldova: Hăbășescu, I., Cerempei, V., Sliusarenco, V.; Ucraina: Семенов, В. Г., Захарчук, В. И., Ткачук, В. В.; Serbia: Кнежевић, D.), dar și de pe continentul euroasiatic (Malaysia: Atabani, A. E., Hasana, M. M., Rahman, M. M., Altarazi, Yazan S.M.; India: Verma, A. S., Sakthivel, R., Ramesh, K., Purnachandran, R., Mohamed Shameer, P., Kumar, S., Gautam, R.; Iran: Dabbagh, H. A., Tayari, S., Abedi, R., Rahi, A.; Rusia: Аблаев, А. Р., Девянин, С. Н., Марков, В. А., Марченко, А. П., Матиевский, Д. Д., Мысник, М. И., Кулманакон, С. П., Buzikov, Sh. V.) au studiat proprietățile fizico-chimice și de

exploatare ale biocombustibililor, performanțele energetice ale MAC alimentate cu biocombustibili, procese de combustie a amestecurilor biodiesel-motorină, precum și impactul utilizării acestora asupra mediului ambiant.

Analiza surselor de informație existente demonstrează că biodieselul se obține din diferite materii prime: uleiurile vegetale (de palmier, din semințe oleaginoase- de rapiță, soia, floarea-soarelui etc.), grăsimile animaliere, reziduurile din sectorul de alimentația publică. Varietatea materiilor prime și a condițiilor pedo-climatice, în care aceste sunt obținute, este cauza fluctuației valorilor proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biodieselului în diferite surse bibliografice. Prin urmare, literatura de specialitate disponibilă cu privire la subiectele sus-menționate nu oferă informații suficiente referitor la argumentarea valorilor optime ale compoziției biocombustibilului în baza esterilor metilici și ale parametrilor de funcționare pentru motoare cu aprindere prin comprimare, având în calitate de funcții de răspuns cantitățile emisiilor de substanțe nocive din gazele de eșapament.

Bazându-se pe cele specificate, se poate de identificat următoarele argumente privind

Actualitatea și importanța temei abordate:

- La momentul actual, omenirea se confruntă cu o cerere și un consum enorm 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 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 a Organizației Națiunilor Unite cu privire la schimbarea climei (în continuare – Convenție-cadru), 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 nr. 102 din 5 februarie 2015; Strategia națională de dezvoltare „Moldova 2020”, aprobată prin Legea nr. 166 din 11 iulie 2012; Strategia de dezvoltare cu emisiile reduse a Republicii Moldova până în anul 2030, Anexa nr.1 la Hotărârea Guvernului nr. 1470 din 30 decembrie 2016; Strategia de mediu pentru anii 2014-2023 aprobată prin Hotărârea Guvernului nr. 301 din 24 aprilie 2014.*

- Informația existentă în sursele de specialitate privind proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor în baza esterului metilic și ale uleiurilor de motor în acțiune alimentat cu amestec de biodiesel cu motorină, privind comportarea cuplei tribologice din îmbinarea pieselor din camera de ardere în mediul de biodiesel, cantitatea substanțelor nocive emise cu gazele de eșapament, precum și privind optimizarea compoziției amestecurilor biodiesel-motorină, a parametrilor de funcționare MAC alimentat cu amestec de motorină cu biodiesel 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; Романцова, С. В., и др., 2010; Карташевич, А. Н., 2008; Дука, Г., și Крачун, А., 2007; Кулманаков, С. П., и др., 2007; Данилов, А. М., и др., 2003). De aici reiese aspectul imperativ al necesității realizării cercetărilor pentru estimarea 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 și ameliorarea situației ecologice la nivel local și global, îmbunătățirea performanțelor tehnico-economice ale motoarelor cu aprindere prin comprimare 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 prin argumentarea 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 pregătite și ajustate echipamente științifice care au permis să fie 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) într-un diapazon necesar pentru atingerea scopului stipulat.

Studiile de laborator ale proprietăților combustibililor și ale uleiului de motor, cercetările de stand au fost efectuate în laboratoarele de cercetări experimentale Chimotologie și Materiale de exploatare; Studiul motoarelor cu ardere internă din componența catedrei Ingineria Transportului Auto și Tractoare, facultatea Ingineria Agrară și Transport Auto, UASM (actualmente - 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-l 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.

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.

Sumarul compartimentelor tezei

În **capitolul 1** este redată o analiză 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. Capitolul se încheie cu metode și utilaje de producere a esterilor metilici pentru alimentarea MAC. În temeiul acestor constatări au fost formulate concluzii.

În **capitolul 2** sunt prezentate programul și metodele de cercetare, echipamente, materiale, metode de preparare și de analiză, precum și etapele de realizare ale cercetărilor experimentale și ale încercărilor de exploatare. Capitolul continuă cu descrierea tehnologiei și a utilajului de esterificare a uleiurilor vegetale din semințe de rapiță, a echipamentelor folosite pentru realizarea studiilor de laborator ale proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor și ale uleiului de motor. La fel sunt descrise echipamentele și materialele utilizate la ridicarea caracteristicilor de stand ale MAC, metodologia de realizare a cercetărilor de stand, de evaluare a componenței gazelor de eșapament și metodologia de cercetare a cuplei tribologice. Capitolul se încheie cu metodologia încercărilor de exploatare ale MAC alimentate cu amestecuri biodiesel-motorină B20 și motorină pură.

Capitolul 3 este consacrat argumentărilor teoretice și experimentale ale compoziției amestecului biodiesel-motorină pentru MAC în baza procesului de ardere. Capitolul continuă cu studierea proprietăților fizico-chimice și de exploatare (densității și viscozității cinematice, temperaturilor de inflamare, de tulburare și de congelare) ale motorinei, biodieselului și amestecului biodiesel-motorină.

Tot în acest capitol au fost realizate cercetările tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie în diferite medii (motorină, biodiesel și amestec biodiesel-motorină), care efectiv modelează condițiile de lucru ale principalelor îmbinări din camera de ardere MAC.

La finalul capitolului sunt prezentate rezultatele cercetărilor de stand ale motorului diesel DC4 11,0/12,5 cu ridicarea caracteristicilor de viteză, de sarcină/de reglaj și cu reflectarea performanțelor tehnico-energetice (puterii efective a motorului N_e , momentului de torsiune efectiv M_e) și celor economice (consumului orar G_h și specific g_e al combustibilului), dezvoltate de MAC alimentat cu diverși combustibili (motorină, biodiesel B100 și amestecuri biodiesel-motorină).

În capitolul 4 este prezentată evaluarea efectelor ecologice și tehnice de la implementarea biocombustibililor pentru MAC. Drept urmare a cercetărilor de stand monofactoriale sunt reflectate rezultatele cercetărilor ale cantităților de substanțe nocive (CO , CO_2 , C_nH_m și a fumului) emise în gazele de eșapament MAC alimentat cu motorină, amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 și biodieselul pur B100.

Capitolul continuă cu efectuarea cercetărilor polifactoriale, care au permis formularea ecuațiilor de regresie și stabilirea valorilor optime ale compoziției biocombustibilului (raportului dintre fracția volumetrică a biodieselului și a motorinei) și a regimurilor de funcționare MAC (turațiilor arborelui cotit n , sarcinii motorului N_i/N_e), care asigură valorile minime ale emisiilor de substanțe nocive (CO , C_nH_m și fum) în gazele de eșapament și ale consumului specific de combustibil g_e . Tot aici, în baza cercetărilor de stand sunt studiate proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune, precum viscozitatea cinematică, alcalinitatea, conținutul de cenușă și de apă.

De asemenea, în capitolul 4 sunt redate rezultatele încercărilor de exploatare ale motoarelor cu aprindere prin comprimare DC4 11,0/12,5 alimentate cu motorină și amestec biodiesel-motorină (B20) în cadrul Stațiunii Didactice Experimentale „Chetrosu”, raionul Anenii Noi.

Capitolul 4 se încheie cu justificarea ecologică a utilizării amestecului combustibil biodiesel- motorina B20 și biodieselului pur B100 pentru alimentarea MAC în economia Republicii Moldova, fiind demonstrat aportul favorabil al biocombustibililor asupra mediului ambiant cu identificarea valorilor absolute de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră (GES), inclusiv ale substanțelor nocive (CO , C_nH_m și particulelor solide).

Lucrarea se finalizează cu prezentarea **concluziilor generale**, **sugestiilor** privind potențialele direcții viitoare ale activităților de cercetare-inovare în domeniul biocarburanților lichizi și a **propunerilor** de utilizare a rezultatelor obținute în prezenta teză.

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

1.1 Tendințe în dezvoltarea motoarelor cu aprindere prin comprimare

1.1.1 Motoare cu aprindere prin comprimare – sursa importantă de energie

Motoare cu ardere internă sunt utilizate de mai bine de un secol, astăzi își mențin poziția dominantă ca sursa energetică în autovehicule. În prezent în economia mondială și cea din Republica Moldova, în special, în agricultură, transport, construcții, industrie, funcționează o gamă foarte mare de mașini și utilaje echipate cu motoare cu aprindere prin comprimare (MAC), care se deosebesc, în raport cu motoarele cu aprindere prin scânteie (MAS), prin următoarele avantaje: valoarea înaltă a momentului motor și consumul specific redus al combustibilului.

Necesitatea obținerii producției agricole de înaltă competitivitate, insuficiența forței de muncă impun pe producătorii agricoli să investească în utilajele agricole de înaltă performanță, ceea ce are drept consecință majorarea continuă a numărului de tractoare înregistrate oficial în țările europene, inclusiv în Republica Moldova. La 01.06.2023, parcul de tractoare din Republica Moldova număra în jur de 60 de mii de unități (Fig.1.1), fiind în permanentă creștere din anul 2019, când au fost înregistrate cca 50 mii unități. Adică, pe parcursul anilor 2019-2023 au fost procurate în medie fiecare an 2,0 mii tractoare.

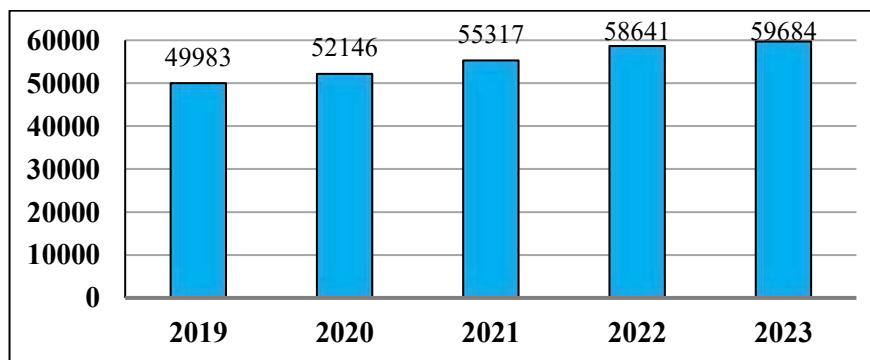


Fig. 1.1. Parcul de tractoare înregistrat oficial în Republica Moldova în anii 2019-2023

Sursa: asp.gov.md., 2023

Situația analogică este și în toate țările europene. Potrivit studiilor realizate de Asociația Europeană a Mașinilor Agricole (CEMA), agricultura europeană rămâne un important consumator al tractoarelor. Franța și Germania rămân cele mai mari două piețe de tractoare agricole din Europa, aceste două țări reprezentând aproape 40% din toate tractoarele înmatriculate în Europa în 2022. Înregistrările în aceste două țări au scăzut cu 1%, respectiv 11%. Italia, Polonia și Spania, care au

avut un număr foarte mare de înmatriculări în 2021, însă au înregistrat un declin în 2022. În unele țări, în principal în Europa de Est și Scandinavia, au fost înmatriculate mai multe tractoare agricole decât cu un an în urmă.

Creșteri notabile s-au înregistrat în Bosnia și Herțegovina, Islanda, Ungaria, Serbia, Muntenegru, Letonia, Danemarca, Estonia, Norvegia. Scăderi au fost numai în Grecia, Austria, Elveția și Belgia (CEMA, 2022). Prin urmare, în structura parcului european de tractoare înregistrate în 2022 cea mai mare contribuție au Franța (21%), Germania (17%), Italia (12%), Regatul Unit (8%), Polonia (7%), Spania (6%), Austria (3%) (Fig. 1.2). De menționat, că toate tractoarele înregistrate sunt dotate cu motoare Diesel.

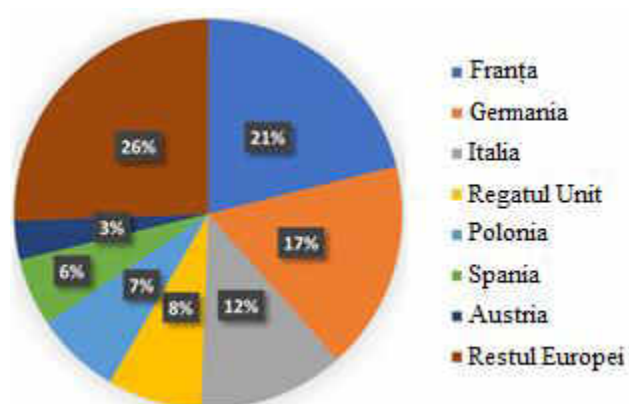


Fig. 1.2. Cote ale numărului de tractoare înregistrate în țările UE în 2022

Sursa: *Systematics International, CEMA, 2022*

Conform oficialilor de la firma BMW, MAC din oferta producătorului german vor rămâne în producție pentru încă cel puțin 20 de ani, în timp ce propulsoarele pe benzină vor mai avea de „rezistat” cel puțin 30 de ani. Cu toate acestea, o serie de propulsoare nu vor avea generații noi din momentul, când nu vor mai respecta normele de poluare, fiind eliminate din gama de producție (Automarket, 2020). De aici putem constata, că motoarele Diesel, în pofida faptului că demonstrează avantaje incontestabile, totuși au și un impact negativ asupra mediului înconjurător.

Evaluările realizate de *Global Information* preconizează că piața mondială a motoarelor diesel va crește aproximativ cu peste 3,5% în perioada 2022-2027. Factorii, precum creșterea cererii de energie electrică fiabilă în întreaga lume, ca urmare a dezvoltării industriale și a infrastructurii comerciale, determină dezvoltarea pieței motoarelor diesel. Mai mult, problemele deficitului de energie electrică și lipsa accesului la aceasta, împreună cu cerințele tot mai înalte de furnizare neîntreruptă a energiei, determină necesitățile sporite în MAC (Market Research Report, 2022).

În prezent motoarele cu ardere internă sunt unele din principalii consumatori ai combustibililor de origine petrolieră. Datorită sporirii numărului de aceste motoare și scăderii

considerabile de zăcăminte petroliere noi descoperite, criza energetică devine din ce în ce mai stringentă. În afară de aceasta, produsele de ardere ale combustibililor fosili în MAI au un impact negativ asupra mediului înconjurător.

1.1.2 Politici de ameliorare a situației ecologice în economia mondială

Asigurarea energetică pe baza combustibililor fosili a lăsat o amprentă negativă asupra mediului ambiant. În procesul de ardere a substanțelor organice, inclusiv a carburanților fosili, se degajă gaze poluante (CO₂, CO, SO₂, NO_x) și particule solide. Oxizii de sulf și azot sunt cauza precipitațiilor acide, cu consecințe periculoase asupra mediului ambiant, inclusiv a sănătății omului.

Emisiile provenite de la arderea combustibililor fosili și din industrie (FF&I) au ajuns la 37,6 miliarde de tone de CO₂ (GtCO₂) în anul 2022, ceea ce reprezintă o majorare de 0,5 GtCO₂ (1,3 %) din nivelul anului 2021, conform ultimelor estimări ale *Global Carbon Project* (GCP). Datele sus-menționate au fost publicate în rapoarte *Earth System Science Data* (ESSD), *Environmental Research Letters* și *Nature Climate Change*, fiind în coincidență cu documentele summit-ului ONU COP-25 privind climatul din Madrid, Spania, 2019. Creșterea emisiilor globale în anul 2022 a fost determinată aproape în totalitate de China, care a majorat producerea de CO₂ cu 0,4 Gt în raport cu anul 2020. Restul lumii și-a redus efectiv emisiile cu 0,02 GtCO₂ datorită consumului redus de cărbune în Statele Unite și în Europa, precum și o creștere a producției mult mai modestă în comparație cu anii precedenți în India și restul lumii.

Grupul de cercetători internaționali de la *Global Carbon Project* (GCP) evaluează sursele globale și absorbitorii de CO₂, astfel publicând din anul 2006 rapoarte anuale privind bugetul global al carbonului. Ultimul raport al GCP demonstrează că în anul 2022 emisiile globale de CO₂ provenite din combustibilii fosili au crescut la un nou maxim de 37,6 Gt ($\pm 1,8$), China și SUA fiind cei mai mari emițători (Fig.1.3). După o creștere rapidă a emisiilor globale de FF&I (combustibili fosili și industrie) cu aproximativ 3 %/an între anii 2000 și 2012, între anii 2013 și 2016 emisiile au crescut cu aproximativ 0,4 %/an. În anul 2017 a avut loc o creștere de 1,1%, iar în anul 2018- cu 2,2%.

Deși estimarea creșterii de 1,3% din anul 2022 a fost una scăzută în conformitate cu standardele (datele) istorice, de asemenea este clar că nu există dovezi că emisiile maxime ar putea să apară în viitorul apropiat. Echipa *Global Carbon Project* (GCP) sugerează că „emisiile maxime de CO₂ ar putea rămâne decenii depărtare”, având în vedere creșterea probabilă a emisiilor din petrol și gaze.

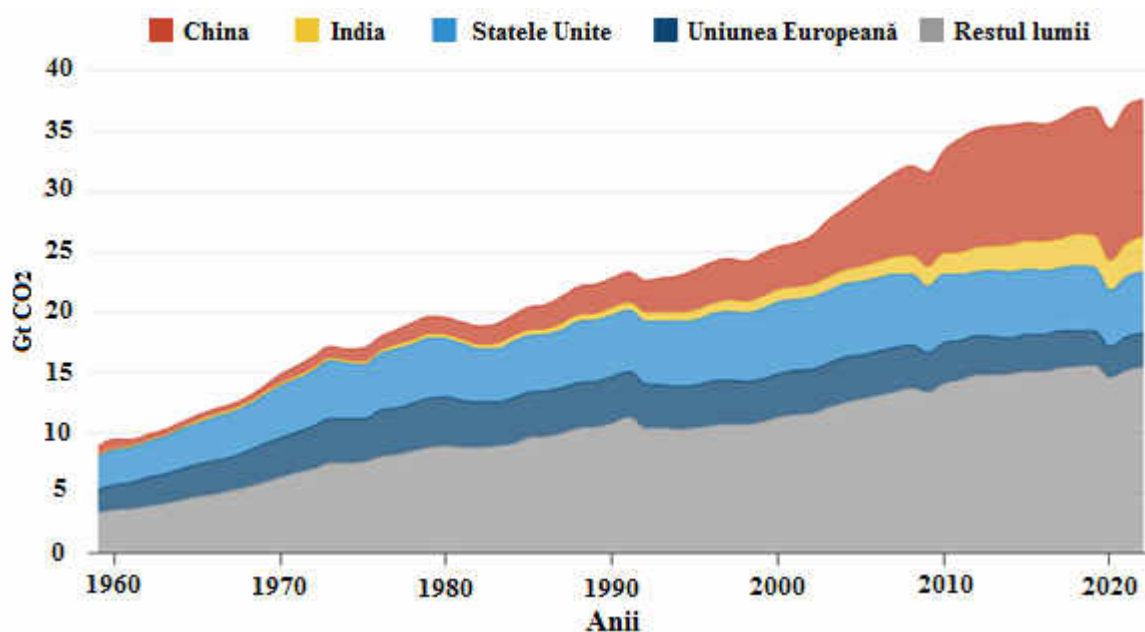


Fig. 1.3. Emisiile globale de CO₂ provenite din combustibilii fosili, 1959-2022

Sursa: <https://www.carbonbrief.org>

Așadar, emisiile de gaze cu efect de seră (GES) reprezintă o amenințare substanțială pentru mediul înconjurător, cu efecte potențial catastrofale asupra populației Terrei. Cadența rapidă a schimbărilor climatice necesită o capacitate ridicată de aclimatizare la acestea și impune crearea strategiilor sectoriale de diminuare și adaptare la condițiile climatice actuale și cele previzibile în viitor (Nedealcov, M., 2020). Utilizarea surselor de energie regenerabilă (SRE) și îmbunătățirea eficienței energetice (EE) pot reduce emisiile de gaze cu efect de seră și a diminua consumul total de energie, prevenind astfel schimbările climatice periculoase (Riva, G., et al., 2012).

Pentru a reduce emisiile GES organizațiile internaționale au întreprins un șir de măsuri importante. La summit-ul din Kyoto, care a întrunit conducătorii de vârf din peste 100 de țări a fost adoptat în 1997 Protocolul cu Convenția-cadru, unde s-a prevăzut ca țările cu industrie dezvoltată și cele cu economiile în tranziție să reducă emisiile totale de GES la nivel global pe parcursul anilor 2008-2012 cu minim 5% în raport cu nivelul anului 1990. Republica Moldova a ratificat Protocolul de la Kyoto în 2003.

În Planul de acțiuni de la Bali adoptat de Convenția-cadru (2007), a fost menționat ca țările în curs de dezvoltare să elaboreze și să pună în aplicare acțiuni adecvate de atenuare la nivel național în condițiile dezvoltării durabile, cu finanțare corespunzătoare și acțiuni de consolidare a capacităților. Acordul de la Copenhaga (2009) urmărea să limiteze încălzirea globală la mai puțin de 2 °C față de nivelurile preindustriale până în 2100, reafirmând preocupările de dezvoltare în

contextul schimbărilor climatice, inclusiv prin implementarea strategiilor de dezvoltare cu emisiile scăzute.

Republica Moldova a elaborat și a prezentat la Conferința XXI-a a Părților la Convenția-cadru de la Paris (2015) documentul „*Contribuția națională determinată intenționată*” (CNDI), unde își asumă obligația de a atinge până în 2030 necondiționat reducerea emisiilor nete de GES în proporție de 64% în raport cu nivelul anului 1990. Prin Hotărârea de Guvern nr. 301 din 24 aprilie 2014 al Republicii Moldova a fost aprobată Strategia de mediu pentru anii 2014-2023, în care sunt prevăzute obiectivele sectoriale de diminuare a GES în economia națională: cu 25% în sectorul energetic; cu 20% în sectorul locativ și cel industrial; cu 15% în sectorul transportului și cel al deșeurilor. Strategia sus-menționată este un document care permite Republicii Moldova să realizeze o economie cu emisii scăzute de dioxid de carbon printr-o dezvoltare verde durabilă și să atingă obiectivele din documentul „*Contribuția națională determinată intenționată*”, în conformitate cu prioritățile de dezvoltare socio-economică ale țării (HG nr. 1470, 2016).

1.1.3 Tendințe ale emisiilor de GES în Republica Moldova și politicile îndreptate spre diminuarea acestora

În Republica Moldova evaluarea și monitorizarea emisiilor de GES se desfășoară prin inventarierea la nivel național a surselor de emisii și sechestrare. Pe parcursul anilor 2000, 2009, 2013 și 2015 s-au realizat evaluări, ca parte a Comunicărilor Naționale și Primului Raport Bianual (2016) al RM în cadrul Convenției-cadru de la Paris. Evaluările au fost făcute și pe parcursul anilor 2003-2006 în cadrul Programului regional de consolidare a capacităților în domeniul inventarierii emisiilor de GES (2005), implementat de Programul Națiunilor Unite pentru Dezvoltare.

Potrivit Raportului Național de Inventariere (2022) pe parcursul anilor 1990-2020, surse de emisii și sechestrare în Republica Moldova scot în evidență o evoluție a diminuării emisiilor directe de GES. În intervalul anilor 1990 și 2020, emisiile sus-menționate s-au micșorat la nivelul național cu aproape 69,8%: de la 45,248 Mt CO₂ echivalent în 1990 până la 13,662 Mt CO₂ echivalent în 2020 (Fig. 1.4).

După reducerea la maximum în anul 2000 a emisiilor de GES, în Republica Moldova în perioada anilor 2001-2020 s-a înregistrat o evoluție de sporire cu aproximativ 19,8%, îndeosebi datorită creșterii cu circa 149,8% a emisiilor provenite de la sursele mobile de ardere a combustibililor, cu aproape 15,1% a emisiilor provenite de la arderea combustibililor fosili pentru producerea energiei electrice și termice și, respectiv, cu aproximativ 50,2% a emisiilor provenite de la arderea combustibililor fosili în sectoarele comerciale, instituționale și rezidențiale.

Reducerea semnificativă a emisiilor de gaze cu efect de seră în Republica Moldova în anii 1991-2000 a fost, în primul rând, cauzată de criza economică în perioada post-sovietică, adică, în perioada tranziției Republicii Moldova la economia de piață. Transformarea de-a lungul anilor a produs și modificări ale structurii de aprovizionare cu combustibil și ale consumului de resurse energetice. Consumul de combustibili fosili, în special cărbune și păcură, a scăzut drastic, în timp ce gazul natural mai puțin poluant a devenit principalul combustibil pentru centralele electrice și termice și a atins recent aproximativ 50% din cota de aprovizionare cu energie primară, ceea ce a fost stipulat în Hotărârea de Guvern (HG nr. 1470, 2016).

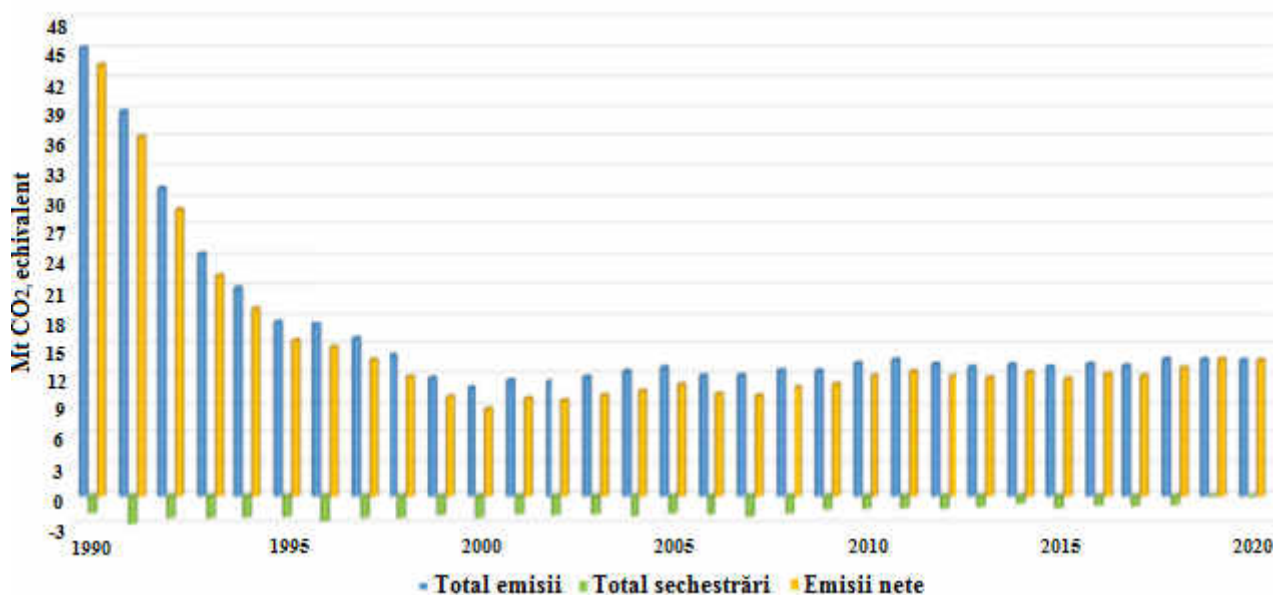


Fig. 1.4. Dinamica emisiilor și sechestrărilor de gaze cu efect de seră în Republica Moldova, 1990-2020 Sursa: *Raport Național de Inventariere 1990-2020, 2022*

Ținând cont de faptul că Republica Moldova dispune de un potențial foarte mic de zăcăminte ale combustibililor fosili (sonde de țitei din s. Văleni, Cahul), producția combustibililor regenerabile oferă posibilitatea de a rezolva concomitent două probleme majore: ameliorarea situației ecologice și întărirea securității energetice. În acest context, Republica Moldova s-a angajat să depășească provocările existente prin aprobarea politicilor sectoriale în Strategia națională de dezvoltare „Moldova 2020” (Legea nr. 166 din 11 iulie 2012).

Politicile sectoriale au prevăzut că, până în 2020, ponderea energiei regenerabile în balanța energetică a țării va constitui până la 20%, inclusiv cu atingerea cotei de utilizare a biodieselului în proporție de 20% din consumul total al combustibilului pentru motoare cu aprindere prin comprimare MAC. Strategia „Moldova 2020” a prevăzut valorificarea potențialului energetic al

biomasei, al energiei solare, al energiei eoliene și hidraulice și asimilarea noilor surse de energie în viitor.

În documente de politici elaborate în Republica Moldova în anii următori (Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2030, HG nr. 102 din 5.02.2013; Strategia de mediu pentru anii 2014-2023), au fost reactualizate obiectivele în domeniul reducerii emisiilor de GES în sectorul de transporturi, fiind prevăzută o majorare a cotei biocombustibililor cu cel puțin 10% din suma totală a combustibililor utilizați în acest sector până în anul 2020. Totodată s-au evidențiat următoarele obiective:

a) Diminuarea emisiilor de GES provenite din sectorul de transporturi prin planificarea infrastructurii și a managementului transportului, precum și tranziția la combustibili cu emisii scăzute de carbon.

b) Promovarea biocombustibililor (bioetanol, biodiesel), gazului natural comprimat și a gazului de sondă lichefiat ca alternative combustibililor pe bază din petrol.

Pentru a sprijini eforturile Convențiilor Internaționale de menținere a evoluției de creștere a temperaturii medii, până în anul 2100, în limita de până la 2 °C, obiectivul general al Strategiei energetice a Republicii Moldova preconizează reducerea necondiționată a emisiilor totale nete de GES la nivel național până în 2030 cu cel puțin de 64% față de nivelul din 1990. Țintele de reducere a emisiilor pot fi majorate condiționat până la 78% – în cadrul unui acord global care va aborda subiecte importante, precum resursele financiare cu costuri reduse, transferul de tehnologii și cooperarea tehnică, accesul la toate țările în măsură corespunzătoare care provocă schimbări globale ale climei.

Eforturile Republicii Moldova în ameliorarea situației ecologice și implementarea surselor regenerabile de energie sunt susținute de organizațiile internaționale. De menționat, că bazându-se pe concluziile grupului de lucru ad-hoc pentru acțiunea de cooperare pe termen lung, cea de-a șaisprezecea sesiune a Conferinței părților din decembrie 2010 (Cancun, Mexic), s-a decis înființarea Fondului verde pentru climă, care are drept scop finanțarea acțiunilor de atenuare a schimbărilor climatice adecvate pentru dezvoltarea la nivel național, în țările în curs de dezvoltare. Republica Moldova manifestă un deosebit interes față de Programul de promovare a surselor regenerabile de energie al Fondului Strategic pentru Climă, care se axează pe creșterea accesului la energie prin producerea și utilizarea surselor regenerabile. În acest scop în Republica Moldova funcționează Fondul pentru Eficiență Energetică (HG nr. 401, 2012) și Agenția pentru Eficiență Energetică; (HG nr. 45, 2019).

În scopul susținerii acțiunilor de atenuare a emisiilor GES, conform Acordului Conferinței Părților de la Paris din decembrie 2015 (COP 21) este preconizat ca „înainte de 2025, Conferința

Părților, care funcționează ca reuniune a Părților la Acordul de la Paris, va stabili un nou obiectiv colectiv cuantificat de finanțare de 100 miliarde dolari pe an, luând în considerare nevoile și prioritățile țărilor în curs de dezvoltare”. Aprobarea Strategiei de dezvoltare cu emisiile reduse în Republica Moldova va permite accesul la finanțare cu „start rapid”, precum și la finanțare pe termen lung, pentru care țările dezvoltate incluse în anexa nr. I la Convenția-cadru din Kyoto s-au angajat să susțină țările în curs de dezvoltare neincluse în anexa nr. I, inclusiv Republica Moldova.

Statele-membre ale UE au anunțat deja finanțarea pregătirii și implementării acțiunilor de atenuare adecvate la nivel național prioritare în unele țări în curs de dezvoltare. Republica Moldova deja a început acumularea experienței în formularea acțiunilor de atenuare, astfel încât să poată acționa cu promptitudine în scopul valorificării resurselor financiare pentru implementarea „acțiunilor de atenuare adecvate la nivel național” sprijinite de donatori.

Pentru atingerea obiectivelor generale și specifice ale Strategiei energetice a Republicii Moldova până în anul 2030 (HG nr. 102 din 5.02.2013), au fost identificate acțiuni de atenuare adecvate la nivel național:

- A.** Reducerea necondiționată, până în anul 2030, a emisiilor de GES provenite din sectorul energetic cu 74% și reducerea de GES condiționată până la 82% comparativ cu anul 1990.
- B.** Reducerea necondiționată, până în anul 2030, a emisiilor de GES provenite din sectorul de transporturi cu 30% și reducerea de GES condiționată până la 40% comparativ cu anul 1990.

Acțiunile de atenuare a influenței GES, sprijinite de donatori în sectorul transporturi, urmează să fie îndreptate, în principal, spre suportul investițiilor pentru substituirea combustibililor petrolieri, conversiunea vehiculelor, crearea infrastructurii de aprovizionare cu combustibili regenerabili și a sistemelor de management pentru producerea biomotorinei și a bioetanolului. Implementarea acțiunilor de atenuare creditabile în sectorul transporturi este posibilă printr-o serie de metodologii deja aprobate ale Mecanismului dezvoltării nepoluante din Protocolul de la Kyoto, care facilitează finanțarea reducerii emisiilor de carbon pentru investiții în producerea biomotorinei și bioetanolului.

Directiva UE nr. 2018/2001 din 11 decembrie 2018 privind promovarea surselor regenerabile de energie a fost modificată la propunerea Comisiilor din Parlamentul European (Industria, cercetare și energie; Mediu, sănătate publică și siguranță alimentară). Prin aceasta Directivă a fost stabilit un obiectiv obligatoriu de atingere a cotei de 32% a SRE până în 2030, ceea ce a fost în continuare stipulat și în Fișe tehnice UE, 2020. În ceea ce privește sectorul transporturilor, s-a stabilit un obiectiv de utilizare a surselor regenerabile de energie până în 2030 în proporție de 14%, cu o pondere de 3,5% de biocombustibilii avansați și a biogazului de 1% până

în 2025. În plus, s-a stabilit un plafon de 7% pentru ponderea biocombustibililor de primă generație (biodiesel, bioetanol) în sectorul transporturilor rutiere și feroviare. Drepturile consumatorilor în ceea ce privește autoconsumul de surse regenerabile de energie au fost consolidate, principiul „eficiența energetică înainte de toate” urmează să devină un principiu director și a fost introdusă o creștere anuală orientativă de 1,3% pentru sursele regenerabile de energie în domeniul încălzirii și răcirii.

1.1.4 Impactul autovehiculelor asupra stării ecologice în Republica Moldova

Sursa principală a emisiilor de poluanți în aer o constituie mijloacele mobile, având o pondere de peste 90% din totalul emisiilor de poluanți. Procesul de ardere a combustibililor este însoțit de degajare de căldură (eliberarea energiei chimice înglobate în combustibil) și produse de ardere (emisii de gaze, particule solide și vapori de apă). Gazele de eșapament ale autovehiculelor conțin: oxid de carbon, hidrocarburi, oxizi de azot, funingine, bioxid de sulf, compuși ai plumbului, benz- α -pirenă, aldehide și metale grele (Fig. 1.5).

Conform datelor statistice, poluantul cu cel mai mare volum de emisii îl constituie monoxidul de carbon (CO), pentru anul 2021 acesta având un volum de 112,4 mii tone și cu 5,6% mai mult decât în anul 2019. În anul 2017, acesta a atins cota maximă de 225,9 mii tone pentru perioada 2010-2021. Dinamica în cazul poluanților de bază, cu excepția CO, arată o tendință ușoară în descreștere.

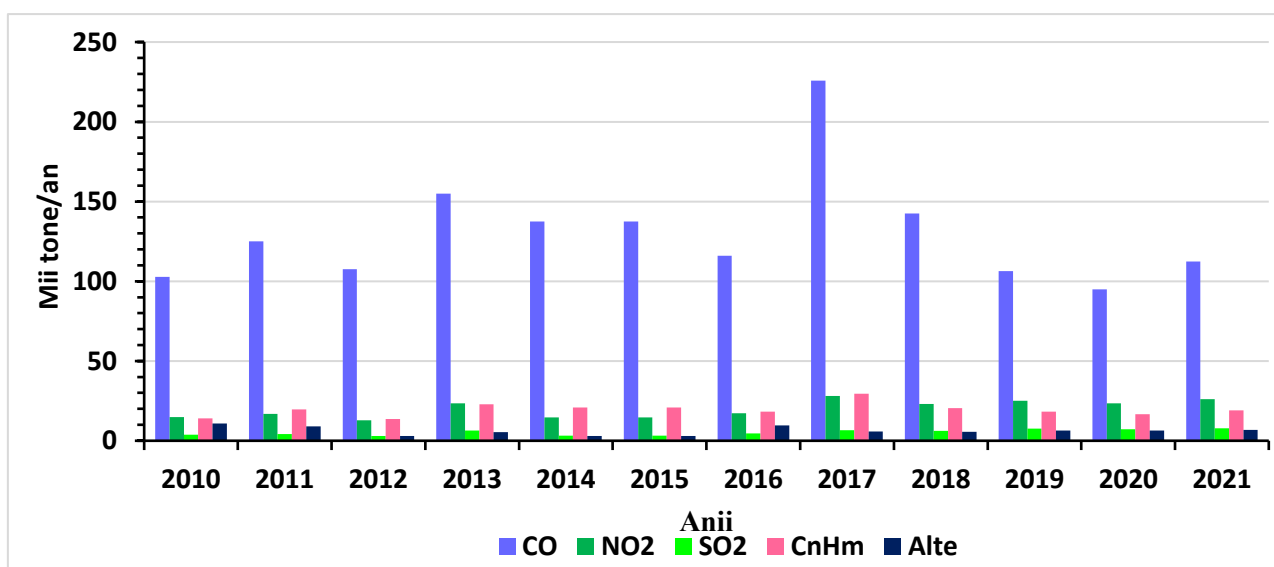


Fig. 1.5. Cantitatea emisiilor principalilor poluanți atmosferici

Sursa: Biroul Național de Statistică; Agenția de Mediu, 2022

Totodată menționăm faptul că, în perioada anilor 2004-2023 (01.06.2023) numărul de autovehicule în Republica Moldova a crescut de la 396 mii unități la 1108 mii unități, ceea ce înseamnă o creștere de 2,8 ori în raport cu anul 2004 (BNS, 2023). În anul 2021, ponderea carburanților folosiți de transportul rutier la nivel național a avut următoare structură: benzină- 44%, motorină- 43%, celelalte tipuri de combustibil (GNL, GPL, biocombustibil), hibride și electrice (H+E) - 13% (Fig. 1.6). Conform datelor din Registrul de Stat al Transporturilor, benzina și motorina sunt carburanții de bază utilizați pentru alimentarea motoarelor cu ardere internă. Evoluția consumului de benzină este constantă, iar utilizarea motorinei înregistrează o tendință ascendentă, aceasta crescând de la 23% la 43% în perioada de referință (2004-2021).

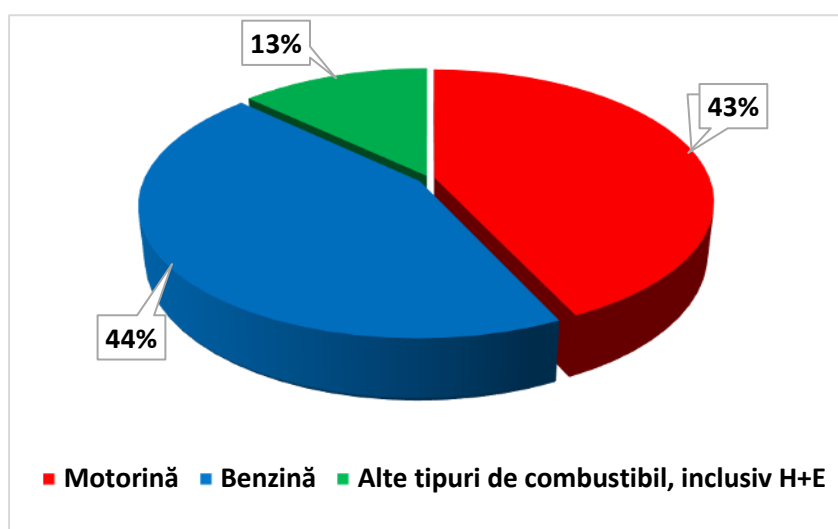


Fig. 1.6. Ponderea tipurilor de combustibil utilizate în transportul rutier din RM

Sursa: Registrul de Stat al Transporturilor, Agenția Servicii Publice (actualizat: 2021)

Conform datelor de monitoring referitoare la emisiile de poluanți în aer ale Agenției de Mediu, sectorul transporturilor constituie principala sursă de poluare a aerului. Datele statistice arată o pondere de 93% din totalul emisiilor de poluanți provenite de la sursele mobile din toate sectoarele ale economiei naționale (anul 2023). Aceasta se datorează creșterii semnificative a numărului unităților de transport – de la 396 mii unități în 2004 până la peste 1108 mii unități în 2023 (01.06.2023). Contribuția sectorului transporturilor din Republica Moldova în inventarul național al emisiilor de gaze cu efect de seră reprezintă un sfert din emisiile de gaze cu efect de seră provenite de la arderea combustibililor (Tab. 1.1).

Sectorul transporturilor este al doilea cel mai mare poluator, după sectorul energetic. Emisiile de gaze cu efect de seră depind în mare măsură de cantitatea produselor petroliere consumate. Respectiv, evoluția emisiilor de GES urmează aproape în totalitate trendul aferent consumului de produse petroliere. Evoluția consumului de carburanți în sectorul transporturilor

este determinată de numărul de autovehicule înmatriculate în țară, care de asemenea înregistrează un trend ascendent (RNI, 2022).

Tabelul 1.1. Emisiile la nivel național ale gazelor cu efect de seră provenite de la arderea combustibililor, [kt] (Sursa: Raportul Național de Inventariere: 1990 - 2020)

| Sursa emisiilor de GES | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Energetică | 3688,1 | 3648,6 | 2999,5 | 3258,6 | 3127,5 | 3638 |
| Industria și construcții | 518,4 | 489,6 | 502,8 | 595,6 | 720,0 | 803,6 |
| Transporturi | 2307,8 | 2481,6 | 2463,4 | 2581,9 | 2665,4 | 2511,9 |
| Alte sectoare | 1939,2 | 1925,3 | 2176 | 2267,8 | 2393,8 | 2332,1 |
| Alte lucrări și necesități în sectorul energetic | 22,9 | 23 | 22,7 | 23,5 | 22,97 | 22,5 |
| Total emisii de la ardere | 8476,4 | 8568,1 | 8164,4 | 8727,4 | 8929,7 | 9308,1 |

Conform *Programului național pentru eficiență energetică 2011-2020*, din consumul total de energie, 23% îi revine sectorului transporturilor, fiind bazat aproape în întregime pe combustibilii fosili. Sectorul transporturilor este responsabil pentru circa 25% din emisiile de gaze cu efect de seră (GES) provenite de la arderea combustibililor. Emisiile GES de la arderea benzinei și a motorinei sunt mai mari comparativ cu ceilalți carburanți utilizați în transport. Conform mai multor studii întreprinse, utilizarea biocombustibililor conduce la reducerea emisiilor de CO, CO₂, a emisiilor de pulberi în suspensie, precum și a emisiilor de sulfați. Biodieselul este considerat neutru din perspectiva emisiilor de CO₂, astfel că prin ardere acesta degajă echivalentul de CO₂ absorbit de plante prin procesul de fotosinteză (Tayari, S., et al., 2020; Sun, S., și Li, K., 2020; Schumacher, L. G., 1996).

În analiza efectelor asupra mediului înconjurător este deosebit de important să se studieze nu doar emisiile totale, dar și compoziția diferitelor substanțe ce sunt eliberate în atmosferă. Utilizarea biodieselului are avantajul reducerii emisiilor de pulberi în suspensie extrem de dăunătoare sănătății, precum și a celor de sulfați, responsabili pentru fenomenele meteorologice cunoscute sub denumire de „ploi acide”.

Biodieselul se dorește a fi considerat ca un înlocuitor al motorinei, dar față de aceasta trebuie să fie mult mai „prietenos” cu mediul. Din punct de vedere al impactului asupra mediului, nivelul de emisie este cel mai important aspect. Un studiu de la Universitatea din Minnesota a arătat că biodieselul din soia produce cu 41% mai puține emisii comparativ cu motorina. Diverse studii anterioare au arătat că contribuția biodieselului la reducerea diferitelor emisii în comparație cu combustibilii fosili este semnificativă (Creează, 2018).

1.1.5 Actualitatea utilizării surselor alternative de energie

Utilizarea preponderentă a combustibililor fosili a provocat creșterea poluării aerului, apei și a solului, care duce la înrăutățirea sănătății populației, la încălzirea globală, la fenomene meteorologice catastrofale, care potențial pot să schimbe complet condițiile în care există viața pe Pământ. Nivelul major de poluare și prețurile la combustibilii fosili, care se află în permanentă creștere din cauza epuizării rezervelor cunoscute de țiței, gaz, cărbune, pun în prim-plan combustibilii alternativi, inclusiv pentru alimentarea MAI- biocombustibili (Găgeanu, P., 2012).

Petrolul rămâne o sursă primară de energie deosebit de importantă datorită valorilor energetice înalte și ale proprietăților fizico-chimice potrivite. Utilizarea petrolului este în prezent limitată de rezervele în scădere și de accesul redus la depozitele distribuite neuniform geografic, ceea ce este una din cauzele fluctuațiilor bruște la prețuri de petrol și ale tensionărilor pe arena mondială.

Estimările din raportul privind Perspectivele energetice mondiale (*World energy outlook 2019*) arată că cererea de petrol în anul 2018 a crescut constant, în raport cu anii precedenți, atingând nivelul de 98 Mb/zi. Cea mai dinamică creștere a consumului a fost în țările din Asia Pacifică (China, India) și în America de Nord (SUA, Canada) (Fig. 1.7). Principala cauză a creșterii cererii de produse petroliere a fost majorarea consumului de benzină și motorină, dar au existat și veniturile importante din etan, gaz petrolier lichefiat (GPL) și naftă, deoarece utilizarea petrolului în calitate de materie petrochimică continuă să crească.

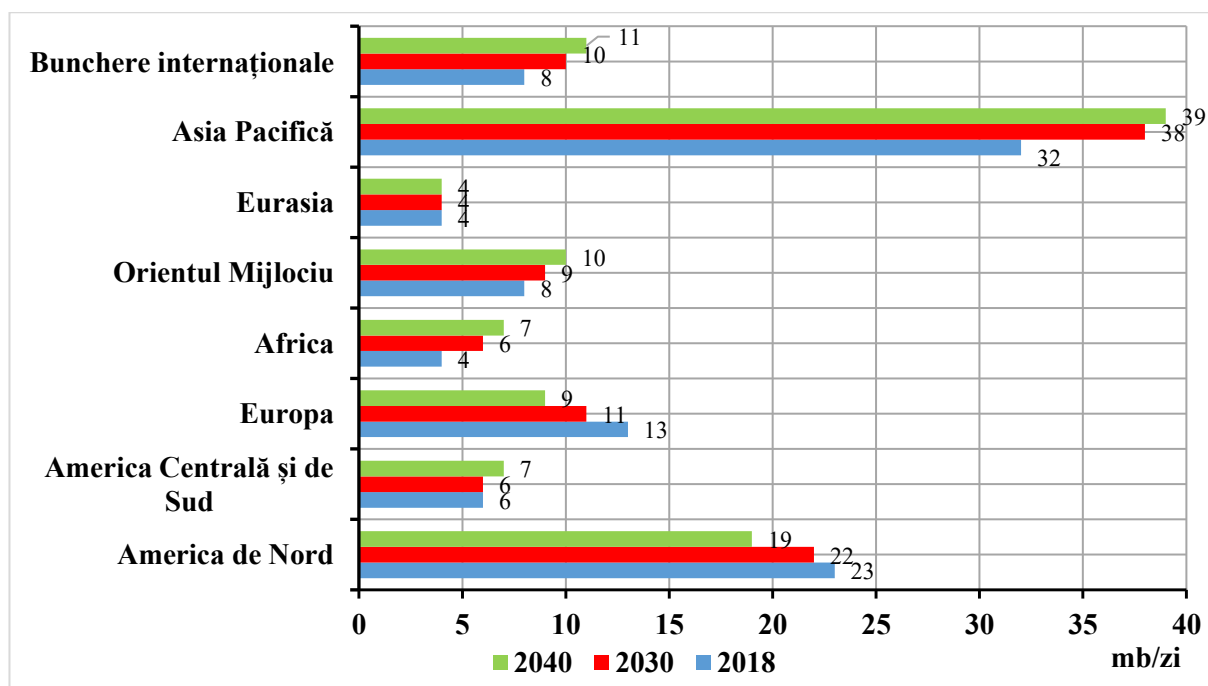


Fig. 1.7. Cererea de petrol pe regiuni și scenariu conform datelor dezvoltării durabile
Sursa: *World energy outlook, Oil.*

Conform Scenariului politicilor la nivelul mondial, tendința de creștere constantă a cererii va exista până în anul 2025, dar după aceea creșterea consumului de produse petroliere va încetini, ajungând în anul 2040 nivelul de 106 Mb/zi în economia mondială. În scenariul dezvoltării durabile (Fig. 1.7), anumite măsuri politice de ameliorare a situației ecologice pot avea drept consecință scăderea cererii în perioada anilor 2018-2040 cu peste 50% în țările cu economia avansată (SUA, UE, Japonia etc.) și cu 10% în țările în curs de dezvoltare.

Conform datelor OPEC în 2018 producția medie globală de petrol a constituit 95 Mb/zi (Fig. 1.8), cel mai mare randament înregistrându-se în țările din Orientul Mijlociu (31 Mb/zi) și în America de Nord (23 Mb/zi), ceea ce coincide în mare măsură cu datele din figura 1.4. Conform prognozei de dezvoltare durabilă pentru 2040 producția zilnică de petrol va atinge nivelul de 104 Mb/zi, asigurând în primul rând necesitățile industriei petrochimice și mai puțin ale transportului.

Se planifică reducerea consumului de petrol în transportul rutier deosebit de semnificativă datorită faptului că până în anul 2040 cca 50% din autovehicule vor fi dotate cu motoarele electrice, în primul rând la transportul auto urban și cu motoare cu ardere internă, alimentate cu combustibilii alternativi (hidrogen, biocombustibili).

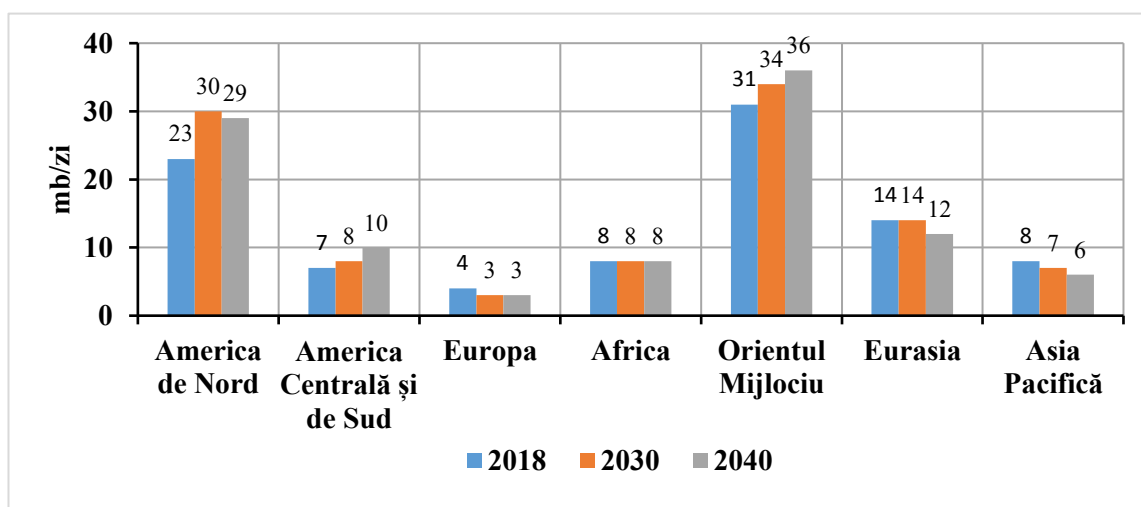


Fig. 1.8. Producția de petrol pe regiuni în anii 2018-2040

Sursa: World energy outlook, Oil.

Gazul natural este definit (Lăcustă, I., et al., 2013) ca un amestec de hidrocarburi care este exploatat în stare gazoasă și a cărui componentă principală este metanul (CH₄). În ultimele decenii gazul natural a devenit combustibilul preferat în raport cu cărbunele sau petrolul, în principal din următoarele motive:

- gazul natural este un combustibil relativ „curat” din punct de vedere ecologic, cu emisii reduse de oxizi de sulf, oxizi de azot și pulberi.

- aria geografică de răspândire este mai largă decât în cazul petrolului. Peste 85 de țări posedă zăcăminte semnificative de gaz natural.

- au fost dezvoltate tehnologiile industriale de mare eficiență care funcționează pe bază de gaz natural (INTEC, 2006).

Conform estimărilor *World energy outlook 2019*, pentru gazul natural anul 2018 a fost unul remarcabil, când consumul a crescut cu 4,6%, ceea ce a însumat aproape jumătate din creșterea cererii globale de energie. Producția gazului natural va continua să depășească cea a cărbunilor sau a petrolului atât în Scenariul Global (unde cererea de gaze crește cu mai mult de o treime), cât și în scenariul de dezvoltare durabilă (unde cererea de gaz crește ușor până în anul 2030, apoi revine la nivelul actual până în anul 2040) (Tab. 1.2). Cu toate acestea, industria gazelor se confruntă cu unele provocări comerciale și de mediu, precum și unele schimbări semnificative ale istoriei în diferite părți ale lumii.

Tabelul 1.2. Producția de gaze pe regiuni și scenariu pentru anii 2018-2040
[bilioane metri cubi]

| Regiune | Conform datelor politicilor declarate, [bmc] | | | Conform datelor dezvoltării durabile, [bmc] | | |
|----------------------------|--|------|------|---|------|------|
| | 2018 | 2030 | 2040 | 2018 | 2030 | 2040 |
| America de Nord | 1083 | 1336 | 1376 | 1083 | 1209 | 909 |
| America Centrală și de Sud | 177 | 209 | 285 | 177 | 187 | 189 |
| Europa | 277 | 206 | 188 | 277 | 189 | 151 |
| Africa | 240 | 372 | 508 | 240 | 333 | 383 |
| Orientul Mijlociu | 645 | 787 | 1016 | 645 | 681 | 651 |
| Eurasia | 918 | 1054 | 1143 | 918 | 921 | 786 |
| Asia Pacifică | 598 | 757 | 889 | 598 | 745 | 786 |

Sursa: World energy outlook, Gas.

În scenariul dezvoltării durabile, consumul de gaze naturale crește în următorul deceniu cu o rată medie anuală de 0,9% înainte de a atinge un nivel ridicat până la sfârșitul anului 2030. După aceea, implementarea accelerată a măsurilor de producție a surselor regenerabile de energie și de majorare a eficienței energetice, precum și creșterea producției de biometan, de hidrogen, va reduce consumul gazului natural. Până în anul 2040, cererea de gaze naturale în țările cu economie avansată va fi sub nivelul actual în toate sectoarele, cu excepția transporturilor, unde cererea va rămâne în mare măsură similară cu cea obținută în Scenariul Politicii la nivel Mondial. În țările în curs de dezvoltare, creșterea consumului de gaz natural în sectorul energetic va avea loc până în anul 2030, dar va încetini datorită unei ponderi în creștere a energiei regenerabile.

Așadar, consumul de combustibil fosil este o cauză majoră a schimbărilor climatice. În pofida creșterii rapide a volumului de producție SRE și a scăderii costului lor în multe părți ale lumii, majoritatea necesităților în energie sunt încă acoperite de combustibilii fosili. De exemplu,

gazul natural a reprezentat aproximativ 40% din creșterea cererii în anul 2018, față de doar 25% din sursele regenerabile de energie.

Conform specialiștilor în domeniul energetic (Hanaki, K., Portugal-Pereira, J., 2018), biocombustibili (biogaz, biodiesel, bioetanol și produsele derivate) sunt neutri în carbon, deoarece dioxidul de carbon, care este emis atunci, când un biocombustibil este ars, se întoarce doar la dioxidul de carbon atmosferic care a fost luat de plante din atmosferă prin fotosinteză. În așa mod, biocombustibilii sunt un mijloc foarte eficient pentru reducerea emisiilor de dioxid de carbon și alte substanțe nocive, diminuând consumul de combustibili fosili.

Reieșind din cele expuse, la momentul actual există necesitatea vitală în elaborarea și implementarea metodelor de obținere și utilizare a combustibililor alternativi pentru substituirea produselor petroliere, în vederea soluționării problemelor energetice și de mediu. Una dintre direcțiile de perspectivă în rezolvarea acestor probleme constă în utilizarea combustibililor pe bază de uleiuri vegetale (Priya, Deora, P. S., et al., 2022; Марков, В. А., 2006; Шашев, А. В., 2008).

1.2 Producția și utilizarea esterilor metilici din uleiuri vegetale pentru alimentarea MAC

1.2.1 Esterii metilici din uleiuri vegetale – combustibili de perspectivă

Circa 80% din energia mecanică, pe care omul o utilizează în activitățile sale, este generată de motoarele cu ardere internă, care la momentul actual, după cum a fost menționat în pct. 1.1, sunt principalii consumatori de produse petroliere. Înăsprirea normelor din standardele ecologice pentru cantitățile maxim admisibile ale emisiilor de substanțe nocive din gazele de eșapament ale motoarelor diesel, precum și limitarea emisiilor de dioxid de carbon, obligă majoritatea țărilor să recurgă la măsuri concrete de reducere a impactului motoarelor termice asupra mediului (Колтунова, С. А., и др., 2007). În Acorduri internaționale din ultimii 30 ani (Protocoale de la Kyoto, Cancun, Madrid, Paris etc.) este menționat faptul că alimentarea autovehiculelor cu combustibilii petrolieri degradează semnificativ mediul înconjurător. Una dintre direcțiile principale de reducere a emisiilor toxice constă în utilizarea combustibililor alternativi pentru alimentarea MAI. Majoritatea covârșitoare a tractoarelor și o bună parte de automobile sunt dotate cu motoare diesel, pe baza cărora este ușor de utilizat o anumită gamă de combustibili alternativi (Jeswani, H. K., 2020; Черемисин, П. Н., 2019; Cherubini, F., și Strømman, A. H., 2011).

Biocombustibilii sunt produși din materia primă regenerabilă (grăsimi de origine vegetală, animalieră, masa vegetală etc.) și utilizați pentru alimentarea mijloacelor de transport cu o rată în creștere (Priya, Deora, P. S., et al., 2022; Васильев, И. П., 2009; Дугин, Г. С., 2010). Biocombustibilii sunt considerați ca o alternativă reală pentru combustibilii petrolieri în diferite

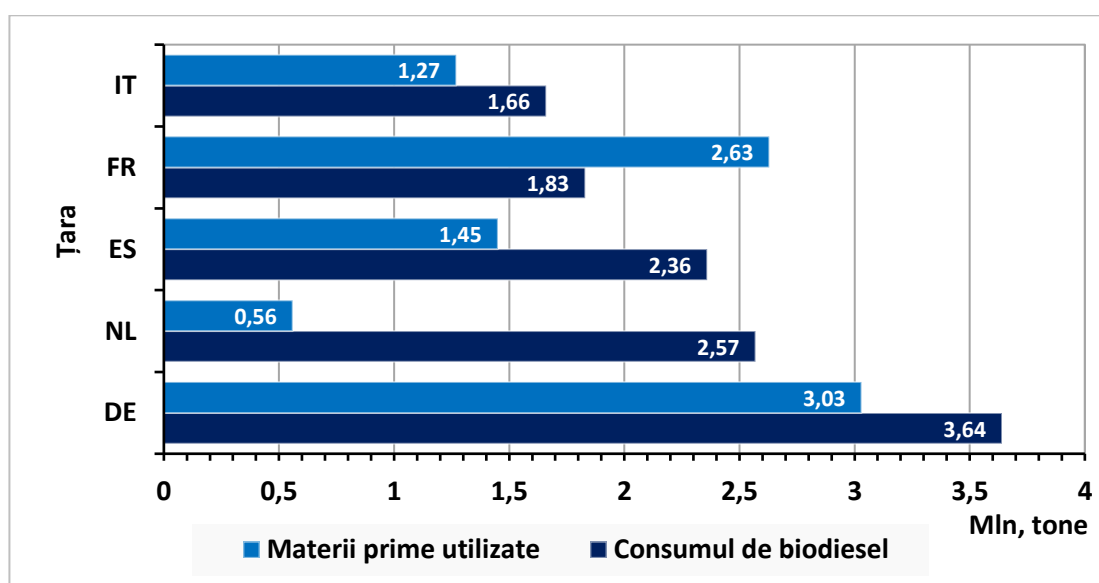
regiuni ale lumii – în Europa, pe continentul american, în țările din Asia de Sud-Est (Benea, B. C., 2014; Черемисинов, П. Н., 2019; Peterson, C. L., et al., 1995). Avantajele și perspectivele de producție a biocombustibililor, precum și dovezi de respectare a cerințelor privind protecția mediului înconjurător au fost demonstrate prin rezultatele utilizării multianuale a biocombustibililor în diferite țări ale lumii (Esmaceli, H. A, 2022; Okoye, P. U., et al., 2020; Sun, S., și Li, K., 2020; СМольников, М. В., 2020; Geambașu, S., 2018; Benea, B. C., 2014; Corkwell, K. C., et al., 2003).

Una dintre direcții de perspectivă, care a căpătat o dezvoltare pe scară largă în întreaga lume, este producerea combustibilului alternativ din grăsimi, inclusiv din uleiuri, obținute din plante oleaginoase (rașiță, soia, floarea soarelui, arahide, palmier etc.), precum și utilizarea acestora ca componente ale lubrifianților. La etapa inițială de valorificare a potențialului biocombustibililor pentru MAC au fost întreprinse încercări de a amesteca în proporții mici uleiul de rașiță în stare pură cu motorină, însă amestecul dat nu a avut proprietățile necesare pentru funcționarea durabilă și fiabilă a motorului, demonstrând, în primul rând, creșterea semnificativă a viscozității cinematice și densității. Fenomenele sus-menționate au fost cauza înrăutățirii dispersiei picăturilor de combustibil injectat în camera de ardere și depunerii intensive a calaminei pe pereții cilindrilor, provocând perturbații în funcționarea MAC (Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2009). În etapa următoare a fost demonstrat 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, decât uleiul pur (Гумеров, Ф. М., и др., 2006; Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2009).

Agencia Internațională pentru Energie a lansat un raport (*IEA, 2021*), în care se face o prognoză privind aprovizionarea globală cu biocombustibili estimată la 3,3 Mb/zi până în 2026, comparativ cu 2,6 Mb/zi în 2020. O creștere importantă a producției de biodiesel se așteaptă în țările din Asia de Sud-Est și din America de Sud. În Indonezia, producția biodieselului se așteaptă să crească la 190.000 b/zi în 2026, în raport cu 140.000 b/zi în 2020. Se estimează că producția biodieselului în Malaiezia va ajunge la 40.000 de b/zi în 2026. Conform estimărilor realizate de *Oil World (2020)*, întreprinderile braziliene au majorat ponderea esterului metilic în componența amestecului biodiesel-motorina de la 12% (B12) în 2019 la 13% (B13) în 2020 (*Oil World 2020*). În viitor, consumul procentual de uleiuri vegetale, în special din soia, pentru producția biodieselului este planificat să se majoreze constant cu 1 %/an până în 2028. Astfel, cota biodieselului în amestec cu motorina va atinge 20% (B20) până la perioada de raportare, adică la sfârșitul anului 2028. Asociația *Abiove* a producătorilor de ulei vegetal a menționat că volumul

investițiilor atrase în industrie va permite în viitorul apropiat creșterea producției de biodiesel în Brazilia cu 8,5%. Acum, ponderea principală în producția biodieselului (80%), în calitate de materie primă, aparține uleiului de soia (OleoScope, 2020).

Până în 2030, UE își propune să majoreze ponderea energiei regenerabile în transporturi până la nivelul de cel puțin 14%, inclusiv o pondere minimă de 3,5% a biocombustibililor. Acest indice este stipulat în directivele UE, fiind date recomandări pentru țările membre de a fi stabilită obligația furnizorilor de combustibil de a atinge obiective de dezvoltare (EC, 2021). Analiza volumului de producție și de consum al biodieselului pentru cinci țări cheie, care au o influență majoră pe piața europeană a biodieselului, demonstrează următoarele (Fig. 1.9).



Notă: IT-Italia, FR Franța, ES-Estonia, NL- Țările de Jos, DE-Germania

Fig. 1.9. Volumul de producție și de consum a biodieselului pentru cinci țări cheie din UE
Sursa: OILWORLD, 2021; Stratias Advisors, 2021

Cea mai mare cotă specifică a biodieselului produs în UE în 2020 este a Germaniei, care a utilizat în acest scop 3,03 Mt/an de materie primă, preponderent din semințe de rapiță (51%) și ulei uzat (eng., UCO) (31%). În afară de aceasta, în Germania este cea mai mare piață de biodiesel cu aproximativ 3,6 Mt/an, din care doar 83% sunt obținute din producția internă. În mod similar, în Țările de Jos și Spania consumul intern al biodieselului este mult mai mare, decât volumele de producție autohtonă. Țările de Jos au folosit în jur de 0,56 Mt/an de materie primă, îndeosebi din ulei de palmier (59%) și ulei de rapiță (17%), iar Spania a folosit aproximativ 1,45 Mt/an (din care 78% sunt din ulei de palmier). Totodată aceste țări în 2020 au consumat 2,57 Mt/an și, respectiv, 2,36 Mt/an. Situația identică este și în Italia. Analiza efectuată demonstrează că o parte semnificativă din consumul anual al biodieselului în țările sus-menționate este acoperită din

producția internă și comerțul intern al UE, alte cantități fiind asigurate din exteriorul UE. Din producătorii cheie ai UE, numai Franța a produs în 2020 o cantitate mai mare de biodiesel (2,63 Mt/an), decât a consumat (1,83 Mt/an) (Oil World, 2021; Stratas Advisors, 2021).

În pofida situației dificile din lume, piața biocombustibililor, în special a biodieselului, continuă să se dezvolte. Volatilitatea ridicată a prețurilor la uleiurile vegetale, scăderea ofertei de ulei din semințe de floarea-soarelui pe piața mondială după pierderea aproape completă a furnizorului cheie (Ucraina), inflația și îngrijorările legate de securitatea alimentară au generat multe controverse cu privire la oportunitatea dezvoltării industriei biocombustibililor în condițiile actuale. Cu toate acestea, a existat și o opinie cu privire la necesitatea reducerii în continuare a dependenței de combustibilii tradiționali. În acest moment, se pare că importanța menținerii unui curs „verde” a depășit preocupările existente, iar producția globală de biodiesel în 2022 a crescut, în special în țări cheie precum SUA, UE, Indonezia și Argentina (Fig. 1.10).

În cea mai recentă prognoză pentru producția globală de biodiesel, analiștii *Oil World* prevăd în 2022 creșterea producției până la 49,1 milioane tone de biodiesel, ceea ce reprezintă cu 0,8 milioane de tone mai mult, decât anul trecut. O ajustare ascendentă a producției globale de biodiesel este determinată de politicile privind biocarburanții în UE, de sporirea producției a biodieselului în Indonezia.

Astfel, producția biodieselului în Indonezia a fost estimată de experții *Oil World* la nivelul de 7,6 milioane de tone în 2022, ceea ce depășește cu 0,13 milioane tone nivelul atins în anul precedent.

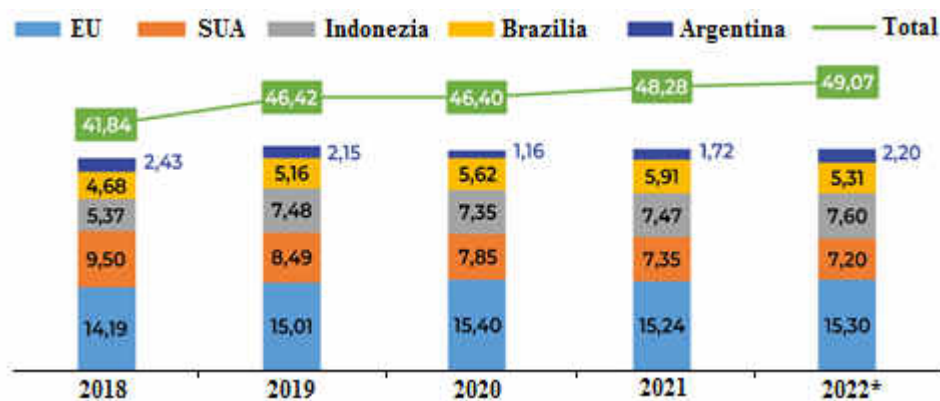


Fig. 1.10. Dinamica producerii globale de biodiesel, [mln. tone]

Sursa: *Oil World*, * Prognoză

De menționat, că prognoza dată a fost anunțată de analiștii *Oil World* cu puțin timp înainte ca guvernul Indoneziei să decidă să majoreze din 20 iulie 2022 cota de utilizare a biodieselului în amestec cu motorină de la nivelul de 30% (B30) la cel de 35% (B35). În afară de aceasta, autoritățile indoneziene au anunțat și planuri de testare a combustibilului B40. Potrivit estimărilor

experților *Oil World*, în cazul majorării cotei de utilizare a biodieselului la nivelul B40, alte 2,5 milioane de tone de ulei de palmier vor fi direcționate către producția acestuia.

Așadar, analiza experienței existente la nivel internațional demonstrează, că necesitatea în esterii metilici (biodiesel) pentru alimentarea MAC este în permanentă creștere, ceea ce este legat de necesitatea asigurării securității energetice și ecologice. Pentru producerea biodieselului în calitate de materie primă servesc, în primul rând, uleiuri vegetale obținute din semințe de rapiță, soia sau din fructul de palmier, iar în calitate de altă sursă pentru producerea biodieselului servesc reziduuri de grăsimi vegetale și animaliere. În ultimul caz sunt rezolvate concomitent cu problemele energetice, ecologice și cele economice, fiind realizate obiectivele economiei circulare. Reieșind din situația existentă în Republica Moldova din ultimii 25 ani (conform BNS, aria medie a terenurilor însămânțate cu rapiță este de cca 150 mii ha/an), pentru realizarea obiectivelor tezei noi am propus să fie folosit biodieselul produs din semințe de rapiță.

1.2.2 Proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale esterilor metilici

Grăsimile, în primul rând uleiurile vegetale, au atras atenția oamenilor de știință ca resursă potențială pentru producerea combustibililor alternativi și regenerabili. Esterii metilici proveniți din uleiurile vegetale au un potențial energetic înalt, care permit utilizarea lor ca biocombustibil. Conform estimărilor specialiștilor în domeniul MAI (Jeswani, H. K., 2020; Corsini, A., et al., 2015; Burnete, N., Naghiu, A., Marișiu, F., et al., 2008), alcoolesterii din uleiurile vegetale par a fi cea mai promițătoare alternativă de producere a combustibililor alternativi, numiți biodiesel.

Biodieselul este un lichid transparent de culoare galben-aurie cu un miros specific plăcut. După compoziția sa chimică, biodieselul este un ester metilic al acizilor grași (FAME), obținându-se ca urmare a unei reacții chimice de esterificare a grăsimilor, inclusiv a celor de origine vegetală, și având proprietăți de ardere. Structura moleculei esterului metilic al acizilor grași este asemănătoare cu cea a motorinei, prin urmare, proprietățile biodieselului în mare măsură coincid cu cele ale motorinei petroliere (Tab. 1.3), ceea ce face posibilă substituirea completă sau parțială a motorinei cu biodiesel. Este important că biodieselul poate fi amestecat cu motorina în orice concentrație. Similitudinea proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale esterului metilic pur și ale amestecurilor biodiesel-motorină face posibil ca biocombustibilii să fie utilizați în MAC fără modificările constructive ale motorului.

Densitatea și viscozitatea cinematică sunt considerați indicatorii importanți ai calității combustibililor, determinând procese de evaporare și de formare a amestecului de lucru în camera de ardere a motorului cu aprindere prin comprimare, deoarece de dinamica acestor procese depind dimensiunile picăturilor formate, forma și structura flăcării de combustibil, lungimea de penetrare

a jetului de combustibil în camera de ardere. Valorile mai mici ale densității și viscozității cinematice asigură o bună pulverizare a combustibilului.

Tabelul 1.3. Proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor

(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; Романцова, С. В., и др., 2010; Карташевич, А. Н., 2008; Дука, Г., și Крачун, А., 2007; Кулманаков, С. П., и др., 2007; Данилов, А. М., и др., 2003)

| Denumirea parametrilor | Tipul combustibilului | | | | |
|--|-----------------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| | Motorină | B20 | B50 | B100 | Ulei de rapiță |
| Densitatea, [g/cm ³] | 0,825-0,830 | 0,835-0,848 | 0,852-0,86 | 0,877-0,888 | 0,915 |
| Viscozitatea cinematică la 20 °C, [cSt] | 3,6-6,0 | 4,4 | 5,4 | 7-8 | 75 |
| Cifra cetanică | 45 | 45,4-50 | 46-51,5 | 47-52 | 45 |
| Temperatura de inflamare, [°C] | 62-75 | 76-95 | 91 | 120-170 | 320 |
| Temperatura de tulburare, [°C] | - 25 | -10...-12 | 7,8...-13 | -8...-13 | -9 |
| Temperatura de congelare, [°C] | -35 | -16...-24 | -16...-18 | -12...-17 | -18 |
| Fracția masică a elementelor, [kg/kg comb.]: | | | | | |
| Carbon | 0,86 | 0,855 | 0,81-0,82 | 0,767-0,776 | 0,78 |
| Hidrogen | 0,13 | 0,125 | 0,124 | 0,122 | 0,10 |
| Oxigen | 0,01 | 0,0225 | 0,057 | 0,1-0,111 | 0,12 |
| Masa moleculară a combustibilului, [kg/kmol] | 190 | 212 | 245 | 290-310 | 932,33 |
| Puterea calorifică inferioară, [MJ/kg] | 42,5-43 | 41,2-41,8 | 39,5-40,3 | 37-38 | 37,3 |

Odată cu majorarea proprietăților sus-menționate, diametrul picăturilor crește și procesul de combustie a acestora se înrăutățește. Ca urmare, consumul specific de combustibil g_e și fumegarea în gazele de eșapament se majorează. Concomitent, de viscozitatea cinematică a combustibilului depinde uzura elementelor componente ale sistemului de alimentare MAC (pistonului plonjor- cilindrului pompei de injecție de presiune înaltă, injectorului) și ale îmbinării segmentul de piston- cămașa cilindrului. Valorile superioare ale viscozității combustibilului asigură o capacitate ridicată de lubrifiere, însă ultima depinde și de particularitățile constructive, de condițiile de exploatare ale îmbinărilor menționate. Variația densității și a viscozității combustibilului contribuie la modificarea puterii efective a motorului, a conținutului de substanțe nocive în gazele de eșapament și a consumului de combustibil. Prin urmare, pentru optimizarea caracteristicilor de exploatare a MAI și reducerea cantității de substanțe nocive emise în atmosferă, valorile maxime și minime ale densității și ale viscozității combustibilului trebuie să fie stabilite în limitele specificate în actele normative.

Analiza proprietăților combustibililor (Tab. 1.3) demonstrează că, cu mărirea fracției biodieselului în amestec cu motorină de la 0 până la 50%vol. (B20, B50), valoarea densității amestecului biocombustibil se majorează neesențial de la 0,835 până la 0,86 g/cm³, ceea ce se încadrează în limita admisibilă (0,860 g/cm³) stipulată în GOST 305-82 pentru motorină. Însă

valoarea densității biodieselului pur B100 este puțin mai mare ($0,888 \text{ g/cm}^3$), depășind limita admisibilă cu cca 3%.

După cum au remarcat autorii (Mohd Khazaai, S. N., et al., 2020; Марков, В. А., и др., 2015; Грехов, Л. В., и др., 2015; Антонова, З. А., и др., 2014; Марков, В. А., и др., 2012; Марков, В. А., и др., 2010; Колтунова, С. А., и др., 2007), valoarea viscozității cinematice μ a biodieselului transesterificat din ulei de rapiță este mai mare aproximativ de 2 ori în raport cu motorina (biodiesel - $\mu = 8 \text{ cSt}$ și motorină - $\mu = 4,1 \text{ cSt}$ la $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) (Tab. 1.3). Însă cu majorarea temperaturii viscozitatea cinematică a biodieselului și a amestecurilor biodiesel-motorină brusc se micșorează, de exemplu, viscozitatea cinematică a biodieselului B100 la temperaturi de 40°C și 50°C , care sunt caracteristice pentru condițiile sistemului de alimentare cu combustibil al motorului, a alcătuit $\mu = 4,79 \text{ cSt}$ și, respectiv, $\mu = 3,6 \text{ cSt}$ (Tab. A1.1) (Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2008), ceea ce corespunde valorilor admisibile ale motorinei de vară stipulate în GOST 305-82 ($\mu = 3-6 \text{ cSt}$).

Printre principalele proprietăți fizico-chimice și de exploatare ale combustibilului se regăsește și **cifra cetanică**, care caracterizează inflamabilitatea. Acest indicator determină intervalul de timp (întârzierea) dintre injectarea amestecului combustibil în cilindru și începerea arderii. Cu cât este mai mare cifra cetanică, cu atât este mai mică faza de întârziere, procesul de combustie fiind mai uniform. Esterul metilic al acizilor grași (biodieselul) se caracterizează printr-o inflamabilitate mai înaltă datorită cifrei cetanice mai mari cu 3-4 unități (Mohd Khazaai, S. N., et al., 2020; Sakthivel, R., et al., 2018; Lapuerta, M., 2008; Матиевский, Д. Д., 2006). De exemplu, pentru motorină este stipulată în GOST 305-82 valoarea cifrei cetanice de minimum 45, iar pentru biodiesel valoarea acestui parametru conform EN 14214-2003 este indicată de minim 51 unități. Datele prezentate (Tab.1.3) indică faptul că biodieselul poate fi utilizat în motoarele cu aprindere prin comprimare fără adaos de substanțe ce favorizează aprinderea.

Analiza valorilor proprietăților (Tab.1.3) demonstrează că, majorarea fracției biodieselului în amestec cu motorină, are drept consecință creșterea densității, viscozității cinematice și a **fracției masice a oxigenului** în biocombustibil. Ultimul fenomen conduce la o diminuare a puterii calorifice și a cantității stoichiometrice de aer necesare pentru combustie în camera de ardere a motorului. Puterea efectivă dezvoltată de motor este determinată, în fond, de cantitatea ciclică a combustibilului, injectată în camera de ardere, și de puterea calorifică a acestuia. Datorită prezenței oxigenului în molecula biodieselului, puterea calorifică inferioară a acestuia în stare pură B100 ($37,7 \text{ MJ/kg}$) este mai mică cu 12,7% în raport cu cea a motorinei ($42,5 \text{ MJ/kg}$). Prin urmare, alimentarea motorului cu aprindere prin comprimare cu biodiesel poate să conducă la diminuarea puterii efective N_e și majorarea consumului de combustibil G_h, g_e .

O mare importanță în proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor se atribuie **temperaturilor de tulburare și de congelare**, deoarece aceste temperaturi indică funcționarea normală a motorului și a sistemului de alimentare cu combustibil la temperaturi scăzute. Datele prezentate în tabelul 1.3 demonstrează că, motoare cu aprindere prin comprimare, alimentate cu biodiesel B100 și amestecuri biodiesel-motorină B20, B50, pot funcționa fără refuz până la temperatura minimă de tulburare a combustibilului de -13°C , pe când motorina are temperatura de tulburare de -25°C . În categoria proprietăților de exploatare intră și **temperatura de inflamare**, biodieselul pur B100 are valoare mult mai ridicată a temperaturii ($>120^{\circ}\text{C}$), decât cea a motorinei (69°C). Amestecurile biodiesel-motorină B20, B50 au valorile intermediare ale temperaturii de inflamare, observându-se un efect sinergic, deoarece aceste valori sunt mai aproape de cele ale motorinei. Ținând cont de valoarea sus-menționată, se poate de constatat că biodieselul este un combustibil mult mai sigur din punct de vedere antiincendiar.

Analiza situației în domeniul utilizării esterilor metilici din uleiuri vegetale pentru alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare demonstrează că sursele existente de informație (Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2008; Beșleagă, I., 2011; Geambașu, S., 2018; Benea, B. C., 2014; Марков, В. А., и др., 2015; Грехов, Л. В., и др., 2015) conțin date privind proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale esterilor, valorile cărora sunt potrivite pentru combustie în MAC. Deoarece esterii metilici sus-menționați (numiți „biodiesel”) sunt obținuți din materia primă vegetală, prin urmare sunt combustibilii regenerabili. Importanța faptului dat crește pe zi ce trece, deoarece permite înlocuirea combustibililor fosili (motorină, gaz natural) și ameliorarea situației ecologice. Însă în sursele de informație existente lipsește modelul fizic al procesului de combustie a biodieselului în MAC cu argumentarea teoretică și experimentală a compoziției optime a acestui combustibil, nu este cunoscută comportarea tribologică în mediul biodieselului ale cuplei crom-fonta cenușie din îmbinare segmentul de piston-cămașa cilindrului. Caracteristicile motorului cu aprindere prin comprimare (de viteză, de sarcină/ de regulator), care reflectă dependența performanțelor energetice, economice ale motorului funcție de parametri de lucru, au fost ridicate de cercetătorii precedenți (Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2008; 2011; Beșleagă, I., 2011) în condițiile cercetărilor monofactoriale, cu varierea numai a unuia din parametri de lucru (turației arborelui cotit n sau a sarcinii motorului N_i/N_e sau a fracției biodieselului C_b în amestec cu motorina). Există date fragmentare și contradictorii privind compoziția gazelor de eșapament în motoare alimentate cu biodiesel și privind proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor din esterii metilici ai uleiurilor vegetale, precum și ale uleiului de motor în acțiune. Lipsa sau insuficiența informației nu permite să fie optimizate

valorile fracției biodieselului C_b în amestec cu motorină, ale parametrilor de lucru MAC (turației arborelui cotit n , sarcinii motorului N_i/N_e).

1.2.3 Metode și mijloace tehnice de producere a esterilor metilici

Realizarea obiectivelor din prezenta teză necesită utilizarea cantităților mari ale esterului metilic (biodieselului) pentru efectuarea cercetărilor de laborator, de stand și a încercărilor de producție ale motoarelor alimentate cu acest combustibil. În lipsa producției biodieselului pe scară largă în Republica Moldova a apărut necesitatea în producerea loturilor experimentale de biodiesel. Prin urmare, această necesitate a impus efectuarea unei analize a soluțiilor tehnice existente și selectarea metodei de esterificare celei mai potrivite pentru cazul nostru.

În ultimii 50 ani pe scara mondială și cea națională au fost elaborate mai multe metode și utilaje de esterificare a grăsimilor pentru combustie în MAC (Maheshwari, P., et al., 2022; Singh, A. R., 2022; Reitz, R. D., 2020; Salehi Jouzani, G., et al., 2020; Knothe, G., 2017; Hajjari, M., et al., 2017; Dabbagh, H. A. et al., 2013; Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2011; Девянин, С. Н., 2007; Knothe, G., și Gerpen, J. V., 2005; Pahl, G., 2005). În ultimii 20-30 ani, cum a fost menționat în pct. 1.2.1 și 1.2.2, s-au desfășurat activități de cercetare-inovare-transfer tehnologic, având scopul producția esterilor metilici din grăsimi vegetale și din reziduuri de grăsimi animaliere. Fenomenul dat se explică prin simplitatea, accesibilitatea și parametrii ecologici puțin poluanți ai procesului de obținere a uleiurilor vegetale, prin costul lor relativ scăzut și inflamabilitatea acceptabilă în condițiile combustiei în camera de ardere a motorului diesel. Totodată reziduurile de grăsimi vegetale și animaliere, provenite din procesarea lor în sectorul agroalimentar și în sectorul de alimentație publică, prezintă pericolul ecologic. Esterificarea acestor reziduuri se încadrează în cerințele economiei circulare, diminuând pericolul dat la nivelul zero (Salehi Jouzani, G., et al., 2020; Hajjari, M., et al., 2017; Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2011; Девянин, С. Н., 2007).

Procesele tehnologice de producție a biodieselului sunt bazate pe mai multe metode, care permit obținerea biodieselului prin reacția chimică de transesterificare a moleculelor de trigliceride din grăsimile sus-menționate cu un alcool inferior (metanol, etanol) în prezența unui catalizator adecvat (Grebemariam, S., și Marchetti, J. M., 2017; Sani, Y., et al., 2012; Vyas, A. P., et al., 2010; Demirbas, A., 2009). Prima lucrare consacrată obținerii esterilor metilici prin metanoliza uleiurilor aparține lui Roehleider în 1846, altă metodă veche (1890) constă în hidroliza clasică cu catalizatori Twichel. În literatura de specialitate, procesul de obținere a esterilor acizilor grași a fost descris pentru prima dată în patentele americane U.S. Pat. 2.271.619 și 2.360.844 din 1939. Conform acestor patente procesul de transesterificare a fost condus în prezența unui catalizator alcalin, iar

condiționarea produsului reacției a fost realizată la 80°C. Cercetările în acest domeniu au continuat și în anii următori, dar s-au amplificat după prima criză mondială a petrolului din anii 1973-1980. Aceasta a condus la apariția unui număr impresionant de articole, brevete și monografii referitoare la obținerea și utilizarea biodieselului ca un combustibil alternativ pentru motorină (Singh, A. R., 2022; Maheshwari, P., et al, 2022; Reitz, R. D., 2020; Salehi Jouzani, G., et al., 2020; Hubca, Gh., et al., 2008; Knothe, G., și Gerpen, J. V., 2005; Pahl, G., 2005).

Studiile aprofundate ale tehnologiilor și utilajelor de transesterificare a uleiurilor vegetali au fost realizate de cercetătorii Institutului de Tehnică Agricolă „Mecagro” (Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2008, 2009, 2011). În metoda clasică, principiul de bază constă în reacția de transesterificare a uleiului brut cu metanol catalizat în prezența hidroxidului de sodiu, prin sedimentarea glicerolului, care se va separa prin decantare de biodiesel. Colaboratorii ITA „Mecagro” au elaborat modelul-pilot al utilajului. Acest utilaj a permis stabilirea regimurilor de reacție pentru uleiul de rapiță concret, caracteristic soiurilor autohtone, pentru mărirea gradului de esterificare al reacției. Factorul decisiv privind calitatea procesului a fost viscozitatea esterului, prin care s-a determinat gradul de esterificare a uleiului. Utilajul experimental al ITA Mecagro funcționa în modul următor: în reactor 1 (Fig. 1.11.) se debita o anumită cantitate de ulei cu utilizarea vidului, format în reactor de pompa 5. Această cantitate de ulei era încălzită până la temperatura de 55-60 °C, care se menținea de un regulator automat 9. Când temperatura uleiului atingea norma stabilită, în același mod se introducea cantitatea necesară de metanol catalizat. Totodată, se punea în funcție agitatorul la rotații mici. Apoi, schimbând frecvența curentului electric cu ajutorul invertorului 7, se instala un număr de rotații sporit, astfel, încât la o agitare mai intensă, nivelul lichidului în reactor 1 să nu ajungă până la nivelul de sus.

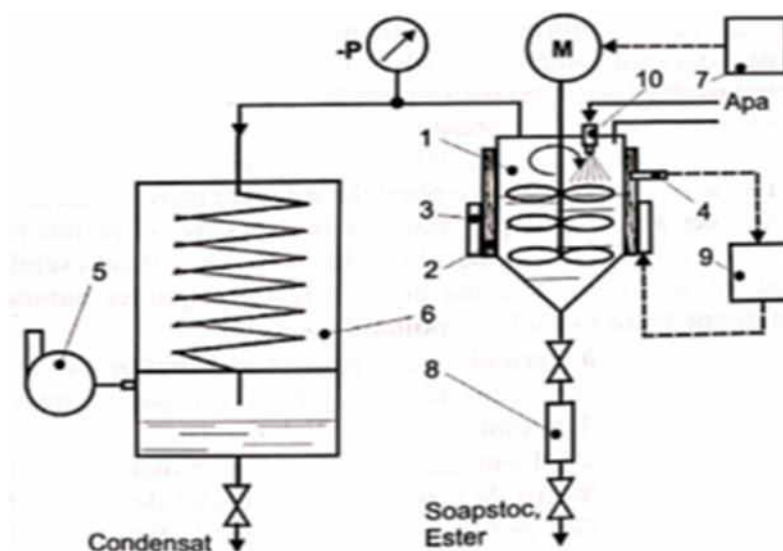


Fig. 1.11. Schema tehnologică a reactorului cu agitator mecanic
Sursa: Hăbășescu, I., Cerempei, V., et al., 2011

Agitarea reactanților dura 30 minute, apoi produsele obținute au fost separate în două faze prin sedimentarea timp de 2-3 ore a fazei grele (glicerinei și altor substanțe), biodieselul prezentând fracția ușoară. Pe parcursul cercetărilor și încercărilor de producție ale acestei tehnologii, temperatura a fost variată în limitele de 40-60 °C, viteza liniară de agitare a amestecului- de la 0,5 până la 3,5 m/s, au fost modificate și concentrațiile reactanților. Drept rezultat a fost obținerea biodieselului cu viscozitatea până la 7,8 mm²/s.

Încercările de lungă durată au identificat unele dezavantaje ale metodei date, principalul fiind în faptul că biodieselul cu gradul de esterificare înalt a fost posibil de obținut numai în cazul, în care s-a utilizat în calitate de materie primă ulei vegetal rafinat, cu mediul neutru și pur. Totodată, esterul obținut nu a corespuns standardelor europene de calitate EN 14214-2003, pentru că, în urma reacției, acesta a conținut săpunuri, care necesită purificare prin spălare, neutralizare etc (Hăbășescu, I., et al., 2011).

În continuare în laboratorul „Surse regenerabile de energie” ITA „Mecagro” a fost studiat și elaborat procedeul de obținere a biodieselului cu adăugarea glicerinei la uleiul de rapiță. Procedeul de obținere a esterului metilic include transesterificarea uleiului de rapiță cu alcool metilic, luate în raport stoichiometric în prezența hidroxidului de potasiu, separarea fazelor amestecului și îndepărtarea catalizatorului rezidual. Totodată, înainte de introducerea alcoolului metilic, la uleiul de rapiță s-au adăugat 4-5% de glicerină și s-a amestecat la temperatura de 25 °C, transesterificarea s-a realizat la temperatura de 60 °C și presiunea de 12-15 MPa, iar îndepărtarea catalizatorului s-a efectuat la temperatura de 85 °C prin spălare cu apă în cantitate de 10% din masa uleiului inițial. Produsul finit, obținut în urma transesterificării uleiului de rapiță cu un randament de 98% după spălarea și deshidratarea esterului, corespunde cerințelor normelor Europene EN 14214-2003.

Avantajele acestei tehnologii sunt următoarele: s-a exclus necesitatea repetării ciclului suplimentar de esterificare, s-a redus durata reacției până la un minut, fiind obținut ester metilic pur și neutru (Hăbășescu, I., Duca, Gh., Cerempei, V., et al., 2007). Totodată s-a redus cantitatea necesară de catalizator, ce a sporit reacția chimică de esterificare. Drept rezultat al cercetărilor, s-a stabilit că sporirea reacției de esterificare este posibilă cu utilizarea fenomenului de cavitație în construcția reactoarelor, care se utilizează pe larg în industria chimică, de prelucrare a produselor petroliere și industria alimentară.

Încercările experimentale ale reactoarelor (Fig. 1.12) au demonstrat o eficacitate înaltă de esterificare a uleiului de rapiță. Amestecul de reactanți lichizi (ulei, metanol catalizat), care se află doar timp de 2-3 secunde în reactor, se esterifica la un grad foarte înalt (98%), ceea ce e posibil de

obținut numai prin procedeul de esterificare în două trepte la utilizarea tehnologiei descrise ulterior (Hăbășescu, I., et al., 2011).



a)



b)

Fig. 1.12. Reactoare de esterificare cavitațională:

a) reactor cu o pompă cavitațională; b) reactor cu două trepte de cavitație

Însă cavitația este un fenomen dinamic, care apare într-un flux de lichid cu intensitate înaltă, ceea ce provoacă formarea unui vid parțial și a bulelor de gaze care, adunându-se produc vibrații și coroziune mecanică. Drept urmare a influenței cavitației are loc uzura intensă a elementelor componente din reactorul de esterificare. În afară de aceasta, reactoare de esterificare cavitațională, având intensitatea energetică sporită, necesită consumul majorat de energie, precum și utilizarea sistemelor de control automat, ceea ce pentru producerea loturilor experimentale de biodiesel nu este rațional.

În literatura tehnică sunt descrise un șir de procese de transesterificare și utilaje pentru realizarea acestora. Inginerii din SUA (Sheehan, J., et al., 1998) au elaborat procesul de transesterificare a uleiului de soia și utilajul pentru realizarea acestuia. Pentru transesterificare s-a folosit uleiul rafinat, curățat de fosfolipide și de acizi grași liberi. Reacția de transesterificare s-a realizat cu excesul dublu de metanol CH_3OH din cantitatea stoichiometrică, iar în calitate de catalizator s-a folosit metoxid de sodiu în cantitate de 10% din masa uleiului. Utilajul include un reactor de esterificare în două etape, cu un randament de obținere a esterilor de 89%. În reactorul de esterificare s-au utilizat temperaturi de $+50\text{ }^\circ\text{C}$, iar pentru condiționarea biodieselului temperatura a fost ridicată până la $+120\text{ }^\circ\text{C}$. Din 10455 kg de trigliceride, utilizate în calitate de materia primă, s-au obținut 10397 kg de esterii metilici. După îndepărtarea fazei de glicerină, esterii metilici au fost spălați cu apă în mai multe etape pentru înlăturarea rămășițelor de glicerină, de metanol și alți compuși solubili. După spălarea biodieselului apa a fost sedimentată și scursă, iar biodieselul obținut s-a uscat și s-a filtrat.

Cercetătorii din Ucraina (Редзюк, А. М., и др., 1999) au propus o metodă de fabricare a biocombustibilului pentru motoarele diesel, în care s-au utilizat în calitate de materie primă

uleiurile vegetale, preferențial din rapiță, care au fost amestecate în cantitate de 1000 litri cu o soluție de alcool metilic ($V=110$ litri) și catalizator (hidroxid de sodiu sau potasiu, $V=16$ litri). După reacția de transesterificare amestecul rezultat a fost separat în două fracții: fracția ușoară-biocombustibil și fracția grea- glicerină. Separarea s-a realizat în două etape: a) tratarea termică a amestecului; b) separarea acestuia în câmpul forțelor gravitaționale. În final se obțineau 1000 l de EMR (ester metilic), 110 l de glicerină.

Dezavantajul ultimelor două metode, propuse de specialiștii din SUA și din Ucraina constă în consumul sporit de alcool metilic și de catalizator, ce poate duce la reținerea rezidului acestora în biocombustibil sau la izolarea incompletă a glicerinei și a altor impurități din biocombustibil.

În Uniunea Europeană în ultimii 70 de ani a fost elaborat un șir de tehnologii și utilaje pentru obținerea biodieselului. Cea mai largă răspândire a găsit tehnologia firmei Ballestra S.p.A. (în forma inițială – Desmet Ballestra), care include mai multe etape distincte, fiind utilizat metanol în exces de 2:1 față de cantitatea stoichiometrică (Sheehan, J., et al., 1998). Reactoarele de transesterificare funcționează în vid la temperaturi sub $+50$ °C (Fig. 1.13). În calitate de materie primă s-au folosit uleiuri vegetale din rapiță, floarea-soarelui și reziduuri de grăsimi, fiind obținut biodiesel și glicerina brută (cu cantitatea specifică a glicerinei pure de 80%) (Ballestra S.p.A., 1995).

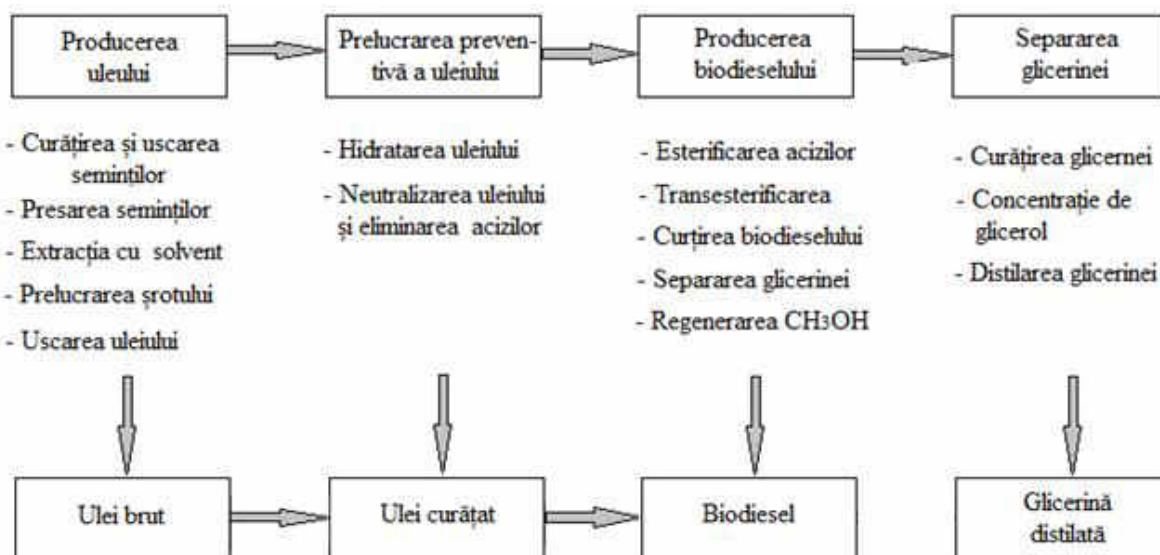


Fig. 1.13. Tehnologia producerii biodieselului a firmei Desmet Ballestra

Sursa: <http://desmetballestra.com>.

Specialiștii autohtoni de la Uzina Alimentarmaș au elaborat o metodă și utilajul experimental pentru obținerea biodieselului din uleiuri vegetale, care a inclus amestecarea uleiului vegetal cu o soluție prealabil preparată din alcoolul metilic și catalizator (hidroxid de sodiu sau potasiu). După reacția de transesterificare amestecul rezultat (emulsie) a fost separat în fracții (biocombustibil și glicerină). Este important, că până la inițierea reacției de transesterificare în

uleiul vegetal s-a determinat compoziția chimică a acizilor grași, ceea ce a permis de efectuat o dozare precisă a soluției comune de alcool metilic și catalizator, ținând cont de conținutul acidului în uleiul vegetal. Separarea amestecului de produse finale (emulsiei) rezultat din reacție s-a realizat imediat după amestecarea lor în câmpul de forță centrifugală (Сулейманов, А. Н., și Слюсаренко, В. В., 1999). Dezavantajele acestei metode provin din faptul, că reacția de transesterificare a fost realizată la temperatura scăzută (de cca 20 °C), ceea ce reduce viteza reacției de transesterificare, precum și necesită un separator costisitor pentru a separa amestecul. Toate cele menționate împreună majorează costul obținerii biocombustibilului.

Cercetările realizate în continuare la uzina Alimentarmaș de către specialiștii acestei uzine în colaborare cu specialiștii Universității Agrare de Stat din Moldova au permis să fie propusă o instalație industrială ciclică pentru producerea biodieselului, cu o productivitate de 3 t/zi sau 1 t/ciclu (ciclu – 8 ore). Conform procesului tehnologic utilizat (Fig. 1.14) cantitățile volumetricale ale reagenților au fost următoarele: metanol CH_3OH - 1:6, catalizator bazic KOH - 0,5% din cantitatea uleiului de rapiță. La etapa inițială metanolul s-a amestecat cu catalizatorul în reactorul cu agitator, obținându-se un amestec, numit metoxid. În continuare, pentru realizarea reacției de transesterificare metoxidul a fost amestecat cu uleiul de rapiță, folosind un mixer cavitațional de o construcție specială (Brevet de invenție MD nr. 3559 G2 din 30.04.2008).

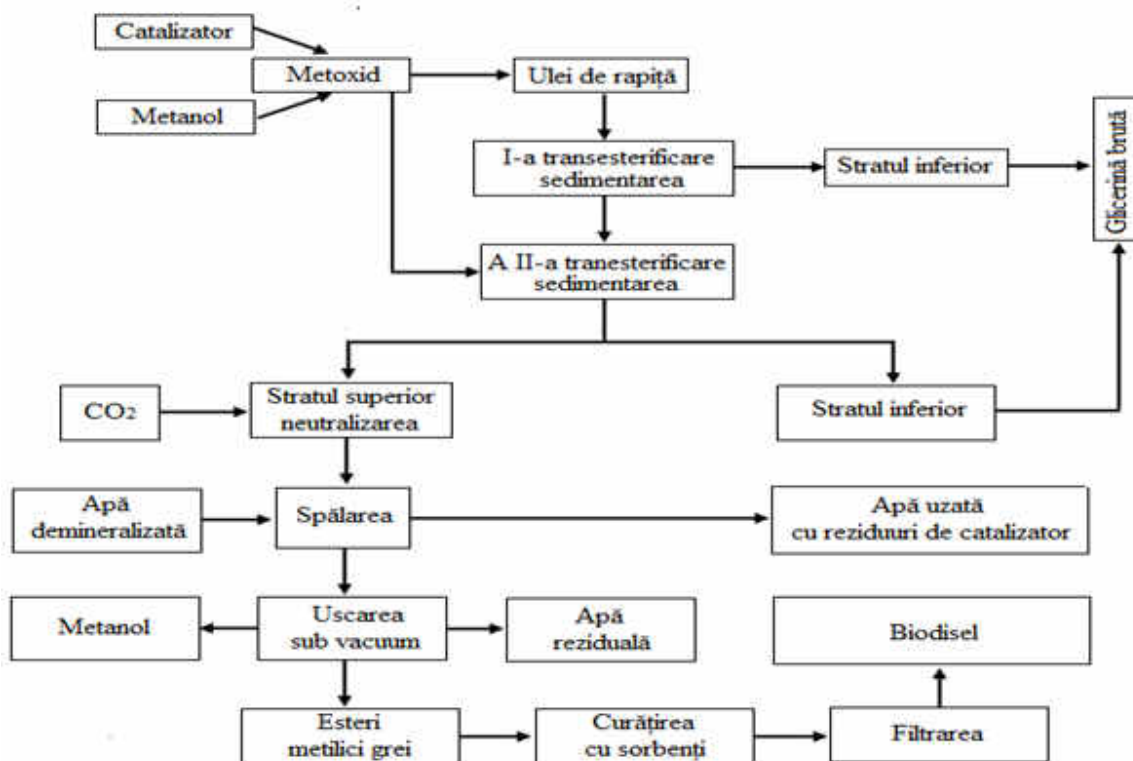


Fig. 1.14. Schema tehnologică a procesului de producere a biodieselului la Uzina Alimentarmaș

Pentru majorarea randamentului procesul de esterificare a fost realizat în două trepte: a) esterificare prealabilă cu eliminarea din stratul inferior al amestecului reactanților a celei mai mare părți a glicerinei în forma brută; b) transesterificare finală cu separarea biodieselului crud din stratul superior și a glicerinei crude. Produsele reacției (ester, glicerină) au fost separate în fracții prin sedimentare, iar esterii metilici obținuți au fost neutralizați chimic prin introducerea dioxidului de carbon, spălate cu apa demineralizată și supuse uscării în vid cu îndepărtarea catalizatorului KOH. Reacția de esterificare s-a realizat la temperatura de +63 °C.

Performanțele acestui utilaj (accesibilitatea diferitor tipuri de uleiuri, alegerea flexibilă a compoziției metoxidului funcție de compoziția materiei prime, valorile înalte ale randamentului de producție, ale fiabilității și durabilității de funcționare a utilajului, costul redus al procesului de transesterificare) au demonstrat că acesta prezintă soluția cea mai reușită pentru stadiul inițial de dezvoltare a industriei biodieselului în Republica Moldova. Din considerentele sus-menționate acest utilaj a fost ales pentru producerea biodieselului în prezenta teză.

1.3 Concluzii la capitolul 1

Analiza stadiului actual în domeniul producerii și al utilizării biocombustibililor pentru alimentarea MAC permite formularea următoarelor concluzii:

1. Intensificarea activității industriei mondiale și îmbunătățirea calității vieții umane din ultima perioadă de timp contribuie la majorarea accelerată a consumului de energie, ceea ce provoacă epuizarea rezervelor de combustibili fosili și impactul catastrofal al produselor de ardere asupra mediului ambiant. Conform politicilor internaționale, atenuarea și oprirea efectelor ecologice negative pot fi atinse prin scăderea intensității energetice a proceselor în viața social-economică și substituirea combustibililor tradiționali (fosili) cu surse alternative, puțin poluante și nepoluante. Republica Moldova, fiind unul din semnatarii Acordurilor internaționale privind protecția mediului ambiant, respectă angajamentele asumate și a aprobat un șir de documente de politici, inclusiv Strategia de mediu 2030, în care au fost stipulate acțiuni de atenuare la nivel național a schimbărilor climatice. Aceste măsuri includ, în special, diminuarea emisiilor GES și promovarea biocombustibililor lichizi (bioetanol, biodiesel) pentru alimentarea autovehiculelor, care sunt o sursă semnificativă de depoluare a mediului.

2. S-a demonstrat că, combustibilii alternativi, care sunt obținuți din grăsimile vegetale sau animaliere pentru alimentarea MAC, aparțin categoriei de combustibili regenerabili cu impactul neutru asupra mediului ambiant, deoarece materia primă pentru producția lor este masa vegetală sau reziduuri din industria alimentară. Cantitățile de substanțe nocive rezultate din combustia esterilor metilici ai uleiurilor vegetale (biodieselului) nu depășesc limitele maxim admisibile de

poluare a mediului stipulate în documentele normative de specialitate. În același timp proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale biodieselului sunt identice cu cele ale motorinei, ceea ce poate asigura combustia eficientă și performanțele energetice, economice înalte ale MAC prin dispersia necesară a jetului de combustibil în camera de ardere al cilindrului motorului, vaporizarea combustibilului în procesul formării amestecului, degajarea căldurii corespunzătoare.

3. S-a argumentat necesitatea utilizării pentru obținerea loturilor experimentale de biodiesel a metodei ciclice de esterificare a uleiurilor vegetale cu măsurarea prealabilă a acidității uleiului și adăugarea metoxidului în reactor în conformitate cu rezultatele măsurărilor, ceea ce permite utilizarea în calitate de materie primă a diferitor uleiuri și obținerea biodieselului de înaltă calitate conform cerințelor normelor europene EN 14214-2003 după condiționarea produsului reacției de esterificare.

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

2.1 Programul cercetărilor

Reieșind din obiectivele formulate în capitolul 1, a fost elaborată metodologia și programul complex, care întrunește în sine mai multe metodici de realizare a activităților de cercetare-inovare, aceste fiind direcționate spre atingerea scopului tezei și realizarea obiectivelor din capitolul 1. Ținând cont de rezultatele studiului din capitolul 1, în calitate de *obiecte ale cercetărilor* au servit: biocombustibili lichizi (biodiesel-esterul metilic din ulei de rapiță B100 și amestecuri biodiesel-motorină B20, B50); motoare cu aprindere prin comprimare de tip DC4 11,0/12,5. *Subiectul cercetărilor* a fost orientat spre argumentarea teoretică și experimentală a compoziției optime a amestecului biodiesel-motorină pentru alimentarea MAC în baza efectului tehnico-ecologic obținut.

Sarcinile impuse au fost realizate în mai multe etape:

În *prima etapă* a fost efectuată o analiză tehnico-științifică, care sugerează în mod convingător că, în actuala situație de mediu pe Terra, problema reducerii impactului ecologic negativ provenit de la gazele de eșapament ale motoarelor diesel devine din ce în ce mai importantă. Această constatare a permis elaborarea unui concept de cercetare și a protocolului de studiu, precum și selectarea corectă a obiectelor și obiectivelor de cercetare necesare substituirii combustibilului petrolier cu combustibilii proveniți din uleiurile vegetale pentru alimentarea MAC.

A doua etapă a fost dedicată argumentării teoretice a compoziției amestecului biodiesel-motorină în baza procesului de ardere realizat în MAC. În etapa respectivă se regăsesc și studiile de laborator ale proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale motorinei, biodieselului și amestecurilor biodiesel-motorină. Au fost determinate valorile densității și viscozității cinematice, ale punctului de inflamabilitate și temperaturii de tulburare/congelare a combustibililor sus-menționați.

Etapa a treia a fost orientată spre cercetarea comportării cuplei tribologice crom-fonta cenușie în diferite medii (motorină, biocombustibili B20, B100). În această etapă au fost stabilite valorile medii ale coeficientului de frecare și dinamica uzurii elementelor cuplei tribologice funcție de materialul lubrifiant utilizat.

În *etapa a patra* s-au realizat cercetările de stand ale motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină, biodiesel B100 și amestecuri biodiesel-motorină B20, B50. Pe parcursul etapei date au fost ridicate caracteristicile de viteză și de sarcină/de reglaj a motorului.

Un loc aparte în *etapa a patra* revine determinării proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor prelevat în cadrul cercetărilor de stand din motorul alimentat consecutiv cu motorină, amestecuri biodiesel-motorină (B20, B50) și biodiesel B100. Drept rezultat, au fost obținute valorile viscozității cinematice, alcalinității, conținutului de cenușă, conținutului de apă a uleiului de motor în acțiune.

Etapa a cincea de cercetare a fost consacrată stabilirii parametrilor ecologici urmare a funcționării MAC alimentat cu biocombustibili sus-menționați. Această etapă a permis evidențierea concentrației substanțelor poluante în gazele de eșapament generate din arderea biodieselului și a amestecurilor biodiesel-motorină, precum și impactul acestora asupra mediului ambiant.

De asemenea în *etapa a cincea* au fost realizate încercările de exploatare ale motoarelor din dotarea tractoarelor agricole, alimentate cu motorină și amestec biodiesel-motorină B20.

Metodologia realizării activităților în teză este prezentată în continuare în punctele 2.2.1-2.2.6 și în anexele A1- A2. Metode de cercetare din prezenta lucrare se bazează pe metoda comparativă.

Cercetările experimentale au fost realizate cu ajutorul instrumentelor și echipamentelor de măsurare, care au fost calibrate și verificate.

Drept rezultat al studiilor și cercetărilor efectuate în cadrul tezei a fost evaluat efectul tehnico-ecologic de la implementarea biocombustibilului cu compoziția optimă pentru alimentarea MAC și făcute recomandări de rigoare.

2.2 Metodici de cercetare, utilaje și echipamente folosite

2.2.1 Tehnologia și utilajul de esterificare a uleiurilor vegetale

În prezent, pentru obținerea biodieselului din uleiurile vegetale pe scară industrială sunt utilizate tehnologii, care au la bază reacția de transesterificare în cataliză bazică omogenă a trigliceridelor cu metanol, contribuind astfel la căpătarea esterului metilic al acizilor grași din componența uleiului vegetal (Geambașu, S., 2018; Cursaru, D. L., et al., 2013; Geambașu, S., 2012; Аблаев, А. Р., и др., 2006). Tehnologia ciclică cu utilizarea catalizatorului este cea mai simplă și sigură tehnologie pentru obținerea esterilor metilici ai acizilor grași. Unul din principalii obiecte de cercetare în prezenta teză este esterul metilic, numit în literatura de specialitate Biodiesel, a fost produs în baza tehnologiei menționate mai sus cu ajutorul instalației cu acțiune

ciclică M8-KPB-01, elaborată de specialiștii Societății pe Acțiuni „Alimentarmaș” în cooperare cu Universitatea Agrară de Stat din Moldova (actualmente Universitatea Tehnică a Moldovei) (Sliusarenco, V., 2006; Слюсаренко, В., и др., 2010) (Fig. 2.1).

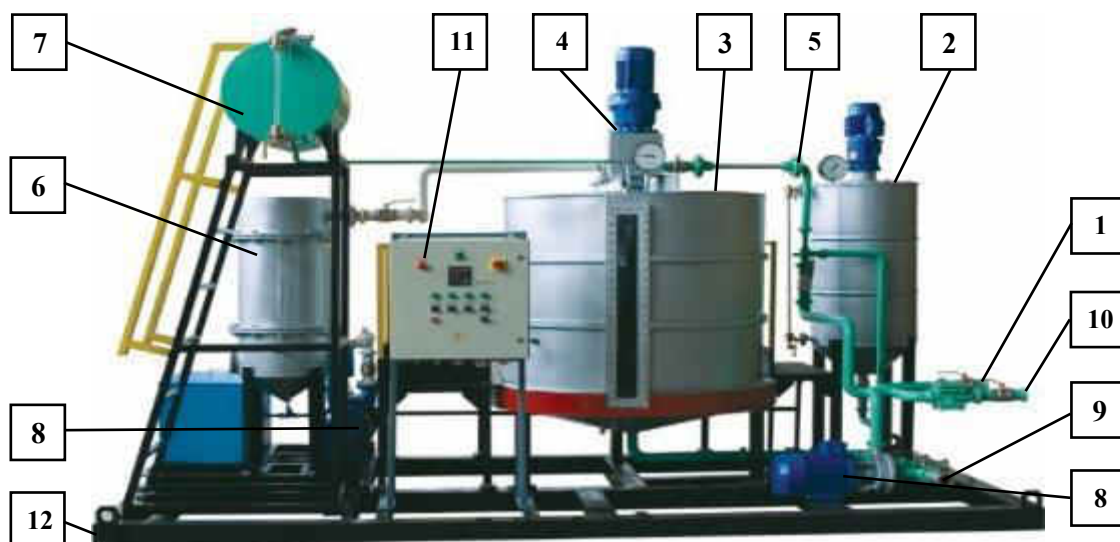


Fig. 2.1. Instalația de esterificare a uleiului vegetal M8-KPB-01 (vederea generală): 1- conductă admisie metanol; 2- vas pentru pregătirea metoxidului; 3- reactor; 4- agitator (amestecător); 5- ejector; 6- condensator; 7- vas pentru apă distilată; 8- pompe de vid; 9- conductă evacuare apă, glicerină; 10- conductă evacuare biodiesel; 11- panou de dirijare electrică; 12- baza instalației

Instalația de esterificare a uleiului vegetal M8-KPB-01 include conducta 1 pentru admisia uleiului vegetal din rezervor (pe desen nu este arătat) care, după măsurarea acidității lui, a fost transportat cu ajutorul pompei 8 în reactorul 3 în cantitatea necesară pentru realizarea unui ciclu (1t). Metoxidul (amestecul de metanol și de catalizator KOH) este preparat în vasul 2, ulterior, după umplerea reactorului 3 cu ulei a fost deschis ejectorul 5 pentru livrarea cantității necesare de metoxid (172kg) prin gravitație, utilizând conducta de legătură (verde, sus). Amestecarea reactanților a fost realizată de un agitator 4, iar după efectuarea primei etape de esterificare ($\tau \sim 5h$) glicerina brută a fost pompată din reactorul 3 prin conducta 9 (verde, jos), utilizând pompa 8, într-un rezervor (pe desen nu este arătat). După expirarea ciclului ($\tau = 8h$) cantitatea reziduală a glicerinei a fost pompată în rezervor (pe desen nu este arătat), iar produsul de bază, biodieselul, a fost transportat prin conducta 10 în secția de condiționare a acestuia (pe desen nu este arătată). Caracteristica tehnică a instalației M8-KPB-01 este redată în tabelul 2.1.

Studiile noastre de laborator au demonstrat, că proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale esterului metilic (biodieselului) (Tab. A1.1), obținut cu instalația M8-KPB-01, corespund cerințelor standardului european EN 14214:2003, ceea ce a fost confirmat ulterior și de Institutul

de Cercetări Științifice din Industria de Rafinare a Petrolului „MASMA”, Ucraina, în urma investigațiilor realizate (Слюсаренко, В., et al., 2010).

Tabelul 2.1. Caracteristica tehnică a instalației M8-KPB-01

| № d/o | Parametrii | Valoarea |
|--------------|--|----------------------|
| 1. | Productivitatea tehnică, [kg/h], nu mai puțin | 125 |
| 2. | Durata ciclului, [h] | 8 |
| 3. | Puterea instalată, [kW] | 60,1 |
| 4. | Dimensiuni de gabarit, [mm]: - lungimea - lățimea - înălțimea | 4160 2240 2620 |
| 5. | Masa, [kg] | 2600 |

2.2.2 Studiul proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor și a uleiului de motor

Pentru estimarea posibilității de utilizare a noilor combustibili în calitate de substituenți ai motorinei au fost studiate următoarele proprietăți fizico-chimice și de exploatare: densitatea, viscozitatea cinematică, temperatura de inflamare și temperatura de tulburare/congelare.

Studiul proprietăților fizico-chimice și de exploatare a fost realizat pentru următorii combustibili:

1. motorină SUPER DIESEL EURO 5 (GOST 305-82);
2. biodiesel B100 transesterificat din ulei de rapiță;
3. amestecuri formate din motorină și, respectiv, biodiesel în proporții [% vol.]:
B20 (80:20), B50 (50:50).

Proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor au fost măsurate, utilizând echipamente în conformitate cu standardele în vigoare în Republica Moldova, după cum urmează:

- a) densitatea absolută – conform GOST 3900-85, ISO 3838-2004 (densimetru, Fig. 2.2, a);
- b) viscozitatea cinematică – GOST 33-82, ISO 3104-2020 (viscozimetru, Fig. 2.2, b);
- c) temperatura de inflamare – GOST 6356-75, ISO 2719-2016 (aparat, model PVNE, Fig. 2.2, c);
- d) temperatura de tulburare/congelare – GOST 5066-91, ISO 3013-74 (aparat de congelare).

Densitatea absolută a combustibililor s-a determinat cu areometrul, model AH (GOST 18481-81), pentru produsele petroliere. Pentru determinarea viscozității cinemateice a fost ales un viscozimetru VPJ-2 (GOST 10028-81) cu diametrul capilarului 0,56 mm. Alegerea

viscozimetruului s-a bazat pe cerința, ca timpul de evacuare a combustibilului din epruvetă să fie de cel puțin 200 s. Viscositatea cinematică a fost determinată la o temperatură de +20 °C.



a)

b)

c)

Fig. 2.2. Echipamente utilizate pentru determinarea proprietăților combustibililor:

a) densitatea absolută; b) viscositatea cinematică; c) temperatura de inflamare

Esența determinării punctului de tulburare al combustibililor testați constă în răcirea profundă și în observarea vizuală a schimbării stării acestora. Temperatura la care se observă apariția primelor semne ale netransparenței în combustibilul testat este considerată ca punct de tulburare al probei de combustibil (GOST 5066-91, ISO 3013-74).

La determinarea temperaturii de tulburare/congelare s-a utilizat un congelator (model Dnepr) cu temperatura de răcire de -20 °C și un termometru (model TB-3-M1) pentru determinarea temperaturii în diapazonul de la -40...+50 °C. Probele (biocombustibili și motorină) de cercetare (Cap. 3., Fig. 3.8) și termometrul au fost introduse în congelator pentru stabilirea temperaturii de tulburare/congelare. Peste fiecare 15 minute s-a verificat indicația termometrului și starea combustibililor analizați până în momentul observării primelor cristale în biocombustibili, precum și vizualizarea cu ochiul liber a transparenței și mobilității acestora.

Motoarele cu ardere internă au în dotare un sistem de ungere cu ulei de motor, care execută un complex de funcții (lubrifierea, răcirea, curățarea pieselor cu care contactează), totodată asigurând înalte calități de rezistență anticorozivă și de etanșitate sporită ale îmbinărilor de piese. Ținând cont de importanța uleiurilor de motor, s-a efectuat cercetarea calității acestora în baza măsurării proprietăților fizico-chimice și de exploatare, care joacă un rol important în aprecierea utilității uleiului în vederea folosirii nemijlocite în motoare cu ardere internă. Proprietățile uleiurilor de motor au fost determinate în conformitate cu standardele în vigoare cu utilizarea echipamentelor respective (Fig. 2.3):

1. Viscositatea cinematică conform GOST 33-82, ISO 3104-2020, utilizând viscozimetru capilar de sticlă VPJ-2 (Fig. 2.3, a);
2. Conținutul de apă – GOST 2477-85, ISO 3733-76 (balanța, WA36 PRLT A14, Fig. 2.3, b);
3. Conținutul de cenușă – GOST 12417-94, ISO 3987-80 (cuptor electric, model SNOL 1.6.2.0.0.8/9-M1, Fig. 2.3, c);
4. Alcalinitatea – GOST 11362-96, ISO 6619-88 (pH-metru, model pH-metru-milivoltmetru pH-673, Fig. 2.3, d).

În timpul efectuării cercetărilor experimentale s-au luat următoarele probe:

- ulei de motor M-10G₂ (GOST 8581-2021; SAE 30; API CC) preconizat pentru motorul supus cercetărilor (proprietățile uleiului sunt prezentate în Tab. A2.1);
- ulei în acțiune din baia carterului motorului supus cercetărilor de stand după fiecare 20 moto-ore.

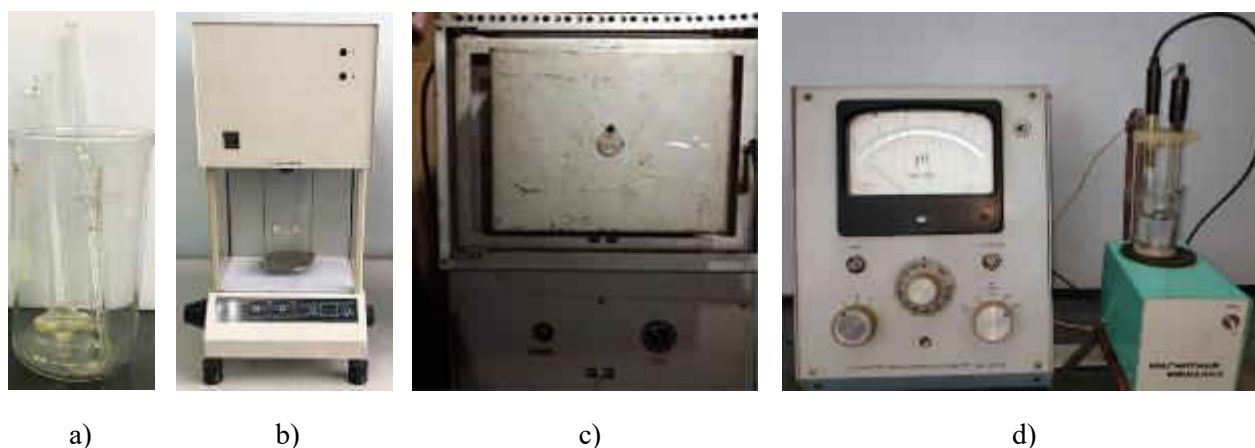


Fig. 2.3. Echipamente pentru determinarea proprietăților uleiului de motor:
a) viscositatea cinematică; b) conținutul de apă; c) conținutul de cenușă; d) alcalinitatea

Conținutul de apă în uleiul de motor s-a determinat conform standardului interstatal GOST 2477-85. Pentru aceasta, conținutul probei (ulei de motor și solvent) din vas (modelul K-1-500-29/32, executat conform GOST 25336-82) s-a adus la temperatura de fierbere și apoi a fost menținut la aceasta temperatură, astfel încât viteza de condensare a distilatului în recipient s-a stabilit în limita 2-5 picături/1s. Menținerea la temperatura fierberii a fost întreruptă imediat după ce nivelul volumului de apă din capcană nu s-a majorat, iar stratul superior al solventului a devenit complet transparent. Distilarea a durat de la 30 până la 60 de minute. Picăturile de apă rămase pe pereții tubului frigiderului au fost redirecționate în receptorul capcanei cu ajutorul unei tije de

sticlă. Volumul de apă obținut s-a măsurat până la cea mai apropiată diviziune superioară a părții din receptorul capcanei.

Conținutul de cenușă caracterizează concentrația aditivilor metalorganici în ulei și posibilitatea formării depunerilor, evidențiind gradul de purificare a uleiului. Se calculează prin cântărirea reziduuului obținut prin arderea de ulei, în prezența acidului sulfuric. Apa în ulei trebuie să se conțină cu valori minime, deoarece apa reduce capacitatea de lubrifiere a uleiului și produce coroziunea suprafețelor metalice. Prin urmare, în uleiul de motor conținutul de cenușă este limitat, valorile admisibile fiind stabilite în documentele normative, iar prezența apei în acest ulei nu este permisă (ISO 3987-80; GOST 12417-94).

Conținutul de cenușă în uleiul de motor s-a determinat conform metodei descrise în standardul interstatal GOST 12417-94. Pentru efectuarea măsurărilor creuzetul din porțelan (100 cm³) s-a introdus în cuptorul cu retortă timp de 10 minute pentru călire la temperatura de 775 °C. După aceasta recipientul a fost plasat într-un exsicator pentru răcire până la temperatura camerei și ulterior cântărit cu o eroare de cel mult 0,0001 g. Masa probei uleiului de motor a fost turnată în creuzet și încălzită pe un reșou electric, evitând stropirea, până în momentul de aprindere la contactul cu flacăra ($t=210$ °C). Menținerea temperaturii la un astfel de nivel este necesară întrucât proba continua să ardă cu o viteză moderată constantă. După încetarea arderii, se continuă încălzirea masei probei până la încetarea emiterii fumului.

După aceasta creuzetul din porțelan s-a răcit la temperatura camerei, masa reziduală din el fiind umezită complet prin adăugarea picăturilor de acid sulfuric concentrat. În continuare creuzetul a fost încălzit din nou pe reșoul electric, evitând stropirea și menținând temperatura probei până încetarea emisiei de fum. Recipientul din porțelan din nou a fost introdus în cuptorul cu retortă, a cărui temperatură a fost de 775 °C, menținându-se până la momentul când carbonul a fost complet sau aproape complet oxidat ($\tau\sim 1$ oră). După răcirea creuzetului la temperatura aerului din laborator s-au adăugat 3 picături de apă și 10 picături de soluție de acid sulfuric pentru a umezi reziduu rămas. Recipientul a fost încălzit din nou în cuptorul cu retortă la temperatura de 775 °C și s-a călit la această temperatură timp de 30 de minute. Proba a fost răcită într-un exsicator și apoi a fost cântărit cu o eroare de cel mult 0,0001 g.

Alcalinitatea uleiului de motor s-a determinat în conformitate cu GOST 11362-96 cu ajutorul pH-metrului-milivoltmetru de laborator, model pH-673. Proba prelevată a uleiului de motor a fost dozată în cantitate de $4\pm 0,4$ g cu eroarea relativă- $\leq 0,02$ g, ulterior uscată și diluată cu 50 ml de solvent (30% alcool etilic, 70% benzen). Soluția obținută a fost titrată cu acid clorhidric, folosind o pereche de electrozi de laborator din sticlă de tip creion (lungimea-160 mm, diametru-13 mm) (model ЭСЛ-63-07, ТУ 25.05.2234-77) și electrozi de referință (comparativi) cu clorură

de argint (model ЭБЖ-1М3) cu lungimea electrodului 177 mm și diametrul părții submersibile a electrodului de 7 mm. Paharul cu soluția titrată a fost instalat pe un agitator magnetic, fiind adăugat acid (HCl) în soluția de ulei cu ajutorul unei micro biurete. Alcalinitatea uleiului de motor s-a determinat, reieșind din volumul acidului clorhidric folosit pentru a descompune componentele alcaline ale aditivului. După determinarea cantității de acid clorhidric pentru neutralizarea soluției, electrozii au fost introduși într-un pahar cu apă distilată curată.

2.2.3 Cercetări de stand ale MAC alimentat cu biodiesel

2.2.3.1 Echipamente și materiale utilizate la ridicarea caracteristicilor de stand

Cercetările de stand au fost realizate pe un motor de tip DC4 11,0/12,5 (model D-241L, producător - Republica Belarus) cu caracteristici tehnico-economice prezentate în tabelul A2.2. Motorul cercetat a fost alimentat cu combustibilul petrolier standard (motorină, GOST 305-82) și cel alternativ (biocombustibil), care a fost prezentat de biodieselul pur B100, obținut prin metoda de transesterificare din ulei de rapiță, și amestecuri biodiesel-motorină B20, B50.

Cercetările experimentale ale motorului DC4 11,0/12,5 au fost realizate conform standardelor GOST 18509-88, GOST 17.2.02-98 pe standul KI-5543 (Fig. 2.4) din dotarea laboratorului de cercetări Studiul MAI din cadrul catedrei Ingineria Transportului Auto și Tractoare, facultatea Ingineria Agrară și Transport Auto, UASM (actualmente - UTM). Sistemul de ungere a funcționat cu uleiul din grupa G (SAE 30; API CC, GOST 8581-2021) preconizat pentru motorul D-241L cu respectivul pachet de aditivi.

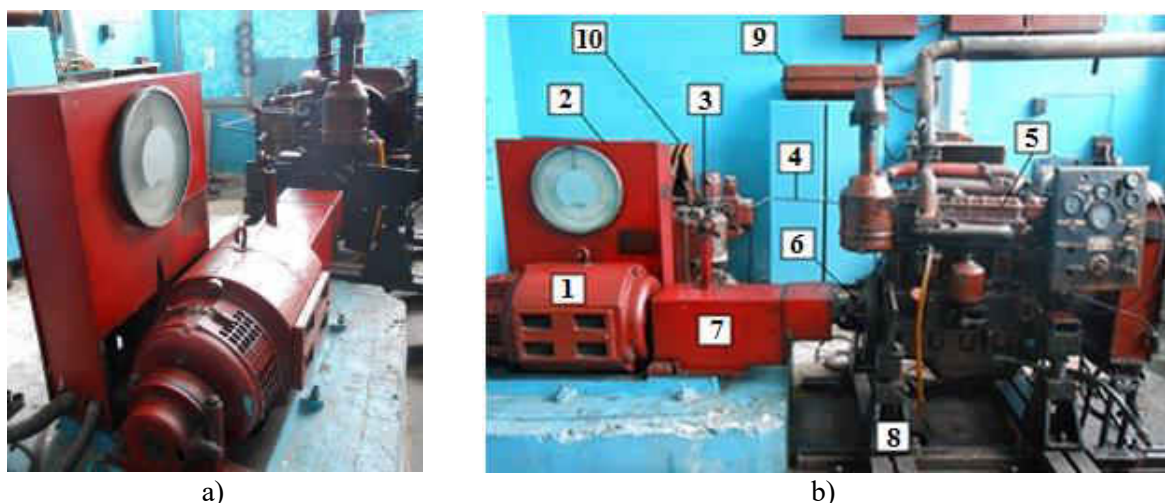


Fig. 2.4. Stand KI-5543 pentru cercetarea motorului: a) vederea laterală; b) vederea din față; 1- mașina electrică de balansare; 2- panou informativ a mecanismului de sarcină; 3- pârghia de dirijare a debitului de combustibil; 4- tija pârghiei; 5- motor DC4 11,0/12,5; 6- arbore cardanic; 7- mantaua de protecție; 8- baza portantă; 9- sistem de alimentare a motorului; 10- reostat reglabil

În componența standului KI-5543 intră următoarele elemente (Fig. 2.4): mașină electrică asincronă 1 de creare a sarcinii, baza portantă 8 pentru montarea motorului cercetat 5, reostat reglabil 10 cu soluția de sare, sistem de alimentare 9 a motorului, panou electric de distribuție, panou de comandă și un sistem de achiziție de date 2, care a permis măsurarea valorilor următorilor parametri tehnico-economici conform GOST 18509-88: forța de frânare și turația arborelui cotit al motorului cercetat, presiunea uleiului în sistemul de ungere al MAC, consumul de combustibil și de aer, temperatura și toxicitatea gazelor de eșapament, durata experimentului, temperatura lichidului de răcire MAC și a mediului ambiant, presiunea atmosferică, umiditatea aerului.

Alimentarea cu combustibil s-a realizat dintr-un rezervor 9 suspendat pe peretele laboratorului, utilizând echipamente 3, 4 de reglare a debitului de combustibil. Pe lângă componente sus-menționate sistemul pentru alimentarea și măsurarea consumului de combustibil include și un cântar electronic, un robinet cu trei căi, conectat prin conducte cu rezervorul 9 și aparatajele respective din dotarea motorului cercetat. Standul experimental (Fig. 2.4), cu caracteristicile tehnice prezentate în tabelul A2.3, este destinat activităților de cercetare, încercare și rodare a motoarelor de tractoare. Pentru menținerea regimurilor de funcționare a motorului, standul este dotat cu o frâna electrică, componenta de bază a cărei este mașina asincronă 1. Frâna electrică s-a folosit în cadrul cercetărilor nu numai pentru frânarea, dar și pentru pornirea motorului cu ardere internă, precum și pentru determinarea puterii la pierderile mecanice.

Mașina electrică de balansare reprezintă în sine un motor electric 1 cu un rotor fazic suspendat pe suporturi, fixate pe baza portantă 8. Această executare constructivă îi asigură motorului electric o balansare în raport cu axa longitudinală a standului. La funcționarea mașinii 1 se creează un moment reactiv care rotește rotorul motorului electric, unit cu mecanismul oscilant de cântărire/măsurare a sarcinii care se transmite de la arborele cotit al MAC 5 către rotorul mașinii electrice de balansare 1 și viceversa. Ultimul fenomen a avut loc, deoarece pe standul KI-5543 mașina electrică funcționează în două regimuri: ca motor electric și ca generator. În ultimul caz mașina electrică 1 produce energie electrică, din care o parte s-a furnizat în rețeaua electrică de utilizare comună.

Datorită prezenței mașinii electrice asincrone 1, care funcționează în regim de generator în timpul frânării, puterea motorului cercetat a fost consumată de aceasta frână, obținându-se astfel un cuplu de rezistență reglabil. Reostatul reglabil 10 cu lichidul de lucru servește pentru reglarea frecvenței de rotație a rotorului la pornirea și funcționarea motorului electric, precum și reglarea sarcinii în regim de generator.

Caracteristica energetico-dinamică a standului KI-5543, reflectată de o dependență grafică: puterea motorului cercetat $N_e = f(\text{turații } n \text{ ale arborelui cotit})$ (Fig. 2.5), demonstrează posibilitatea

de a efectua pe stand cercetările experimentale ale motorului DC4 11,0/12,5 în totalmente, cât dinamic, atât și după putere. Acest stand permite încărcarea totală cu sarcină a motorului supus cercetării, existând posibilitatea ca toată energia mecanică dezvoltată de MAC să fie asimilată și convertită în energie electrică de curent alternativ trifazat.

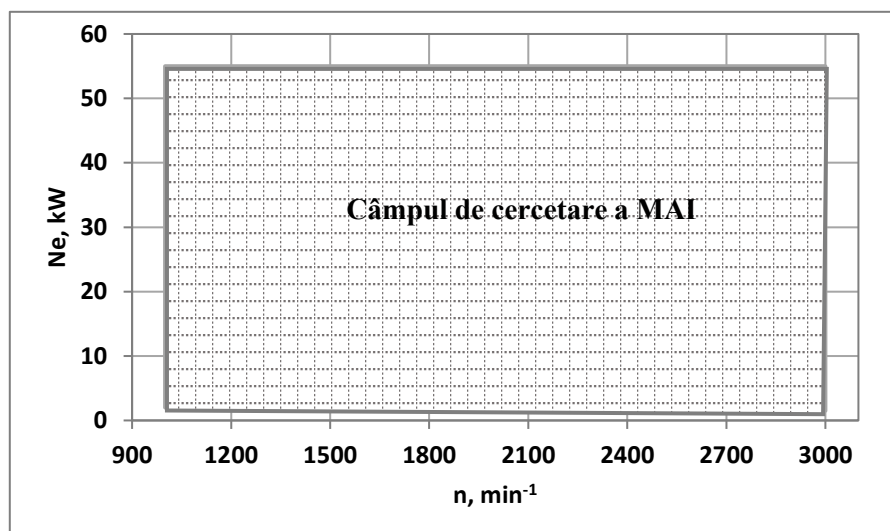


Fig. 2.5. Caracteristica energico-dinamică a frâneli standului KI-5543

Pentru măsurarea și înregistrarea valorilor parametrilor tehnico-economici în cadrul cercetărilor de stand s-au utilizat dispozitive, aparate de măsură și control, care sunt montate pe panoul de comandă și care intră în componența standului propriu zis (Tab. A2.4). Presiunea atmosferică, temperatura și umiditatea aerului în laborator, unde se afla standul de încercări, a corespuns valorilor normale ale factorilor mediului înconjurător, reglementate de standardul GOST 15150-69 pentru exploatarea motoarelor cu îndeplinirea condițiilor de climă temperată.

În timpul efectuării cercetărilor experimentale parametrii condițiilor atmosferice au variat în următoarele limite:

- presiunea atmosferică 740 ... 760 mm Hg;
- temperatura aerului 18 ... 20°C;
- umiditate relativă a aerului 50%.

Valorile erorilor admisibile în procesul efectuării măsurărilor au fost următoarele: momentul motor- $\pm 0,005M_{e\max}$; frecvența de rotație a arborelui cotit- $\pm 0,005n_{\text{nom}}$; în sistemul de ungere a motorului presiunea uleiului- $\pm 0,02$ MPa și temperatura uleiului- $\pm 3,0$ °C; consumul absolut de combustibil- $\pm 0,005G_h \text{ nom}$; temperatura lichidului de răcire- $\pm 3,0$ °C.

2.2.3.2 Metodologia cercetărilor de stand

Scopul cercetărilor de stand a constat în identificarea performanțelor tehnico-economice și ecologice ale motorului cu aprindere prin comprimare alimentat cu motorină (mator) și biocombustibili experimental (amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 și biodiesel B100). Pentru realizarea scopului s-au măsurat și au fost supuse analizei comparative parametrii energetici, economici și ecologici de funcționare a motorului DC4 11,0/12,5, ceea ce a permis de a tranșa regimuri de funcționare eficiente a MAC, alimentat cu biocombustibil. Calibrarea echipamentelor de măsurare, utilizate în cercetări de stand, s-a efectuat la etapa inițială a activităților.

Înainte de a îndeplini cercetările pe stand s-a efectuat rodajul motorului în decurs de 10 moto-ore (Tab. 2.2) conform regimului recomandat de uzina producătoare. Rodarea la cald, fără sarcină, s-a făcut prin conectarea motorului la dispozitive de alimentare cu combustibil, pornirea motorului termic fiind realizată cu motorul electric din dotarea standului. Pe parcursul rodării presiunea uleiului de motor a fost în limita 0,2-0,5 MPa, iar temperatura uleiului și a lichidului de răcire a motorului a variat în limita 70-90 °C.

Tabelul 2.2. Algoritmul cercetărilor de stand ale MAC DC4 11,0/12,5, etapa 2

| Nr. d/o | Stadii de cercetare | Metoda de cercetare |
|---------|-----------------------------------|--|
| 1. | Rodaj | 10 moto-ore cu motorină GOST 305-82, conform instrucțiunii de exploatare |
| 2. | Alimentarea cu motorină | 100 moto-ore, conform standardului GOST 18509-88 |
| 3. | Alimentarea cu amestec B20 | 100 moto-ore, după metoda propusă în teză |
| 4. | Alimentarea cu amestec B50 | 100 moto-ore, după metoda propusă în teză |
| 5. | Alimentarea cu biodiesel pur B100 | 100 moto-ore, după metoda propusă în teză |

După rodaj motorul a fost dezamblat pentru determinarea stării tehnice a pieselor cu efectuarea micrometraajului, marcării acestora și cântăririi segmentilor de piston, precum și a cuzineților. După măsurările efectuate motorul DC4 11,0/12,5 a fost asamblat, executând reglarea supapelor mecanismului de distribuție a gazelor și spălarea sistemului de ungere, precum și schimbarea uleiului din baia de carter.

Întregul volum al activităților de cercetare pe stand a fost executat în următoarea consecutivitate:

1. Încălzirea motorului;
2. Cercetarea motorului cu măsurarea indicatorilor de performanță.

În procesul de desfășurare a etapei 1 motorul a fost pornit, utilizând standul KI-5543. Ulterior, timp de 10-15 minute, motorul a funcționat în regimul mersului în gol (ralanti) la o frecvență de rotație de 1000-1200 min⁻¹ cu perdeaua închisă a radiatorului. În acest timp, temperatura lichidului din sistemul de răcire se ridică până la valoarea de 60 °C. La etapa pornirii și încălzirii motorul D-241L în fiecare ciclu s-a alimentat cu motorină.

La etapa a doua, de măsurare a indicatorilor de performanță a motorului, a fost realizată ridicarea caracteristicilor de viteză și de sarcină în conformitate cu GOST 18509-88. Ridicarea caracteristicilor de viteză externă și de regulator ale motorului s-a efectuat la temperatura lichidului de răcire de 80-90 °C și presiunea în sistemul de ungere 0,28-0,31 MPa (2,8-3,1 bar). În baza rezultatelor obținute la etapa doua, de ridicare a caracteristicilor sus-menționate, s-au trasat dependențele de putere, momentul motor și consumul specific efectiv al combustibilului funcție de turația arborelui cotit, obținându-se dependența respectivă $P_e, M_t, g_e = f(n)$.

Caracteristicile de sarcină și de viteză au fost ridicate la alimentarea motorului cercetat cu combustibil care conținea esterul metilic cu diferite fracții volumetrice (0% vol.; 20% vol.; 50% vol., 100% vol.). Ridicarea caracteristicilor s-a realizat la regimul nominal și la sarcini parțiale de funcționare a motorului.

În etapa a treia a fost realizată funcționarea motorului pe ramura corectorului, la frecvența de rotație a arborelui cotit care corespunde cuplului maxim, fiind asigurate cele mai mari valori ale presiunii medii indicate și ale celei din ciclu de lucru. Pentru motorul DC4 11,0/12,5 etapa sus-menționată se caracterizează cu următoarele valori ai parametrilor de funcționare:

- turația arborelui cotit – $n = 1400-1420 \text{ min}^{-1}$;
- indicația dispozitivului de măsurare a forței de frânare – $F_{fr} = 25-26 \text{ kgf}$ (echivalent cu valoarea momentului motor $M_t = 185-190 \text{ Nm}$);
- temperatura lichidului de răcire – $t = 80-90 \text{ °C}$;
- presiunea în sistemul de ungere a motorului – $p_u = 0,28-0,31 \text{ MPa}$.

În etapa respectivă, motorul cercetat a funcționat o perioadă de timp cea mai îndelungată din durata totală a ciclului. Cu valorile menționate mai sus ale parametrilor de funcționare din etapa a treia puterea și momentul motor dezvoltat de motorul cercetat au alcătuit 34,5-36,2 kW și, respectiv, 185-190 N·m, ceea ce corespunde aproximativ 70% din sarcina motorului la acest regim de viteză.

Activitățile de cercetare experimentală a indicatorilor de performanță a motorului, alimentat cu motorină, amestecuri biodiesel-motorină B20; B50 și biodiesel B100 au avut durata totală de 400 moto-ore în baza algoritmului prezentat în tabelul 2.2.

Prelucrarea rezultatelor cercetărilor motorului DC4 11,0/12,5 pe standul KI-5543 cu lungimea brațului a pârghiei de frânare $L = 0,716$ m include calculul momentului efectiv conform următoarei expresii:

$$M_t = 7,016 \cdot F_{fr}, \quad (2.1)$$

unde M_t - momentul efectiv al motorului, [N·m];

F_{fr} – indicația mecanismului de cântărire a frânei, [kgf] (N/9,81).

Prin urmare, puterea efectivă a motorului a fost determinată din condiția, că arborele cotit al motorului a fost conectat în mod direct la arborele de frânare, din următoarea expresie:

$$N_e = 0,735 \cdot F_{fr} \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

unde N_e – puterea efectivă, [kW];

n – turația arborelui cotit, [min^{-1}] ($\text{s}^{-1}/60$).

Consumul orar de combustibil s-a măsurat prin metoda de cântărire:

$$G_h = \frac{3,6 \cdot \Delta G}{\tau_s}, \quad (2.3)$$

unde G_h – consumul orar de combustibil, [kg/h];

ΔG – masa probei de combustibil consumat la un experiment, [g] ($\text{kg}/10^{-3}$);

τ_s – durata de realizare a experimentului, [s].

Consumul specific de combustibil s-a determinat după GOST 18509-88:

$$g_e = \frac{10^3 \cdot G_h}{N_e}, [\text{g/kwh}] \quad (2.4)$$

În baza rezultatelor obținute au fost analizate performanțele energetice și economice ale motorului DC4 11,0/12,5, alimentat cu motorină, amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 și biodiesel B100. Analiza sus-menționată a fost efectuată în capitolul 3 din prezenta teză.

2.2.4 Evaluarea componenței gazelor de eșapament

Scopul cercetărilor la aceasta etapă constă în determinarea conținutului componentelor toxice în gazele de eșapament ale MAC alimentat cu motorină, amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 și biodiesel B100, cu varierea sarcinii motorului în următoarele limite: 0%, 25%, 50% și 75% din puterea nominală.

Studiul privind evaluarea componentelor poluante ale motorului, rezultate din arderea combustibililor, s-a efectuat în conformitate cu standardul GOST 17.2.02-98.

În cadrul laboratorului catedrei Ingineria Transportului Auto și Tractoare s-au realizat cercetări experimentale privind detectarea poluanților chimici, utilizând analizatorul de gaze de tipul Cartec, seria CET 2000 (producător – Cartec GmbH, Germania) (Fig. 2.6 a, b).



a)



b)

Fig. 2.6. Analizatorul de gaze Cartec, seria CET 2000: a) analizatorul de gaze; b) sondă de prelevare a mostrelor gazelor de eșapament

Analizatorul de gaze din seria Cartec, CET 2000 (modificările C, B, D) este destinat pentru a determina conținutul de dioxid de carbon (CO_2), monoxid de carbon (CO), cantitatea de hidrocarburi (HC) din gazele de eșapament ale motoarelor cu combustie internă care funcționează pe benzină, motorină și gaz, cu calcularea coeficientului λ și a valorilor de referință după temperatura uleiului din motor, numărul de rotații ale arborelui cotit și conținutul de oxigen (O_2).

Ajustajul pentru determinarea fumului permite identificarea fumeșării gazelor de eșapament ale vehiculelor cu motoare diesel. Caracteristicile tehnice și metrologice ale analizatorului sunt prezentate în tabelul A2.5.

Analizatorul de gaze din seria Cartec CET 2000 poate fi utilizat la întreprinderile de transport auto, la uzinele de producere a automobilelor și la stațiile de service auto.

Analizatorul de gaze din seria CET 2000 determină conținutul de CO/ CO_2 /CH bazat pe principiul absorbției selective pentru fiecare gaz în zona infraroșu. Fluxul de radiații caracteristic regiunilor ale spectrului este emis de filtre optice transformate în semnale electrice proporționale cu concentrația de CO și CH.

Înregistrarea conținutului de oxigen este efectuată de un senzor electrochimic, al cărui semnal este proporțional cu procentul de oxigen, conținutul acestuia fiind o referință. Există o

funcție pentru determinarea temperaturii uleiului de motor și a frecvenței de rotație a arborelui cotit al motorului.

Analizatorul de gaze din seria CET 2000 este montat pe un suport mobil, echipat cu o interfață RS 232, software, un ecran LCD și o imprimantă pentru imprimarea rezultatelor măsurării (Fig. 2.6).

Pe baza rezultatelor obținute în urma cercetărilor efectuate s-au analizat (vezi Cap. 4) dependențele conținutului de noxe din gazele de eșapament a motorului cu ardere internă alimentat cu motorină, amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 și biodiesel B100 în funcție de turația arborelui cotit și sarcina motorului.

2.2.5 Metodologia de cercetare a cuplei tribologice

Cercetările experimentale ale cuplei tribologice în mediu de motorină și biocombustibili (amestec B20, biodiesel pur B100) s-au realizat în condiții de laborator pe instalația MVPD-1KPI (Fig. 2.7, a) din dotarea laboratorului de cercetări tribologice UTM, după metoda propusă de specialiștii recunoscuți în domeniul tribologiei (Аждер, В. В., и др., 1988; Кроптору, Д. М., и др., 1992).

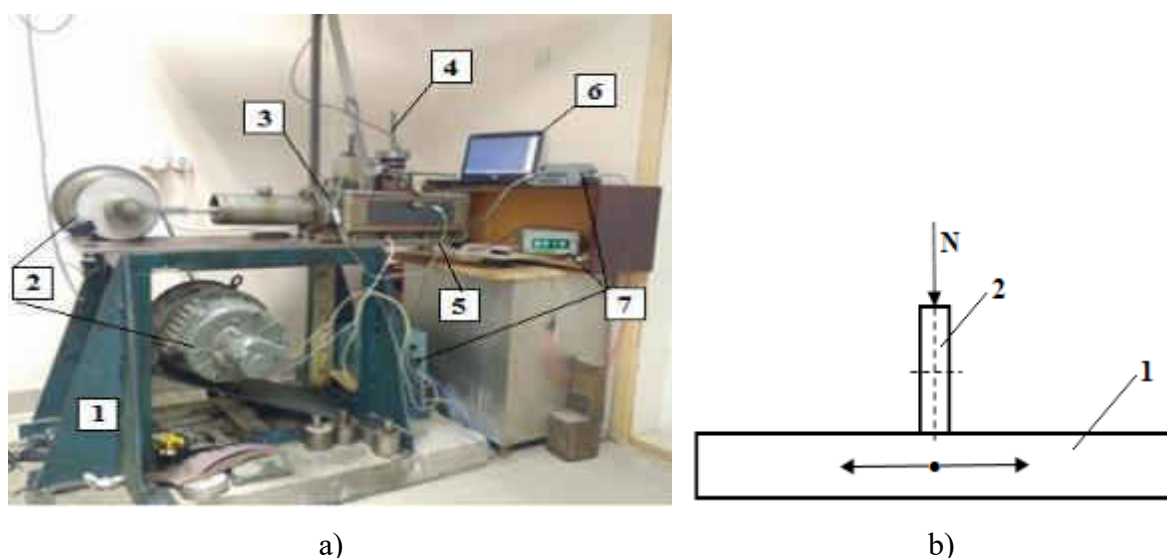


Fig. 2.7. Instalația de cercetare a cuplei tribologice: a) elemente constructive:

- 1 - cadru; 2 - unitate de acționare; 3 - dispozitiv de testare a cuplei tribologice cu mișcare alternativă; 4 - dispozitiv de încărcare a sarcinii; 5 – dispozitiv de dozare a combustibilului;
 - 6 - calculator; 7 - bloc al complexului de software electronic;
- b) schema cercetării cuplei tribologice: 1- corp, suprafață cromată; 2- contracorp, FC

Cercetările cuplei tribologice, care imitează condițiile reale de funcționare a cuplei cămașa cilindrului-segmenții de piston au fost efectuate pe o mașină de frecare cu mișcare alternativă cu

frecvența de $n = 3$ curse duble/sec (180 curse duble/min) conform schemei reprezentate în figura 2.7, b. Corpul cercetat (Fig. 2.8 a) a fost confecționat în formă de paralelipiped dreptunghic din oțel 20 GOST 1050-2013 (2C22, EN 10083-2:2006), iar contracorpul- din fonta cenușie CЧ 21 GOST 1412-85; (220, BS 1452:1990) (Fig. 2.8 b). Lățimea laturii contracorpului, care se afla în contact cu suprafața cromată a corpului, a constituit 2 mm, în timp ce aria suprafeței de contact în cupla de frecare a alcătuit 20 mm^2 .

Suprafața de lucru a corpului a fost acoperită prin metoda galvanică cu un strat de crom, având grosimea de 0,1mm. Suprafețele contactate ale corpului și contracorpului au avut după șlefuire rugozitatea $R_a = 0,20 \pm 0,02 \text{ }\mu\text{m}$, care este indicată pentru suprafețele de lucru ale cămășii cilindrului și segmentilor de piston. Respectarea condițiilor sus-menționate a permis de realizat în cadrul cercetărilor tribologice modelarea efectivă a condițiilor de funcționare în MAC a cuplei segmentul de compresie al pistonului- cămașa cilindrului. Alegerea segmentului de compresie pentru cercetări tribologice se argumentează prin faptul că acesta suportă sarcini termo-dinamice cu valorile cele mai înalte din tot ansamblu de segmenti.



Fig. 2.8. Elementele cuplei tribologice cercetate: a) corp cu suprafața cromată; b) contracorp- fonta cenușie

Pe cadrul 1 al instalației de cercetare a cuplei tribologice este montat un ansamblu de acționare 2 (Fig. 2.7), care include motorul electric, transmisia cu curea și mecanismul bielă-manivelă. De la mecanismul sus-menționat mișcarea alternativă se transmite către un dispozitiv 3 de testare a cuplei tribologice, unde sunt instalate elementele cuplei: corp și contracorp. Dispozitivul 4 îndeplinește încărcarea cu sarcina constantă a elementelor cuplei tribologice. Lubrifiantul (combustibilul cercetat) este dozat de dispozitivul 5.

În întregul proces de cercetare a cuplei tribologice în zona de frecare s-a dozat în cantități reglementate combustibilul cu care a fost alimentat MAC: la I-a etapă - motorină pură; la etapa a II-a - B20 (motorină 80% + biodiesel 20%) și la a III-a etapă - B100 (biodiesel pur). Sarcină aplicată asupra cuplei de frecare avea valoare de 2 kgf (20N). Doza alimentată a combustibilului pe suprafața de frecare a constituit o picătură la fiecare 6 secunde, fiind asigurată cu ajutorul unei picurătoare utilizate în proceduri medicale. Durata unei etape de cercetare a constituit 400.000 de curse duble (cicluri), în timp ce s-au înregistrat valorile parametrilor tribologici (numărul de

cicluri, temperatura în zona de frecare, forța de frecare) cu ajutorul unui sistem electronic de comandă și control SECC din dotarea mașinii de frecare. Verificarea masei corpului și contracorpului s-a realizat după fiecare 50.000 curse duble. Părțile componente ale SECC sunt senzorii și traductorii respectivi, un bloc electronic 7 (Fig. 2.7), monitorizat de soft-ul corespunzător, cu procesorul în baza laptop-ului 6, model Dell Inspiron.

Înainte și după realizarea fiecărui ciclu de cercetare a cuplei tribologice cu mașina de frecare MVPD-1KPI, probele supuse testării (Fig. 2.8 a, b) au fost cântărite cu ajutorul balanței analitice VLA-200 pentru determinarea pierderii în masă (uzurii) a acestora. Preventiv, înainte de cântărire, corpul și contracorpul au fost degresate cu soluții de Nefras-C50/170 (GOST 8505-80) și alcool sanitar C₂H₅OH (GOST 5962-2013).

Măsurarea microdurității suprafeței cromate s-a realizat după GOST 9450-76 cu ajutorul unui tester de microduritate PMT-3. Metoda de determinare a microdurității H_μ s-a bazat pe măsurarea diagonalei amprentei piramidei în materialul cercetat, forța aplicată având valoarea de 1N. În calitate de indenter s-a utilizat o piramidă din diamant cu baza pătrată, având un unghi dintre două fețe laterale opuse de 136°.

Măsurarea rugozității suprafețelor probelor (corp - suprafață cromată și contracorp - FC) s-a realizat după GOST 2789-83, utilizând un profilograf-profilometru de tipul SURTRONIC-25 (producător- firma TAYLOR HOBSON, SUA). Funcționarea aparatului se bazează pe principiul palpării neregularităților suprafeței investigate cu un palpator cu vârf de diamant și transformării oscilațiilor mecanice rezultate ale palpatorului în modificarea tensiunii, proporționale acestor oscilații, ce sunt amplificate și convertite de unitatea electronică. Valorile rezultatelor obținute sunt afișate pe ecranul dispozitivului sau, prin intermediul unui soft, datele pot fi salvate într-un fișier pe un calculator.

2.2.6 Încercările de exploatare ale MAC alimentate cu biodiesel

Încercările de exploatare au încununat activitățile de cercetare-inovare în cadrul prezentei lucrări și au urmărit următoarele obiective:

- verificarea în condițiile de producție agricolă a performanțelor tehnico-economice ale motoarelor diesel, alimentate cu biocombustibilul B20 și produs petrolier (motorină);
- efectuarea unui studiu relativ privind modificarea proprietăților uleiului de motor în acțiune la motoare încercate;
- formularea recomandărilor de exploatare practică a motoarelor alimentate cu biodiesel.

Pentru realizarea încercărilor MAC în condiții de exploatare au fost selectate patru tractoare universale, model Belarus-82.1 MTZ, care au fost destinate pentru efectuarea lucrărilor agricole și echipate cu motoare de tipul DC4 11,0/12,5. Conform datelor serviciului Intehagro, în sectorul agroalimentar al Republicii Moldova aceste tractoare ocupă cea mai mare cotă specifică (cca 52%) din toate modele de tractoare utilizate. Două din motoare (martor) s-a alimentat cu motorină (GOST 305-82) și altele două, experimentale (Fig. 2.9) - cu amestec biodiesel-motorină B20.

Fig. 2.9. Secvențe din procesul de pregătire inițială a tractorului alimentat cu biocombustibil B20



Încercările de exploatare ale motoarelor alimentate cu motorină și biodiesel au fost efectuate conform standardului interstatal GOST 54783-2011 „Încercările tehnicii agricole” în Stațiunea Didactică Experimentală „Chetrosu” (raionul Anenii Noi) a Universității Agrare de Stat din Moldova pe parcursul de 2 ani (2008-2010) cu participarea profesorilor de la catedra Tractoare și automobile UASM. Dotarea tehnică a tractoarelor și completarea lor cu mașinile și utilajele agricole agregate a corespuns cerințelor tehnice specificate de uzina producătoare din Minsk MTZ în Ghidul de exploatare. Prin urmare, ambele tractoare în timpul încercărilor au îndeplinit lucrări agricole cu diverse sarcini.

Procesul de pregătire a tractoarelor pentru încercări a inclus următoarele operațiuni:

- operațiuni tehnologice de întreținere tehnică periodică (ÎT-2);
- schimbarea uleiului în baia carterului motorului;
- curățirea filtrului de ulei (centrifugă) și filtrului de aer (Fig. A2.1);
- înlocuirea filtrului de combustibil;
- verificarea funcționării aparatelor de control al tractorului.

Pe parcursul încercărilor de exploatare ale tractoarelor agricole alimentate cu motorină și amestec biodiesel-motorină B20 au fost înregistrați următorii parametri în Registrul încercărilor:

1. Denumirea lucrărilor agricole îndeplinite și condiții de exploatare a motoarelor;
2. Suprafața terenului prelucrat S , [ha];

3. Durata de executare a lucrărilor τ , [ore];
3. Consumul total G și orar al combustibilului G_h , [kg/h];
4. Temperatura lichidului de răcire a motorului t_r , [°C];
5. Presiunea uleiului în sistemul de ungere a motorului p_u , [MPa];
6. Temperatura uleiului în sistemul de ungere a motorului t_u , [°C];
7. Consumul de ulei la ardere q_u , [g/h];
8. Debitul de gaze scăpate în carter q_g , [l/min];
9. Presiunea de compresie în cilindri motorului p_c , [MPa] (Fig. A.2.2);
10. Proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune;
11. Defecțiuni tehnice.

Din carterul motorului au fost preluate probe de ulei în acțiune în cantitate de 100-150 ml pentru estimarea proprietăților fizico-chimice în laboratorul catedrei Ingineria Transportului Auto și Tractoare (Fig. 2.10). După 20 minute de funcționare a motorului cu ulei proaspăt turnat s-a prelevat prima probă și, ulterior- peste fiecare 125 moto-ore de funcționare a motorului.

Fig. 2.10. Secvențe din procesul de prelevare a probei uleiului de motor în acțiune



Pe baza rezultatelor obținute în procesul încercărilor de exploatare ale motoarelor DC4 11,0/12,5, în capitolul 4 au fost evaluați și analizați următorii parametri:

1. Tehnice- 1.1. caracterul modificării proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune;
 - 1.2. gradul de uzură a elementelor grupului cilindru-piston (presiunea de compresie, presiunea uleiului în sistemul de ungere a motorului, consumul de ulei la ardere);
 - 1.3. fiabilitatea funcționării motoarelor încercate (frecvența și complexitatea defectelor și a refuzurilor);
2. Economice- 2.1. consumul specific al combustibilului;
3. Ecologice- 3.1. fracția substanțelor nocive în gaze de eșapament.

Presiunile la sfârșitul compresiei în cilindrii motoarelor D-241L s-au măsurat, utilizând compresograf (compresmetru G-324D), iar presiunea uleiului în sistemul de ungere a motorului- cu echipament de bord al tractoarelor. Consumul de ulei la ardere s-a determinat prin măsurarea cantității volumetrice a porției de ulei adăugat periodic în baia carterului până la nivelul reglementat de uzina producătoare de motoare. Fiabilitatea de funcționare a motoarelor încercate s-a determinat conform recomandărilor GOST 54783-2011.

Rezultatele încercărilor de exploatare a tractoarelor agricole dotate cu motoare alimentate cu motorină și biocombustibil au servit drept temei pentru elaborarea recomandărilor privind exploatarea eficientă a MAC alimentate cu biodiesel.

2.3 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.

Pentru o mărime măsurată valoarea medie (media aritmetică) în fiecare serie de experimente s-a calculat prin expresia:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.5)$$

unde $\sum_{i=1}^n x_i$ - suma valorilor obținute prin măsurarea unei mărimi;

n – numărul de măsurări.

Precizia datelor experimentale este reflectată de abaterea rezultatelor cercetării de la media aritmetică, care se află în limitele $\pm 3\sigma$. Abaterea standard (abaterea medie pătratică) s-a determinat din expresia:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}, \quad (2.6)$$

unde $\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2$ este suma abaterilor pătrate a rezultatelor măsurărilor individuale de la media lor aritmetică.

2.4 Concluzii la capitolul 2

1. Pentru atingerea scopului tezei de doctorat și realizarea obiectivelor formulate a fost elaborată metodologia de realizare a lucrărilor și un program de cercetare, care îmbrățișează mai multe metodici de activități bazate pe metode cunoscute, descrise în acte normative și literatura de specialitate, precum și pe metode originale pentru realizarea cercetărilor experimentale, respectând cerințele actelor normative și specificul fiecărei activități de cercetare-inovare. Fiecare metodică de cercetare s-a bazat pe un algoritm de realizare în succesiunea necesară a operațiilor de investigații științifice cu evidențierea factorilor de răspuns și de influență pentru fiecare metodică.

2. S-a produs un lot experimental de ester metilic din ulei de rapiță (unul din obiectele principale de studii) în baza tehnologiei selectate și a instalației elaborate în cooperare cu SA Alimentarmaș, care asigură producerea biocombustibilului din uleiul vegetal cu un randament al produsului finit de 96,5%. S-a constatat în urma verificărilor proprii și în laboratorul autorizat că parametrii de calitate a biodieselului obținut îndeplinesc cerințele standardelor internaționale.

3. S-a asigurat veridicitatea rezultatelor experimentale și de încercări prin alegerea corectă a metodelor de cercetare-inovare și a instrumentelor, aparatajelor de măsurare cu precizia necesară pentru realizarea obiectivelor din prezenta teză. Valorile obținute ale rezultatelor experimentelor au fost prelucrate cu aplicarea facilităților programelor STATGRAPHICS Centurion XV și Microsoft Office Excel.

3. ARGUMENTAREA COMPOZIȚIEI BIOCOMBUSTIBILULUI PENTRU MAC

3.1 Obiectivele specifice ale investigațiilor

Cum a fost menționat în cap. 1, la momentul actual sunt cunoscute cercetări realizate cu scopul producerii și utilizării biocombustibililor pentru motoarele cu aprindere prin comprimare MAC, care servesc la momentul actual ca mașini energetice pentru sistemele tehnice din principalele ramuri ale economiei mondiale (Altarazi, Yazan S. M., et al., 2022; Verma, A. S., et al., 2022; Hasana, M. M., Rahman, M. M., 2017; Geambașu, S., 2018; Benea, B. C., 2014; Марков, В. А., и др., 2009; Девянин, С. Н., 2008; Марченко, А. П., и др., 2007; Матиевский, Д. Д., и др., 2006). Scopul de bază al acestor cercetări este, în primul rând, diminuarea substanțelor nocive în gazele de eșapament. De menționat, că multe cercetări sunt direcționate spre substituirea motorinei cu produsele de esterificare a uleiurilor vegetali (produsele date sunt numite în literatura de specialitate „biodiesel”), în primul rând, cu derivatele din uleiul de rapiță. Totodată rezultatele cercetărilor privind influența biocombustibilului asupra procesului de ardere în MAC, precum și asupra parametrilor energetici, economici, ecologici a unui motor, relevate în literatura de specialitate sunt într-o oarecare măsură eterogene și contradictorii.

De aceea, prezintă un interes sporit activitățile de cercetare-inovare direcționate spre argumentarea teoretico-experimentală a compoziției biocombustibilului, studiul influenței biocombustibilului asupra performanțelor energetice și ecologice ale motorului, precum și identificarea posibilității practice de utilizare a biodieselului cu compoziția optimă în calitate de combustibil pentru MAC. Dezideratele susmenționate prezintă **scopul cercetărilor** din acest capitol, iar **obiectivul de bază** fiind cercetarea teoretică a procesului de combustie a amestecurilor biodiesel-motorină cu evaluarea parametrilor energetici, economici, ecologici ai MAC; determinarea proprietăților fizico-chimice ale amestecurilor biodiesel-motorină pentru alimentarea MAC și ale proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune din baia de carter a MAC, ridicarea caracteristicilor de bază ale MAC alimentat cu biocombustibil.

Pentru îndeplinirea scopului propus au fost înaintate următoarele **obiective specifice** ale investigațiilor:

1. Analiza teoretică a procesului de combustie cu efectuarea calculului termic al acestui proces, utilizând biodieselul pur B100 și amestecurile biodiesel-motorină B20, B50 ca combustibil pentru alimentarea motorului DC4 11,0/12,5, care conform studiilor monografice este utilizat în proporție de 52% în agricultura Moldovei.

2. Studiul în condiții de laborator ale proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biodieselului B100 și amestecurilor biodiesel-motorină B20, B50.

3. Studiarea caracteristicilor tribologice ale elementelor cuplei tribologice crom-fonta cenușie la funcționarea acestora în diferite medii (motorină, amestec biodiesel-motorină și biodiesel).

4. Ridicarea pe stand a caracteristicilor de viteză și de sarcină a MAC alimentat cu biodiesel B100 și amestecuri biodiesel-motorină B20, B50.

3.2 Studiul și argumentarea teoretică a compoziției biocombustibilului (în baza procesului de ardere)

3.2.1 Teorii referitoare la procesele de ardere în MAI a combustibililor lichizi

Rezultatele cercetărilor precedente demonstrează că valorile proprietăților amestecurilor combustibil petrolier-biocombustibil nu întotdeauna respectă principiul aditivității (proporționalității) în raport cu valorile proprietăților componentelor inițiale (biocombustibil, combustibil petrolier) (Cerempei, V., 2016). Prin urmare, se evidențiază în acest caz un efect sinergic asupra valorilor proprietăților amestecurilor menționate. În legătură că fiecare amestec de combustibili poate demonstra efectul sinergic în mod deosebit, este necesar de efectuat un șir de activități de cercetare, care, în mod firesc, trebuie să se înceapă cu etapa de argumentare teoretică a compoziției amestecului produs petrolier-biocombustibil, în cazul nostru, biodiesel-motorină.

Arderea fiind parte din categoria reacțiilor chimice de oxidare, este considerată a fi o combinație de reacție chimică exotermă între un combustibil și un oxidant (Horbaniuc, B., și Dumitrașcu, Gh., 2008). Cel mai des în calitate de oxidant servește oxigenul din aerul înconjurător, mai rar în această calitate poate fi o substanță a cărei moleculă conține atomi de oxigen (de exemplu: esterii metilici din uleiuri grași, alcoolii monohidroxicilici etc.). Așadar, în mod general, arderea este un proces de oxidare rapidă a unei substanțe, însoțită de degajare de căldură și lumină. În MAI procesul de ardere (combustie) servește drept sursa energetică și este de maximă complexitate, implicând factori, cum ar fi suprafața contactului între molecule de combustibil și oxigen, viteza de reacție, recombinația și disocierea moleculelor produselor de ardere etc. De menționat, că disocierea moleculelor în elemente mai simple consumă o parte din căldura degajată, fiind un fenomen negativ.

Calculul proceselor de ardere în MAI sunt realizate în baza ecuațiilor stoichiometrice scrise pentru elementele din compoziția combustibilului. Compoziția elementară a combustibililor lichizi (benzină, motorină, biodiesel, etc.) se exprimă, de regulă, în fracții masice [kg], iar a celor

gazoși în fracții volumice [m^3] (Колчин, А. И., și Демидов, В. П., 1980). De aceea, pentru combustibili lichizi în mod general compoziția se exprimă în felul următor:

$$C + H + O = 1, \quad (3.1)$$

unde C, H și O sunt fracțiile masice de carbon, hidrogen și, respectiv, oxigen, [kg/kg combustibil].

Pentru identificarea parametrilor procesului de ardere se calculează masa moleculară a combustibilului m_c [kg/kmol], cantitatea teoretică (stoichiometrică) [kg/kg comb.] a oxigenului $m_i(O_2)_{aer}$ și a aerului $m_{i aer}$, puterea calorifică inferioară NCV [MJ/kg comb.]. Pentru motorină și biodiesel, precum și pentru amestecurile lor în diferite proporții valorile parametrilor menționați au fost calculate în baza principiului proporționalității:

$$m_c = \sum_{i=1}^n c_{mi} \cdot m_{ci}; \quad m_i(O_2)_{aer} = \sum_{i=1}^n c_{mi} \cdot m_i(O_2)_{aer}; \quad m_{i aer} = \sum_{i=1}^n c_{mi} \cdot m_{i aer};$$

$$NCV = \sum_{i=1}^n c_{mi} \cdot NCV_i, \quad (3.2)$$

unde c_{mi} reprezintă fracția masică a componentei i în amestec, [%mas];

m_{ci} , $m_i(O_2)_{aer}$, $m_{i aer}$, NCV_i – masa moleculară, cantitatea teoretică a oxigenului, a aerului și puterea calorifică inferioară a componentelor i din amestec.

Reacțiile chimice de ardere a carbonului și hidrogenului permit calcularea cantității teoretic necesare de oxigen pentru arderea a 1 kg de combustibil și a cantității de produse de ardere obținute în acest caz.

Parametrii de ardere a motorinei, care are următoarea compoziția masică [%mas.]: W(C) = 86; W(H) = 13; W(O) = 1. Prin urmare, 1 kg motorină conține:

$$860 \text{ g } |C| + 130 \text{ g } |H| + 10 \text{ g } |O|. \quad (3.3)$$

Pentru arderea completă a carbonului este necesar de realizat reacția:



sau, ținând cont de greutatea atomică ale elementelor individuale, obținem:

$$12 \text{ kg } |C| + 32 \text{ kg } |O| = 44 \text{ kg } |CO_2|, \quad (3.5)$$

de unde pentru arderea carbonului dintr-un kg de motorină se determină, în baza expresiei (3.3), consumul de oxigen și cantitatea produsului de ardere:

$$X_1 = \frac{860 \cdot 32}{12} = 2293 \text{ g } (O_2) = 2,293 \text{ kg } (O_2), \quad (3.6)$$

$$X_2 = \frac{860 \cdot 44}{12} = 3153 \text{ g } (CO_2) = 3,153 \text{ kg } (CO_2). \quad (3.7)$$

Reacția de ardere a hidrogenului, conform ecuației stoichiometrice, este următoarea:



luând în considerare greutatea atomică, avem:

$$4 \text{ kg |H|} + 32 \text{ kg |O|} = 36 \text{ kg |H}_2\text{O|}, \quad (3.9)$$

de unde pentru arderea hidrogenului dintr-un kg de motorină se determină, în baza expresiei (3.3), consumul de oxigen și cantitatea produsului de ardere:

$$X_3 = \frac{130 \cdot 32}{4} = 1040 \text{ g (O}_2\text{)} = 1,04 \text{ kg (O}_2\text{)}, \quad (3.10)$$

$$X_4 = \frac{130 \cdot 36}{4} = 1170 \text{ g (H}_2\text{O)} = 1,17 \text{ kg (H}_2\text{O)}. \quad (3.11)$$

Masa oxigenului $m_1(\text{O})$, care se conține într-un kg de motorină și participă la ardere este egală cu 10 g sau 0,01 kg (Tab. 3.1). De aceea masa oxigenului din aer, care se consumă la arderea 1 kg de motorină este egală:

$$m_1(\text{O}_2)_{\text{aer}} = X_1 + X_3 - m_1(\text{O}), \text{ [kg]}, \quad (3.12)$$

$$m_1(\text{O}_2)_{\text{aer}} = 2,293 + 1,04 - 0,01 = 3,323 \text{ kg}, \quad (3.13)$$

Ținând cont de expresii (3.6), (3.10) și compoziția aerului, este posibil de calculat cantitatea aerului necesară pentru arderea completă a unei unități de masă a combustibilului, care este numită **cantitatea teoretic necesară** (*stoichiometrică*) a aerului, aceasta fiind dependentă de compoziția elementară a combustibilului:

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right), \text{ [kg]}, \quad (3.14)$$

unde C, H, O sunt fracții masice ale carbonului, hidrogenului și, respectiv, oxigenului într-un kilogram de combustibil, [kg/kg comb.];

0,23 - fracția masică a oxigenului într-un kg de aer, [kg O₂/kg aer].

Masa aerului care se consumă în condițiile reale la arderea 1 kg de motorină ($m_{1\text{aer}}$):

$$m_{1\text{aer}} = \frac{m_1(\text{O}_2)_{\text{aer}}}{0,23}, \text{ [kg aer/kg comb.]}, \quad (3.15)$$

sau în cazul arderii complete a 1kg de motorină, ținând cont de formula (3.13):

$$m_{1\text{aer}} = \frac{3,323}{0,23} = 14,45, \text{ [kg aer/kg comb.]}, \quad (3.16)$$

totodată cantitatea stoichiometrică a volumului de aer pentru arderea 1 kg de combustibil, [kmol/kg comb.], este egală:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right), \quad (3.17)$$

unde 0,208 este fracția volumică a oxigenului într-un kmol de aer.

În dependență de condițiile reale de funcționare a motorului cu ardere internă (metoda reglării puterii, tipul de formare a amestecului de ardere, condițiile de combustie) cantitatea

specifică a aerului care este consumată pentru fiecare unitate de masă sau de volum al combustibilului poate fi mai mare, egală sau mai mică decât cea teoretic necesară pentru arderea completă a combustibilului. Această cantitate a aerului în calculele tehnice este estimată cu ajutorul unui coeficient, numit coeficient de exces al aerului care este egal $\alpha = m_{\text{aer}}^r / l_0$. În condițiile reale de exploatare a motoarelor cu aprindere prin comprimare coeficientul α variază în limita $\alpha = 0,8-1,3$.

Valorile parametrilor de ardere pentru biodiesel B100 și amestecuri biodiesel-motorină sunt calculate conform algoritmului prezentat în formule (3.1)-(3.17) și incluse în tabelul 3.1. Valorile obținute demonstrează că, la arderea completă a 1 kg de biodiesel B100 se consumă cu 0,24 kg de O₂ (10,46 %mas.) mai puțin comparativ cu motorina și, respectiv, diminuează formarea de CO₂ cu 0,33 kg comparativ cu motorina. În cazul amestecurilor biodiesel-motorină (B20, B40, B50, B60, B75) la fel sunt valori mai reduse ale consumului necesar de O₂ și ale formării de CO₂ în comparație cu motorina. Luând în considerație conținutul masic de oxigen într-un kg de aer (formula 3.14), se observă și o scădere proporțională cu oxigen a consumului de aer (Tab. 3.1), fapt ce demonstrează că pentru funcționarea motorului alimentat cu biodiesel și amestecurile biodiesel-motorină este necesară o cantitate mai mică de aer pentru arderea 1 kg de combustibil.

Tabelul 3.1. Valorile absolute ale parametrilor de ardere pentru biocombustibilii cercetați

| Denumirea parametrilor | Simbol | Tipul combustibilului | | | | | | |
|--|------------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| | | Motorină | B20 | B40 | B50 | B60 | B75 | B100 |
| Fracția masică a elementelor, [kg/kg comb.]: | | | | | | | | |
| Carbon | C | 0,86 | 0,85 | 0,824 | 0,82 | 0,806 | 0,795 | 0,77 |
| Hidrogen | H | 0,13 | 0,128 | 0,126 | 0,125 | 0,124 | 0,1225 | 0,12 |
| Oxigen | O | 0,01 | 0,022 | 0,05 | 0,055 | 0,07 | 0,0825 | 0,11 |
| La arderea completă a 1 kg de combustibil: a) carbon C - consumă oxigen O ₂ , [kg], și formează CO ₂ , [kg]; | X ₁ X ₂ | 2,293 3,153 | 2,266 3,116 | 2,197 3,021 | 2,186 3,006 | 2,149 2,955 | 2,12 2,915 | 2,053 2,823 |
| b) hidrogen H - consumă oxigen O ₂ , [kg], și formează H ₂ O, [kg] | X ₃ X ₄ | 1,04 1,17 | 1,024 1,152 | 1,008 1,134 | 1,0 1,125 | 0,992 1,116 | 0,98 1,102 | 0,96 1,08 |
| Masa oxigenului într-un kg de combustibil, [kg] | m (O) | 0,01 | 0,022 | 0,05 | 0,055 | 0,07 | 0,0825 | 0,11 |
| Masa oxigenului din aer care se consumă la arderea 1 kg combustibil, [kg] | m (O ₂) _{aer} | 3,323 | 3,268 | 3,155 | 3,131 | 3,071 | 3,017 | 2,903 |
| Masa aerului, [kg], necesară pentru arderea 1 kg combustibil. | l ₀ | 14,45 | 14,21 | 13,72 | 13,61 | 13,35 | 13,12 | 12,62 |
| Cantitatea teoretic necesară de aer, [kmol], pentru arderea 1 kg combustibil | L ₀ | 0,4992 | 0,4910 | 0,4740 | 0,4705 | 0,4614 | 0,4533 | 0,4361 |

În MAC amestecul combustibil-aer se formează în camera de ardere în timpul injecției combustibilului la sfârșitul procesului de comprimare și pe parcursul procesului de ardere. Prin urmare, cantitatea amestecului de ardere este egală:

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{I}{m_c}, [\text{kmol/kg comb.}], \quad (3.18)$$

unde M_1 este cantitatea molară a amestecului de ardere, [kmol/kg comb.].

Pentru orice tip de combustibil masa încărcăturii proaspete (amestecului de ardere) va fi:

$$m_1 = \alpha \cdot l_0 + I, [\text{kg am. ard./kg comb.}], \quad (3.19)$$

unde m_1 reprezintă cantitatea masică a amestecului de ardere, [kg am. ard./kg comb.].

Compoziția gazelor de ardere depinde de valoarea coeficientului excesului de aer α , și în calcule, pentru $\alpha > 1$ cantitatea totală a produselor de ardere [kmol prod. ard/kg comb.] va fi:

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + (\alpha - 0,208) \cdot L_0, [\text{kmol prod. ard./kg comb.}], \quad (3.20)$$

În timp ce cantitatea masică a produselor de ardere este egală cu suma m_1 a maselor de aer și de combustibil până la ardere, cantitatea molară M_2 , în general, nu este egală cu M_1 , adică, cu aceleași valori ale temperaturii și presiunii, volumul produselor de ardere poate să nu fie egal cu volumul amestecului combustibil înainte de ardere. Modificarea volumului amestecului are loc datorită modificării cantității de molecule ale produselor de ardere gazoase în comparație cu cantitatea de molecule ale amestecului combustibil înainte de ardere.

Variația cantității de moli ai fluidului de lucru în timpul arderii este determinată ca diferență:

$$\Delta M = M_2 - M_1, [\text{kmol/kg comb.}], \quad (3.21)$$

Pentru combustibilii lichizi, cantitatea de moli ale produselor de ardere este întotdeauna mai mare, decât cantitatea de moli ai încărcăturii proaspete (amestec combustibil). Creșterea volumului produselor de ardere ΔM are loc datorită majorării cantității totale de molecule ca urmare a reacțiilor chimice ale descompunerii moleculelor de combustibil și a formării moleculelor noi. Creșterea cantității de moli ale produselor de ardere este un factor pozitiv, deoarece se majorează volumul produselor de ardere și, prin urmare, contribuie la o anumită creștere a lucrului util a gazelor în timpul destinderii lor.

În cazul în care $\Delta M > 0$, are loc o dilatație molară. Dacă $\Delta M = 0$, are loc o invarianță molară și dacă $\Delta M < 0$, are loc o contracție molară.

La arderea completă a combustibilului în MAC ($\alpha > 1$) din expresii (3.18) și (3.20) se poate de calculat valoarea variației molare:

$$\Delta M = \frac{H + \frac{O}{8}}{4} = \frac{H}{4} + \frac{O}{32}, [\text{kmol/kg comb.}], \quad (3.22)$$

Prin urmare, expresia (3.22) demonstrează că:

- a) modificarea ΔM a volumului produselor de ardere nu depinde de coeficientul excesului de aer α ;
- b) valoarea pozitivă a ΔM indică, că la arderea combustibilului lichid, volumul produselor de ardere M_2 este întotdeauna mai mare decât volumul M_1 al amestecului combustibil.

Conținutul de oxigen și hidrogen din combustibilul lichid influențează valoarea variației molare ΔM în felul următor:

- trecerea oxigenului din molecula biodieselului la o stare gazoasă determină o creștere a volumului produselor de ardere și, respectiv, a variației molare cu $O/32$ kmol.
- în timpul arderii hidrogenului, se formează vapori de apă, al căror volum este de 2 ori mai mare decât volumul de oxigen necesar pentru arderea hidrogenului, prin urmare, volumul produselor de ardere se majorează cu $H/4$ kmol.

În procesul de ardere, are loc modificarea cantității [kmol] substanțelor reagente, care se caracterizează prin coeficientul chimic al variației molare:

$$\mu = \frac{M_2}{M_1} = 1 + \frac{\Delta M}{M_1}, \quad (3.23)$$

Fiindcă pentru combustibilii lichizi variația molară $\Delta M > 0$, la arderea acestora raportul chimic va fi $\mu > 1$. În baza expresiilor stabilite anterior (3.22), (3.23) s-au calculat parametrii procesului de ardere a motorinei și a biodieselului în funcție de compoziția amestecului biodiesel-motorină: B20; B40, B50, B60, B75 și B100 (Tab. 3.2).

Valorile obținute în urma efectuării calculelor indică că proporțiile componentelor din amestecuri biodiesel-motorină (B20; B40; B50; B60; B75, B100) au cel mai mare impact asupra puterii calorifice a combustibilului mixt (Tab. 3.2). Puterea calorifică inferioară a biodieselului B100 este de 37,7 MJ/kg, iar cea a motorinei - de 42,5 MJ/kg. În același timp, puterea calorifică inferioară a amestecurilor combustibil-aer variază în diapazonul foarte îngust: diferența dintre valoarea maximă a puterii calorifice $NCV_{max}=2,7679 \text{ MJ/kg am.}$ pentru amestec cu biocombustibil B100 și cea minimă $NCV_{min}=2,7416 \text{ MJ/kg am.}$ pentru amestec cu B20 constituie $0,0263 \text{ MJ/kg am.}$ ($\Delta=0,95\%$). Acest lucru este benefic la utilizarea amestecurilor combustibile, deoarece la alimentarea motorului cu motorină, biodiesel B100 și cu amestecuri biodiesel-motorină B20; B40; B50; B60; B75, în general, se capătă aproape aceeași cantitate de energie termică (84,3...85,7 MJ/kmol sau 2,742...2,768 MJ/kg), care poate fi obținută prin arderea aceluiași volum sau masă

de amestec combustibil. Prin urmare, este evident că, puterea calorifică a amestecurilor menționate asigură o putere a motorului, practic, constantă fără a schimba volumul camerei de ardere, dacă randamentul termic are valoare stabilă.

Tabelul 3.2. 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].

Puterea calorifică a amestecurilor de ardere formate din motorină sau din biocombustibili (biodiesel B100, amestecuri biodiesel-motorină) depinde, pe de o parte, de natura și concentrația hidrocarburilor C_nH_m , iar pe de altă parte, de cantitatea stoichiometrică a aerului, expresia matematică a acestei dependențe este următoarea: $NCV_{am. ard.} = NCV_{comb.} / M_1$, [MJ/kmol am.]. La arderea 1kg de motorină se degajă de 1,127 ori mai multă căldură [MJ/kg] în raport cu 1 kg de biodiesel B100 ($NCV^m / NCV^{B100} = 1,127$), iar pentru arderea aceleiași cantități de motorină este necesară o cantitate de amestec [kmol/kg comb.] de 1,146 ori mai mare ($M_1^m / M_1^{B100} = 1,146$). Prin urmare, căldura specifică a amestecurilor de ardere $NCV_{am. ard.}$, [MJ/kmol am.], are un trend de

creștere în cazul combustiei a amestecurilor biodiesel-motorină și a biodieselului B100, cea mai mare rată de adaos (1,68%) al căldurii specifice $NCV_{am. ard.}$ este la amestecul de ardere în baza biodieselului pur B100 în raport cu cel în baza motorinei: $NCV^{B100}_{am. ard.}/NCV^m_{am. ard.} = 85,759 MJ/kmol am./ 84,34 MJ/kmol am. = 1,0168$ (Tab. 3.2).

Fracția masică a combustibilului în amestecul de ardere stoichiometric variază de la 6,47% în cazul combustiei motorinei (1/15,45) și până la maximum 7,34% pentru biodieselul pur B100 (1/13,62) (Tab. 3.2), ceea ce, în ultimul caz, majorează consumul specific al biocombustibilului în MAC. Ținând cont de faptul că în MAC dozarea combustibilului este realizată cu ajutorul pompei de injecție prin metoda volumetrică, vom efectua analiza modificării a consumului volumic al biocombustibililor în raport cu motorină. Pentru stabilirea raportului dintre doza volumetrică a biocombustibilului și cea a motorinei, care sunt necesare pentru asigurarea valorilor identice ale puterii motorului s-au folosit următoarele expresii:

$$V = \frac{m}{\rho}, [\text{m}^3], \quad (3.24)$$

$$\frac{m^B}{m^m} = \frac{NCV^m}{NCV^B}, \quad (3.25)$$

$$k_{cv} = \frac{V^B}{V^m} = \frac{m^B \cdot \rho^m}{\rho^B \cdot m^m} = \frac{NCV^m \cdot \rho^m}{\rho^B \cdot NCV^B}, \quad (3.26)$$

unde m^B , m^m sunt mase de biocombustibil și motorină necesare pentru un ciclu de lucru în MAC, [kg];

ρ^B , ρ^m - densitățile biocombustibilului și ale motorinei, [kg/m³] (Tab.1.3, fig. 3.3);

NCV^B , NCV^m – puterea calorică a combustibililor respectivi, [MJ/kg] (Tab.3.2);

K_{cv} - coeficientul modificării a consumului volumic al biocombustibililor în raport cu motorină.

Rezultatele calculelor demonstrează (Tab.3.2) că cea mai mare valoare a coeficientului de modificare a consumului volumic al biocombustibililor ($K_{cv}=1,0611$) se obține în cazul alimentării motorului cu biodiesel pur B100, demonstrând faptul că doza volumică a biodieselului B100 se majorează cu 6,1% în raport cu motorina. Pentru amestecuri B20-B75 valoarea coeficientului respectiv variază în limita $K_{cv}=1,0047-1,0420$. Majorările dozelor volumice ale biocombustibililor în limitele sus-menționate se poate de obținut în condițiile reale de exploatare MAC prin reglarea pompei de injecție fără modificările constructive.

Cantitatea molară a amestecului de ardere necesară pentru un ciclu de lucru în camera de ardere a motorului M_{Ic} reflectă volumul necesar al acestei camere V_a . În scopul verificării volumului V_a în cazul utilizării biocombustibililor a fost calculat coeficientul modificării K_c a

cantității molare ciclice a amestecului de ardere cu biodiesel pur B100 și cu amestecurile biodiesel-motorină, necesare pentru asigurarea puterii motorului ca și în cazul motorinei. Analiza valorilor coeficientului K_c (Tab. 3.2) demonstrează că acesta variază în limite înguste: de la valoarea maximă 1,0019 (+0,19%) cu B20 până la cea minimă 0,9834 (-1,66%) cu B100 în raport cu motorina ($K_c = 1,0$). Calculele realizate demonstrează încă o dată 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. Prin urmare, în cilindrul motorului se va introduce aceeași cantitate molară a amestecului de ardere, ce conține unul din combustibilii sus-enunerați:

$$M_{lc}^m \approx M_{lc}^{B100} \approx M_{lc}^B, [\text{kmol/ciclu}] \quad (3.27)$$

unde M_{lc}^m , M_{lc}^{B100} , M_{lc}^B reprezintă cantitatea molară a amestecului de ardere necesară pentru un ciclu de lucru cu motorină, biodiesel B100 și, respectiv, amestecuri biodiesel-motorină.

Din ecuația (3.27) rezultă raportul cantităților amestecurilor de ardere, [kmol/kg comb.], pentru combustibilii studiați cu obținerea aceleași cantități de energie termică:

$$M_1^m = M_1^{B100} \cdot K^{B100} = M_1^B \cdot K^B, \quad (3.28)$$

unde M_1^m , M_1^{B100} , M_1^B reprezintă cantitatea molară a amestecului de ardere ce revine la 1kg de combustibil (motorină, biodiesel, și, respectiv, amestecuri biodiesel-motorină) [kmol/kg comb.];

K^{B100} , K^B - coeficienții de proporționalitate pentru biodiesel pur B100 și, respectiv, pentru amestecuri biodiesel-motorină.

Din ecuațiile (3.18, 3.28) obținem pentru $\alpha=1$ raportul cantităților teoretic necesare de aer, [kmol], pentru arderea combustibililor studiați cu condiția de obținere a cantităților egale de energie termică:

$$L_0^m = K^{B100} \cdot L_0^{B100}, \quad (3.29)$$

unde $K^{B100} \cdot L_0^{B100} = L_0^{B100}$ este cantitatea stoichiometrică [kmol] a aerului necesară pentru arderea biodieselului în cantitate de K^{B100} , [kg].

Din tabelele 3.1, 3.2 preluăm valorile calculate ale cantităților molare ale amestecurilor de ardere, care revin la 1kg de combustibil respectiv:

$$M_1^m = 0,504 \frac{\text{kmol}}{\text{kgcomb.}} \quad M_1^{B100} = 0,439 \frac{\text{kmol}}{\text{kgcomb.}}, \quad \text{de unde } K^{B100} = \frac{M_1^m}{M_1^{B100}} = 1,15$$

Deoarece sistemul de alimentare a motorului nu este modificat și este reglat pentru dozarea motorinei, $L_0^m = L^{B100}$ cantitatea reală [kmol] a aerului ce revine la arderea biodieselului cu cantitatea molară K^{B100} .

Coeficientul convențional al excesului de aer va fi:

$$\alpha_{conv.} = \frac{L^{B100}}{L_0^{B100}} = \frac{L_0^m}{K^{B100} \cdot L_0^{B100}}, \quad (3.30)$$

Masa molară a motorinei este $213,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ și a biodieselului este $289,28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (Geacai, E., 2017). Ținând cont de datele obținute în tabelele 3.1, 3.2, calculăm valoarea coeficientului convențional al excesului de aer pentru biodiesel pur: $\alpha_{conv.} = \frac{0,4992}{1,1462 \cdot 0,4361} = 0,99868$. Valorile

calculate ale coeficientului convențional al excesului de aer în cazul alimentării cu motorină și amestecuri biodiesel-motorină (Tab. 3.2) variază în limitele restrânse: 1,0 și, respectiv, 0,99868, ceea ce demonstrează posibilitatea alimentării MAC cu biocombustibil (biodiesel B100, amestecuri biodiesel-motorină) fără introducerea modificărilor constructive în sistemul de alimentare cu aer.

Studiile noastre demonstrează posibilitatea eficientizării procesului de ardere a biocombustibililor cu compensarea diferenței dintre puterea calorifică a biodieselului și cea a motorinei prin majorarea randamentului termic al procesului de ardere a biodieselului. Acest fenomen se datorează minimizării pierderilor de căldură din cauza arderii incomplete a biodieselului și disocierii mai mici a moleculelor produselor de ardere. Randamentul motorului se majorează și datorită creșterii dilatației molare a produselor de ardere ale amestecurilor de biocombustibili.

Cea mai mare valoare a dilatației molare ΔM pentru produsele de ardere s-a obținut în cazul combustiei biodieselului B100 (Tab. 3.2): $\Delta M_{max} = 334,38 \cdot 10^{-4} \text{ kmol/kg comb.}$, raportul chimic de variație molară având la fel valoarea maximă $\mu = 1,076$. Aceasta înseamnă că volumul M_2 al produselor de la arderea biodieselului B100 se majorează cu 7,6% în raport cu volumul amestecului de ardere M_1 . Prin urmare, sporul dilatației molare ΔM la arderea biodieselului constituie 1,9%/kg combustibil în raport cu volumul produselor de ardere a motorinei.

Valoarea raportului variației molare a produselor de ardere în cazul alimentării motorului cu motorină este $\mu = 1,065$, iar pentru biodiesel $\mu = 1,076$ (Tab. 3.2), fiind în creștere cu 1%. Raportul variației molare μ pentru amestecuri biodiesel-motorină are valorile care se află între cele obținute cu motorină și biodieselul pur B100. Fenomenul dat are un caracter pozitiv, deoarece indică că la arderea biocombustibililor lucrul efectiv, obținut din dilatarea produselor de ardere, nu este mai

mic, decât cel obținut de la arderea motorinei, fiind observat chiar și un trend de creștere în cazul biocombustibililor.

În condițiile reale, procesul de ardere a combustibilului depinde de un șir de factori, inclusiv de presiunea gazelor în camera de ardere, de unde rezultă faptul, că este necesar să se analizeze curba desfășurată a procesului de ardere a motorinei (martor) și a biocombustibilului, care reflectă dependența presiunii P_z a amestecului de ardere funcție de valoarea unghiului φ de rotire a arborelui cotit.

3.2.2 Procese de combustie a amestecurilor biodiesel-motorină

Caracterul propagării flăcării în camera de ardere a motorului cu aprindere prin comprimare este mai puțin elucidat în raport cu motorul cu aprindere prin scânteie (Popa, B., et al., 1982; Bobescu, Gh., et al., 1997). În literatura de specialitate (Burnete, N., et al., 2008; Knežević, D., et al., 2015; Хачиян, А. С., et al., 1985; Архангельский, В. М., et al., 1967; Дьяченко, Н. Х., et al., 1974; Колчин, А. И., și Демидов, В. П., 2008; Николаенко, А. В., 1984; Вырубков, Д. Н., et al., 1983; Луканин, В. Н., et al., 1995) se consideră, că procesul de ardere a combustibilului în MAC este constituit din patru faze consecutive. Această separare este convențională, deoarece multe aspecte ale arderii nu au fost încă studiate. Totuși, fazele convenționale ale procesului de ardere reflectă suficient de bine fenomenele petrecute în camera de ardere a cilindrului.

Cea mai completă imagine asupra procesului de ardere în MAC se poate obține dacă în analiza desfășurării fazelor se iau în considerare factorii care au o influență constantă asupra arderii, de exemplu, metoda de injecție a combustibilului, caracterul degajării căldurii.

Întreaga perioadă de combustie în cilindrul MAC poate fi împărțită în următoarele faze:

- I** – pregătirea zonelor de autoaprindere (întârzierea la autoaprindere);
- II** – dezvoltarea zonelor de autoaprindere, propagarea flăcării (arderea rapidă);
- III** – arderea masei de bază a amestecului (arderea moderată);
- IV** – arderea relativ încetinită a componentelor amestecului rămase din faza precedentă (post-arderea cu intensitate în destindere).

Procesul de ardere a fost studiat teoretic prin metoda grafo-analitică (Bobescu, Gh., et al., 1997; Колчин, А. И., și Демидов, В. П., 2008; Вырубков, Д. Н., et al., 1983; Хачиян, А. С., et al., 1985) pentru biodiesel (transesterificat din ulei de rapiță) și amestecuri biodiesel-motorină. În baza rezultatelor obținute din calculele teoretice a procesului de ardere pentru motorul de tipul DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină, biodiesel B100 și cu amestecurile lor (B20, B50) s-a reprezentat grafic procesul de ardere în diagrama p - φ (Fig. 3.1, Tab. A3.1, Fig. A5.1).

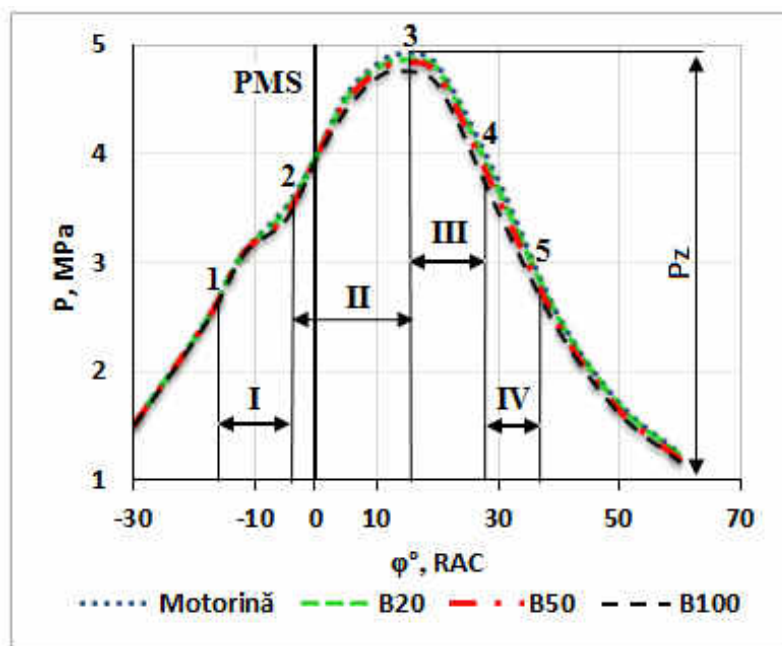


Fig. 3.1. Reprezentarea grafică a procesului de ardere în diagrama $p-\phi$ (PMS-punctul mort superior, ϕ -unghiul de rotație a arborelui cotit RAC)

Prima fază se desfășoară în intervalul de timp care se începe real cu injectarea combustibilului (punct 1, Fig. 3.1) și finalizează în momentul creșterii rapide a presiunii (2). În decursul acestei faze se produce pregătirea fizico-chimică a acelei părți de combustibil care a pătruns în cilindru în acest interval de timp. Însă, din cauza distanței relativ mari între moleculele amestecului, viteza de degajare a căldurii în această perioadă este foarte mică și de aceea nu se produce o creștere vizibilă a presiunii. În faza **I** sunt injectate în cilindru 30-40% din întreaga cantitate a combustibilului dintr-un ciclu.

Durata primei faze este influențată de proprietățile fizico-chimice ale combustibilului (în primul rând, autoaprinderea acestuia), de presiunea și temperatura fluidului, de tipul camerei de ardere și intensitatea mișcării dirijate a fluidului proaspăt, de calitatea pulverizării combustibilului și regimul de funcționare a motorului în sarcină și de viteză (Bobescu, Gh., et al., 1997). Faza **I** determină caracterul desfășurării fazelor următoare.

La sfârșitul primei faze (Fig. 3.1, punct 2) începe procesul degajării active de căldură, adică în acest moment zonele de autoaprindere deja sunt formate. **Faza a doua** durează până în punctul 3 și este caracterizată prin dezvoltarea rapidă a combustiei în tot volumul camerei de ardere cu degajarea unei cantități importante de căldură într-un interval de timp redus, ceea ce explică creșterea rapidă a presiunii și a temperaturii. În această fază arde practic tot combustibilul furnizat de injector în faza precedentă, precum și în faza **II**.

Caracterul realizării fazei a doua este estimat de viteza de creștere a presiunii, adică de valoarea majorării presiunii în cilindru raportată la 1° de rotație a arborelui cotit ($\frac{\Delta P}{\Delta \varphi}$). Cu cât viteza de creștere a presiunii este mai mare, cu atât motorul funcționează mai rigid (mers trepidant al motorului, însoțit de zgomote și uzuri accentuate) și cu atât este mai mare presiunea finală de ardere (punct 2) Pz. Viteza de creștere a presiunii în a doua perioadă depinde în principal de durata perioadei de întârziere a autoaprinderii. Cu cât durata fazei 1 este mai lungă, cu atât mai mult combustibil, pregătit pentru ardere, se acumulează în camera de ardere înainte de autoaprindere, și cu atât presiunea crește mai brusc în a doua fază. Viteza de creștere a presiunii în a doua perioadă de ardere se majorează, de asemenea, odată cu creșterea vitezei de alimentare cu combustibil și a intensității mișcărilor vortex (turbulente) ale amestecului combustibil.

Începutul **fazei III**, este determinată de poziția presiunii maxime (punctul 3), iar sfârșitul- de poziția temperaturii maxime a gazelor din cilindru (punctul 4). Arderea are loc la o presiune aproape constantă, începându-se când pistonul este aproape de PMS, când flacăra cuprinde întreaga cameră de ardere și tot combustibilul injectat anterior a ars. După aceea, va arde numai combustibilul furnizat încă de către injector în camera de ardere, dar la sfârșitul alimentării, intensitatea combustiei se micșorează, deoarece viteza reacțiilor chimice scade din cauza creșterii cantității de gaze inerte. Ca urmare, intensitatea degajării de căldură scade și majorarea temperaturii gazelor conținute în camera de ardere încetinește.

Ultima fază a arderii durează după punctul 4 (Fig. 3.1) până când reacțiile de ardere încetinează datorită efectului scăderii temperaturii. Arderea în a această fază se caracterizează printr-o decelerare treptată a vitezei de degajare a căldurii, deoarece condițiile de ardere a combustibilului devin din ce în ce mai nefavorabile - cantitatea de oxigen neutilizat scade, fluidul din ce în ce mai mult se diluează cu produsele de ardere, procesul continuă cu o creștere a volumului și o scădere a temperaturii și a presiunii. Durata fazei **IV** corespunde unui unghi de rotație $\varphi=70-80^\circ$ al arborelui cotit de la PMS, iar degajarea totală a căldurii în această fază nu depășește, de regulă, 95-97%.

Rezultatele calculelor efectuate pentru construirea diagramei indicate teoretice (Fig. 3.1) demonstrează, că fazele de ardere a biocombustibililor în marea măsură coincid cu cele ale motorinei, deoarece nu s-a schimbat constructiv camera de ardere, totodată proprietățile fizico-chimice ale esterului metilic al uleiului de rapiță asigură aranjamentul arderii identic cu cel al motorinei. Rezultatele calculelor demonstrează că valorile maxime a presiunii de ardere p_{\max} se micșorează în cazul biocombustibililor comparativ cu motorina, respectiv: B20-cu 0,74%; B50-cu 1,67% și B100-cu 3,33%. Aceasta diminuare are loc, probabil, din cauza că procesul de ardere a

biodieselului B100 și a amestecurilor biodiesel-motorină (B20, B50) decurge cu o viteză mai mică, decât procesul de ardere a motorinei. Fenomenul dat micșorează temperatura maximă a ciclului și rigiditatea de funcționare a MAC, diminuând uzura suprafețelor îmbinate în camera de ardere (El-Shafay, A. S., et al., 2022; Buzikov, Sh. V., et al., 2022; Kumar, S., și Gautam, R., 2020; Adham, A., și Mabsate, E. M., 2017; Мысник, М. И., 2015; Agudelo, J., et al., 2009; Кулманаков, С. П., и др., 2007). Momentul realizării presiunii combustibilului în ciclul teoretic este strămutat în continuare pe linia de destindere (Fig. 3.1), ceea ce necesită majorarea unghiului de avans Θ la injectarea biodieselului. Aceasta permite de menținut performanța energetică a motorului alimentat cu biocombustibil la nivelul cel obținut cu motorină.

Micșorarea fracțiilor de carbon (cu 10,5% mas.) și de hidrogen (cu 7,7% mas.) în molecula de biodiesel, în raport cu motorină, este cauza scăderii puterii NCV cu 11,3% și, respectiv, a creșterii consumului specific g_e al biodieselului B100. Pentru a menține parametrii motorului la valorile nominale, în cazul alimentării cu biodiesel B100, este necesară o reajustare a pompei de injecție pentru a majora alimentarea ciclică (Sliusarenco, V., 2012; Семенов, В. Г., 2007) și a unghiului de avans.

3.3 Studiul proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor din esterii metilici ale uleiurilor vegetale

3.3.1 Generalități privind realizarea studiilor experimentale

Proprietățile fizico-chimice ale combustibilului 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, biodiesel B100, amestecul biodiesel-motorină (B20, B50), pentru care au fost măsurate densitatea, viscozitatea cinematică, temperatura de inflamare și temperatura de tulburare/congelare.

Esterul metilic din uleiul de rapiță B100 a fost obținut, utilizând instalația M8-KPB-01, elaborată și confecționată la Societatea pe Acțiuni „Alimentarmaș”, or. Chișinău (Слюсаренко, В., и др., 2010). Amestecurile combustibile s-au preparat dintr-o singură partidă de motorină și biodiesel, obținându-se următoarele raporturi (%mas.): 20 biodiesel + 80 motorină (B20); 50 biodiesel + 50 motorină (B50) și biodiesel pur B100 (Fig. 3.2 a).

Măsurările proprietăților fizico-chimice ale combustibililor analizați au fost realizate în laboratorul Chimotologie, combustibili și lubrifianți din componența catedrei Ingineria Transportului Auto și Tractoare, facultatea Inginerie Agrară și Transport Auto UASM.

3.3.2 Densitatea și viscozitatea cinematică a biocombustibililor

Densitatea ρ este una din principalele caracteristici ale combustibilului. Densitatea și viscozitatea combustibilului influențează asupra formării amestecului de ardere. Densitatea depinde de compoziția chimică a combustibilului (Allah, F. U. M., 2016). Ea poate să se modifice sub influența temperaturii mediului, lucru care se datorează solidificării parafinelor pe care le conține.

La determinarea densității s-a utilizat areometrul (model AH, GOST 18481-81) pentru produsele petroliere (Fig. 3.2 b) conform metodei reglementate de GOST 3900. Estimarea densității a fost efectuată la temperatura de 15 °C.

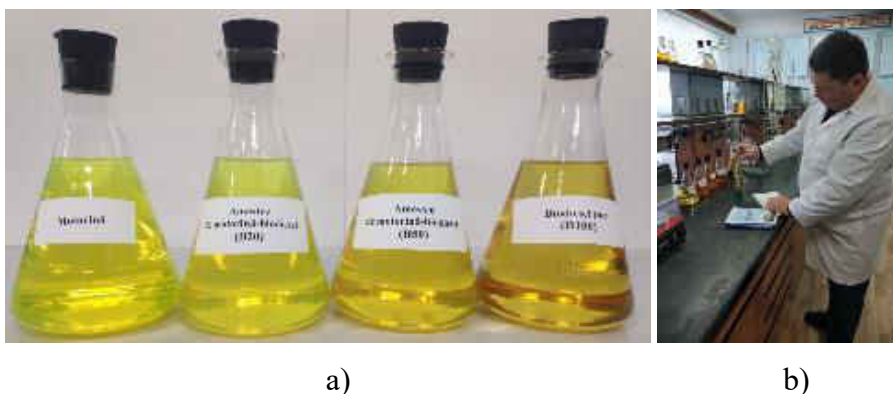


Fig. 3.2. Secvențe din procesul de măsurare a densității probelor analizate: a) probe de combustibili; b) determinarea densității combustibililor

Densitatea biocombustibililor ρ crește funcție de concentrația biodieselului în motorină (Fig. 3.3, Tab. A3.2). Valoarea obținută a densității biodieselului B100 este egală cu 0,886 g/cm³ (1g/cm³= 10³kg/m³), aflându-se în limitele intervalului specificat de standardul SM STB 1657:2009 (EN 14214:2003) și fiind mai mare, decât densitatea motorinei petroliere cu 6,24%. Valorile densității amestecurilor biodiesel-motorină s-au majorat de asemenea comparativ cu motorina clasică, cu 1,44% la B20 și, respectiv, cu 3,36% (B50).

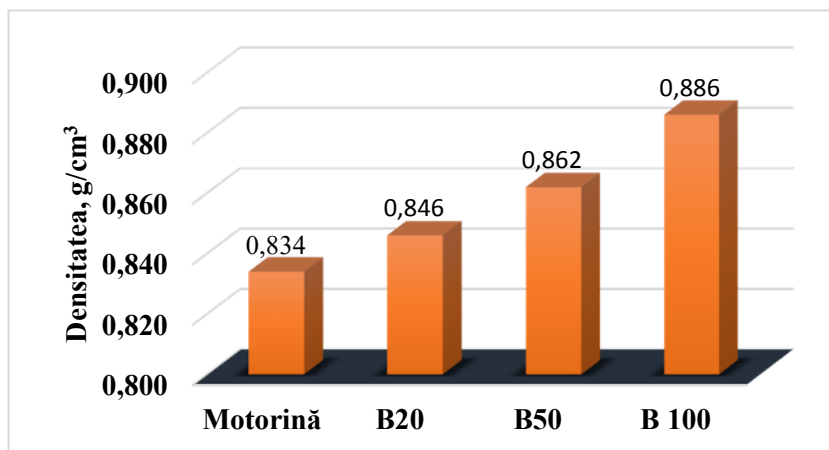


Fig. 3.3. Valorile densității combustibililor testați

Viscozitatea cinematică μ este una din cele mai importante proprietăți ale combustibililor, care determină calitatea pulverizării acestora în camera de ardere MAC. Viscozitatea reprezintă rezistența la curgere a unui fluid: cu cât viscozitatea este mai mare cu atât un fluid curge mai greu. Temperatura influențează în mare măsura viscozitatea: la valori înalte ale temperaturii viscozitatea scade, iar la valori reduse ale temperaturii- crește. Viscozitatea redusă îmbunătățește injecția combustibilului prin modificarea parametrilor jetului (unghi de dispersie și penetrație), însă dacă viscozitatea este prea mică condițiile de lubrifiere a pieselor din cuplele tribologice (plonjor-cilindru, piston-cilindru etc.) sunt înrăutățite, ceea ce poate conduce la refuzuri în funcționare.



Fig. 3.4. Secvențe din timpul determinării viscozității cinematice a combustibililor evaluați

Viscozitatea cinematică a probelor de combustibil a fost măsurată la temperatura de 20 °C, folosind viskozimetru capilar de sticlă VPJ-2 0,56 conform standardului GOST 33-82 (Fig. 3.4).

Rezultatele măsurărilor demonstrează (Fig. 3.5, Tab. A3.2) că valoarea viscozității cinematice (20 °C) la biodiesel B100 este mai mare în raport cu motorina de 1,97 ori. Însă, la amestecurile biodiesel-motorină creșterea valorilor viscozității este mai mică (de 1,09 ori- pentru B20 și pentru B50 - de 1,19 ori) comparativ cu motorina. În rezultatele obținute (Fig. 3.3, 3.5) nu se evidențiază principiul aditivității: valorile densității și, mai ales, ale viscozității amestecurilor combustibile B20, B50 nu depind direct proporțional de raportul fracțiilor masice ale motorinei și ale biodieselului B100.

Probabil, asupra densității și viscozității amestecurilor B20 și B50 proprietățile respective ale motorinei influențează într-o măsură mai mare, creând un efect sinergic binevenit.

Valoarea înaltă a viscozității conduce la o atomizare proastă în injectoare și mărește depunerile de cocs în motor. Standardul European pentru biodiesel, SR EN 14214, stabilește un interval al valorilor viscozității (determinate la 40 °C) cuprins între 3,5- 5,0 mm²/s.

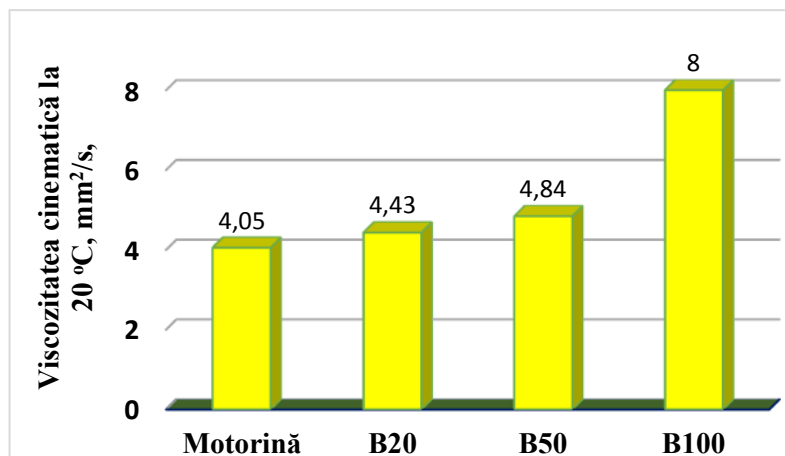


Fig. 3.5. Valorile viscozității cinematice μ a combustibililor testați

Pentru biodiesel B100 (Tab. A1.1), esterificat de noi, au fost efectuate măsurări la Întreprinderea de Stat „Institutul de Cercetări Științifice din Industria de Rafinare a Petrolului „MASMA”, Ucraina”. Rezultatele măsurărilor demonstrează că valoarea viscozității cinematice a biodieselului testat (4,79 mm²/s la 40 °C) se află în limitele standardului SR EN 14214.

3.3.3 Temperatura de inflamare

Temperatura de inflamare reprezintă temperatura cea mai joasă la care, în condițiile stipulate în standardele GOST 6356-75, ISO 2719:2002(E) și presiunea atmosferică normală, vaporii degajați de combustibil pot să formeze împreună cu aerul un amestec gazos, care poate fi aprins în contact cu o flacără directă.

Acesta este un parametru principal luat în considerare pentru a evalua siguranța contra incendiului în timpul transportării, depozitării și a manipulării combustibilului. O temperatură ridicată de inflamabilitate indică faptul că materialul prezintă o probabilitate scăzută de aprindere accidentală, fiind un lichid nepericulos și neinflamabil.



Fig. 3.6. Prelevarea datelor privind punctul de inflamabilitate

La determinarea punctului de inflamabilitate pentru probele combustibililor s-a utilizat aparatul pentru determinarea punctului de inflamabilitate de model TV3 PVNE cu un creuzet închis (GOST 6356-75) (Fig. 3.6).

Rezultatele valorilor punctului de inflamabilitate pentru probele de combustibili analizați sunt reprezentate în figura 3.7 (Tab. A3.2).

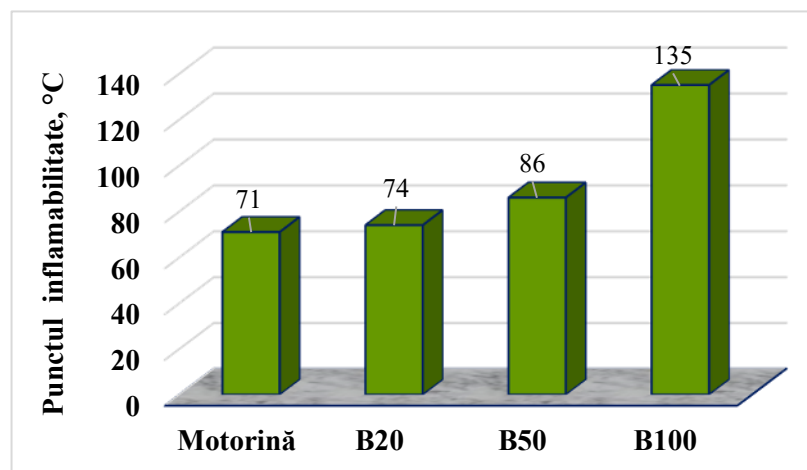


Fig. 3.7. Valorile punctului de inflamabilitate pentru probele de combustibili testați

Cea mai mare valoare a punctului de inflamabilitate (135 °C) are biodieselul B100, iar cea mai mică (71 °C) are motorina. În ceea ce privește amestecurile biodiesel-motorină, s-a demonstrat că, aceste au valori majorate ale temperaturii în raport cu motorina (cu 4,23% - pentru B20 și cu 21,23% - pentru B50). De menționat, că și valorile punctului de inflamabilitate ale amestecurilor B20, B50 la fel sunt dominate de valorile respective ale motorinei, demonstrând un efect sinergic.

3.3.4 Temperatura de tulburare

Printre principalele proprietăți de exploatare ale combustibililor sunt și acele proprietăți care caracterizează comportarea lor la temperaturi scăzute și care sunt identificate, în primul rând de temperatura de tulburare și temperatura de congelare. Proprietățile combustibililor la temperaturi scăzute demonstrează posibilități scăzute de pompare a combustibilului prin conducte și de deservire (alimentare, scurgere) în perioada rece a anului. De menționat, că produsele petroliere nu au o anumită temperatură de trecere de la o stare de agregare la alta. Odată cu scăderea temperaturii, unele componente individuale devin treptat mai viscoase și mai puțin mobile, iar unele se evidențiază în formă ca precipitat sau cristale.

Metoda determinării punctului de congelare constă în răcirea combustibililor analizați până la o stare de pierdere a mobilității (Fig. 3.8). Temperatura de congelare este considerată ca

temperatură maximă pe care o arată termometrul în momentul, când în combustibil apar primele cristale vizibile cu ochiul liber (GOST 5066-91, ISO 3013-74).

Temperatura de tulburare este reprezentată de temperatura la care apar primele cristale, observate vizual, atunci când combustibilul este răcit. Temperatura de tulburare a combustibilului provoacă unele probleme legate de micșorarea debitului ciclic de combustibil prin pompa de injecție MAC, ceea ce are drept urmare diminuarea puterii efective a motorului, înfundarea elementelor de filtrare și a conductelor instalației de alimentare.

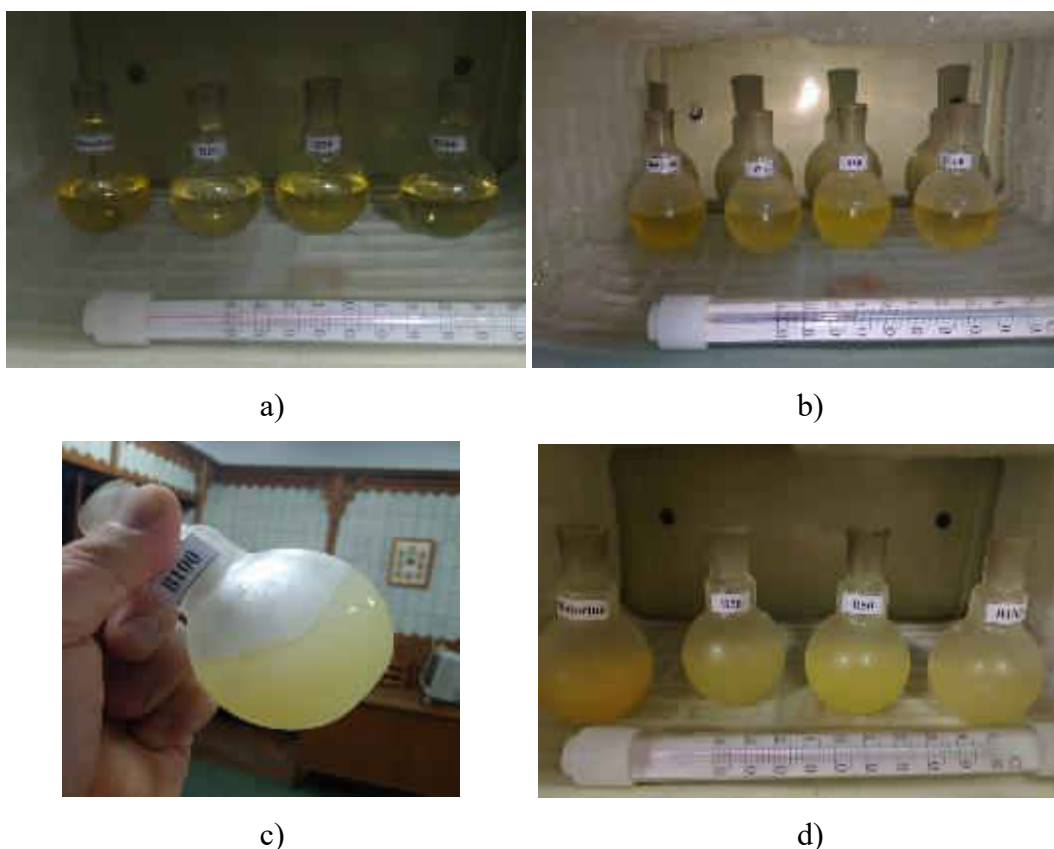


Fig. 3.8. Secvențe din timpul stabilirii temperaturii de tulburare/congelare a combustibililor testați: a) faza inițială; b) camera de răcire; c), d) starea biocombustibililor răciți

Studiile experimentale (Tab. 3.3) demonstrează, că apariția primelor cristale în amestecurile de motorină și biodiesel (B20, B50) este la temperatura de $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, iar în proba de biodiesel B100 s-a observat apariția mai accentuată a cristalelor la aceeași temperatură, pe când motorină și la temperatura de $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ are mobilitate. Prin urmare se poate de menționat, că temperatura de tulburare, în special a biodieselului este de 2 ori mai înaltă în raport cu valoarea motorinei prevăzută după standard.

Studiul **temperaturii de congelare** a probelor de combustibili stabilește faptul că, la temperatura de -16 °C în biodiesel B100 s-a observat un proces de gelifiere consistent, iar pentru cazul amestecurilor B20 și B50 s-a identificat un lichid netransparent, neomogen și parțial mobil.

Tabelul 3.3. Starea combustibililor testați după răcire

| Tipul combustibilului | Temperatura de tulburare, [°C] | | | |
|---|--------------------------------|----------------------------|---|---|
| | - 9 | - 10,5 | - 12 | - 16 |
| Motorină | transparent, mobilitate | transparent, mobilitate | mobilitate | mobilitate |
| B20 (motorină 80% + biodiesel 20%) | | | apariția primelor cristale | ne transparent, neomogen, parțial mobil |
| B50 (motorină 50% + biodiesel 50%) | | | apariția accentuată a cristalelor | proces de gelifiere consistent |
| B100 (biodiesel 100%) | | | | |

Temperatura -12 °C este considerată ca un semnal pentru faptul că, biodieselul și derivatele acestuia nu mai pot fi pompate efectiv în sistemul de alimentare MAC, adică motoarele alimentate cu biocombustibili pot fi exploatate la valorile termice a mediului înconjurător mai înalte de -12 °C, ceea ce au menționat și autorii (Hubca, Gh., et al., 2008; Захарчук, В., et al., 2011; Захарчук, В., și Ткачук, В., 2012) pentru biodieselul B100.

3.4 Cercetări tribologice ale cuplei crom-fonta cenușie în diferite medii

3.4.1 Obiective specifice ale cercetărilor

Combustibilii utilizați în motoare cu ardere internă, inclusiv în MAC, este necesar să aibă capacitatea de lubrifiere a suprafețelor de contact ale unor piese din dotarea motorului. Aceasta capacitate este importantă, deoarece permite diminuarea forțelor de frecare și reduce uzura suprafețelor îmbinate din cuplele tribologice: segment de piston- cămașa cilindrului, plonjor-cilindru, (pulverizator cu ac, injectoare). Este cunoscut faptul că, motorina se obține din țiței prin rafinare/distilare, fiind un amestec de hidrocarburi C_nH_m aromatice, naftenice și parafinice, care conțin de la 12 până la 20 de atomi ai carbonului în molecule (Карташевич, А. Н., и др., 2014). Motorina își pierde din capacitatea de lubrifiere atunci, când sunt eliminați din aceasta compușii de sulf (Глушенко, А. А., 2019). Cum a fost menționat în capitolele precedente, biodieselul prezintă un combustibil sintetic lichid care se obține prin reacțiile chimice de esterificare și transesterificare din trigliceridele naturale (uleiuri vegetale, grăsimi animale), produsul final fiind în majoritatea cazurilor, inclusiv în teza actuală, un ester metilic al acizilor grași. Rezultatele cercetărilor anterioare demonstrează, că biodieselul, spre deosebire de motorină, nu necesită pentru

buna funcționare a motorului utilizarea aditivilor chimici activi, care servesc pentru diminuarea probabilității de depunere a calaminei pe suprafețele îmbinate, de gripare a acestor suprafețe etc.

Motorina și biodieselul, având diferite origini și, respectiv, compozițiile chimice eterogene, demonstrează proprietățile fizico-chimice deosebite (densitatea, viscozitatea, tensiunea superficială a unei picături de lichid etc.). În aceste circumstanțe prezintă un interes științific și practic cercetarea comportării unei cuple tribologice importante din dotarea MAC în mediu de motorină (martor) și de biocombustibili experimentali: biodieselul pur B100, amestecuri biodiesel-motorină. Din îmbinările sus-menționate, în viziunea noastră, cea mai complexă și semnificativă este segmentul de piston-cămașa cilindrului, deoarece lucrează la temperaturi înalte (până la 600 °C), cu sarcini alternative și fiind supuse acțiunii corozive din partea produselor de ardere.

Prin urmare, **scopul cercetărilor** din acest subcapitol, constă în determinarea caracteristicilor tribologice ale elementelor tribologice segment de piston-cămașa cilindrului, la funcționarea acestora în mediu de motorină, amestec biodiesel-motorină, biodiesel.

Reieșind din cele menționate au fost înaintate următoarele **obiective specifice** ale cercetărilor:

1. Măsurarea valorilor coeficientului de frecare la utilizarea biocombustibililor B20, B100 în calitate de material lubrifiant între suprafețele de frecare ale corpului cu suprafață cromată și contracorpului din fonta cenușie FC.

2. Cercetarea dinamicii uzurii elementelor cuplei tribologice în diferite medii (motorină, biocombustibili B20, B100).

Pentru realizarea cercetărilor a fost utilizată mașina de frecare MVPD-1KPI (Fig. 3.9), elaborată de colaboratorii Universității Tehnice din Moldova (Аждер, В. В., и др., 1988; Кроитору, Д. М., и др., 1992). Mașina dată efectiv modelează condițiile de lucru în îmbinare segment de piston-cămașa cilindrului, pentru aceasta un corp cu suprafața cromată, care imita funcționarea segmentului de piston, a fost prins într-un dispozitiv special și efectuează mișcări alternative, fiind acționat de la un motor electric. Pentru fiecare mediu durata încercărilor a constituit 400.000 de curse duble (cicluri). Studiul tribologic s-a efectuat la temperatura mediului ambiant $t=20\pm 2^{\circ}\text{C}$ cu aplicarea sarcinii constante $F=20\text{N}$.

Rugozitatea suprafețelor de lucru ale cuplei tribologice înainte de încercării la uzură a fost măsurată conform GOST 2789-83, înregistrând valoarea $R_a = 0,20 \pm 0,02 \mu\text{m}$ (Tab. A3.3-A3.4) pentru ambele elemente (corp - suprafață cromată și contracorp - fontă cenușie).

Măsurările microdurității a corpului cu suprafață cromată au fost efectuate cu ajutorul dispozitivului PMT-3 (conform recomandărilor GOST 9450) cu sarcina aplicată de 1 N și cu piramida din diamant.



Fig. 3.9. Secvențe din momentul cercetărilor tribologice pe mașina MVPD-1KPI

Valoarea microdurtății a probei analizate s-a determinat ca medie aritmetică a 9 măsurări și a alcătuit $H\mu = 1344 \pm 128 \text{ kgf/mm}^2$.

3.4.2 Rezultatele cercetărilor tribologice

Valorile obținute ale coeficientului de frecare a elementelor cuplei tribologice confirmă influența compoziției chimice a materialului lubrifianț asupra procesului de interacționare în îmbinarea mobilă (Fig. 3.10, Tab. A3.5).

Din diagramă, prezentată în figura 3.10, se observă, că valorile medii ale coeficientului de frecare f , în cazul utilizării biocombustibililor B20, B100 în calitate de materialul lubrifianț, sunt mai mari în raport cu motorina ($f=0,03584$): cu 15,6% ($f=0,04244$) pentru B20 și, respectiv, cu 23,3% ($f=0,04675$) pentru B100. Creșterea coeficientului de frecare pentru biocombustibilii cercetați (B20 și B100) s-a produs, probabil, din cauza valorilor mai înalte ale viscozității lor: B20 are viscozitatea $\mu = 4,43 \text{ mm}^2/\text{s}$ (mai mare cu 9,4%), B100 - $\mu = 8 \text{ mm}^2/\text{s}$ (mai mare de 1,98ori), decât cea a motorinei - $\mu = 4,05 \text{ mm}^2/\text{s}$ (Fig.3.5). Este important, că la temperatura mediului ambiant din laborator de $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, cu trecerea de la motorină către amestec B20 și biodiesel pur B100, gradientul creșterii coeficientului de frecare f este mai mic, decât cel al fracției volumetrică a biodieselului în amestec combustibil. Cercetările noastre permit de presupus, că majorarea temperaturii în cupla tribologică până la $400 \text{ }^\circ\text{C}$, ceea ce se întâmplă în camera de ardere a motorului, are drept consecință egalarea valorilor viscozităților combustibililor studiați: motorinei, amestecului B20, biodieselului pur B100. În aceste condiții coeficientul de frecare în îmbinare segment de piston- cămașa cilindrului poate să aibă valori egale pentru combustibilii menționați.

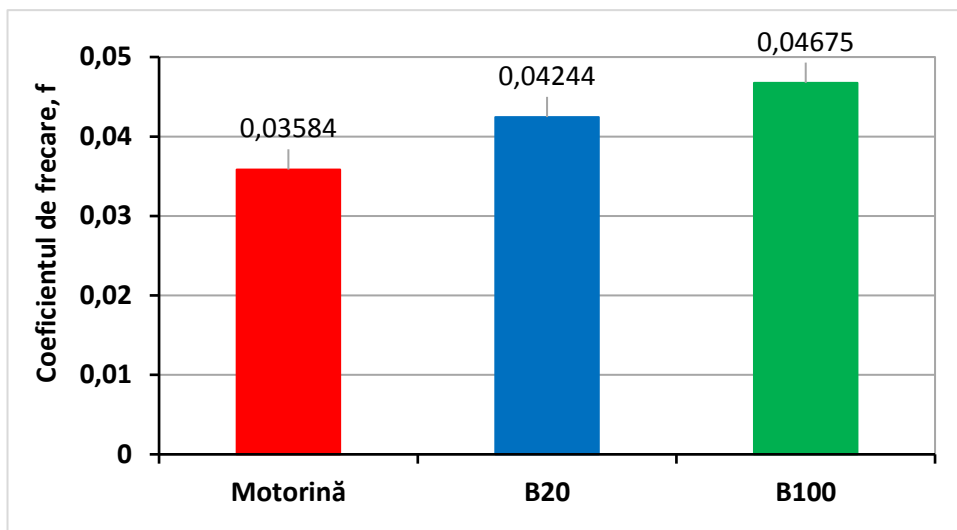


Fig. 3.10. Valorile medii ale coeficientului de frecare a cuplei tribologice funcție de materialul lubrifiant utilizat (Cerempei, V., Banari, E., Poștaru, Gh., Popa, L., 2023)

Rezultatele cercetărilor dinamicii uzurii U pentru elementele cuplei tribologice (corp – suprafață cromată și contracorp- fonta FC) cu utilizarea lubrifianților diferiți (motorină, biocombustibili B20, B100) (Fig. 3.11, Tab. A3.5) demonstrează că dependența valorilor U funcție de numărul de cicluri n / de durata cercetărilor τ poartă evident un caracter liniar. Această constatare este foarte importantă, deoarece indică că, procesul de uzură în experimentele realizate a decurs în mod normal, fără gripări mecanice.

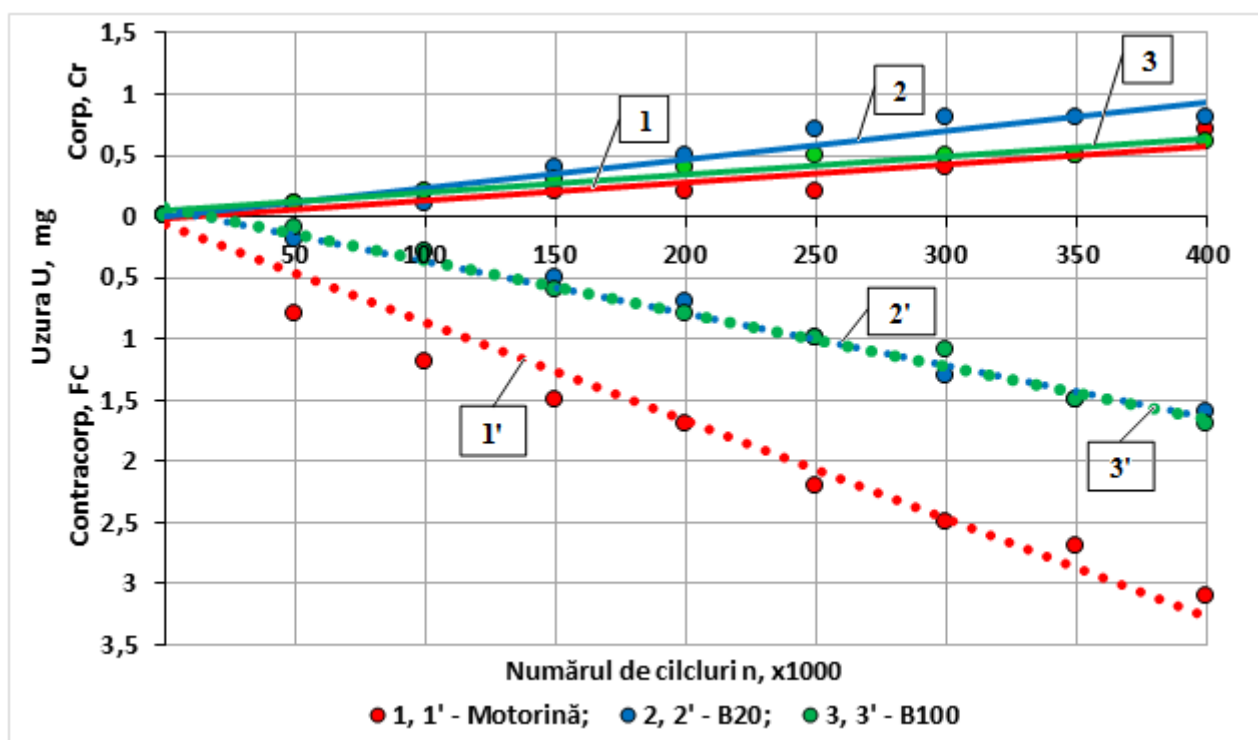


Fig. 3.11. Dinamica uzurii elementelor cuplei tribologice cu utilizarea diferitor lubrifianți (motorină, biocombustibili B20, B100) (Cerempei, V., Banari, E., Poștaru, Gh., Popa, L., 2023)

Din grafic se observă că, după realizarea a 400 mii de cicluri valorile uzurii corpului – suprafeței cromate, în mediul de amestec biocombustibil B20, s-au majorat cu 0,1 mg (adică cu 14,3%) în raport cu motorină. Totodată, cu mărirea concentrației biodieselului până la 100% (B100) se evidențiază o diminuare a uzurii U cu 14,3% (cu 0,1 mg) comparativ cu motorina. Ținând cont de faptul că, experimentele tribologice se desfășoară în condițiile complexe și poartă un caracter polifactorial, fiind dependente de proprietățile fizico-mecanice ale suprafețelor îmbinate, de proprietățile fizico-chimice ale materialelor lubrifiante, de starea mediului ambiant, se poate de constatat că, în cazurile utilizării diferitor lubrifianți (motorina, B20, B100) diferențele identificate în valorile uzurilor corpului cu suprafața cromată ($\Delta=\pm 0,1\text{mg}$) pe toată durata cercetărilor nu sunt mari.

Valorile uzurii elementului cuplei tribologice contracorp din fonta cenușie FC, demonstrează că, după realizarea a 400 mii de cicluri de frecare cu utilizarea în calitate de lubrifiant a biocombustibililor B20 și B100 uzura sumară a contracorpului ($U\approx 1,7\text{ mg}$) în ambele cazuri are valori mai reduse comparativ cu mediul de motorină ($U=3,1\text{ mg}$) (Fig. 3.11). Rezultatele măsurărilor concrete indică că, în cazul utilizării biocombustibililor B20 și B100 pentru lubrifierea suprafețelor valoarea uzurii U contracorpului – FC s-a micșorat cu 48,4% și, respectiv, cu 45,2% în raport cu valoarea uzurii contracorpului lubrifiat de motorină.

Caracterul dinamicii uzurii totale a cuplei tribologice U_t funcție de numărul de cicluri n pentru cazuri de utilizare în calitate de lubrifiant a motorinei și a biocombustibililor B20, B100, este prezentat în figura 3.12. Rezultatele experimentale demonstrează că, funcționarea cuplei tribologice cu utilizarea în calitate de lubrifiant a biocombustibililor B20 și B100 asigură valori mai reduse a uzurii totale U_t în raport cu cazul lubrifierii în mediul motorinei.

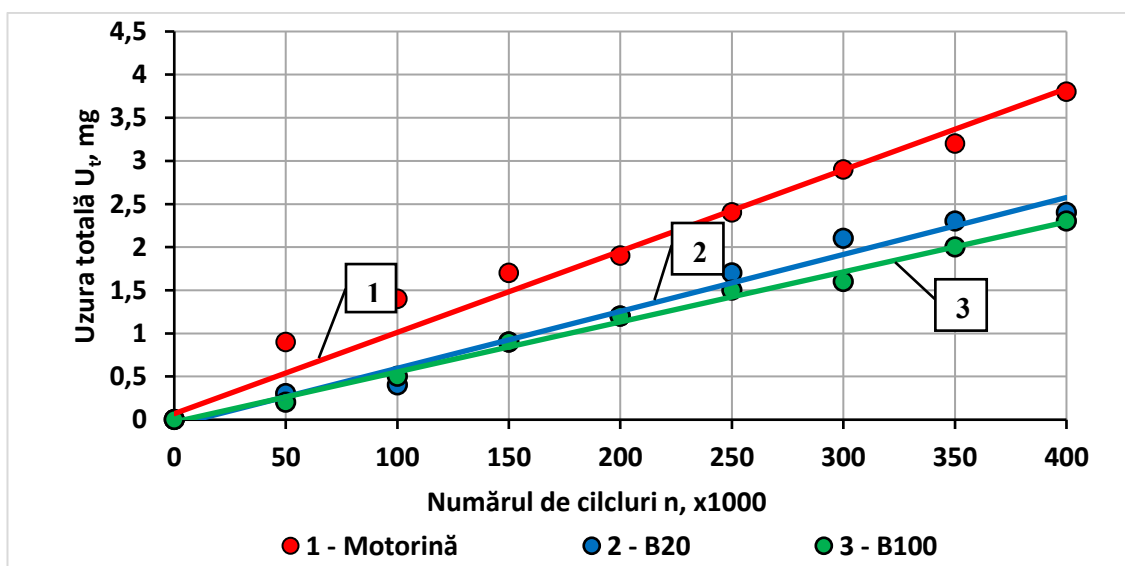


Fig. 3.12. Dinamica uzurii totale a cuplei tribologice cu utilizarea diferitor lubrifianți (motorină, biocombustibili B20, B100) (Cerepei, V., Banari, E., Poștaru, Gh., Popa, L., 2023)

De exemplu, în procesul de frecare a cuplei tribologice cu utilizarea biocombustibililor pentru lubrifiere valorile uzurii totale U_t ale corpului – suprafață cromată și contracorpului – fonta cenușie FC, pentru toată durata cercetărilor, s-au micșorat cu 36,8% pentru cazul B20 ($U_t=2,4mg$) și, respectiv, - cu 39,5% pentru cazul B100 ($U_t=2,3 mg$) în raport cu lubrifierea în mediul de motorină ($U_t=3,8mg$). Scăderea substanțială a uzurii totale a cuplei tribologice în cazul lubrifierii cu biocombustibili B20, B100, probabil, se datorează compoziției chimice, precum și a viscozității mai mari a biodieselului, ceea ce în ansamblu îmbunătățește proprietățile de lubrifiere ale biodieselului pur B100 și ale amestecurilor biodiesel-motorină B20.

Este important că amestecarea biodieselului cu motorină în proporție de 20:80 are un efect sinergic, deoarece valoarea uzurii totale U_t a elementelor cuplei tribologice cu utilizarea în calitate de lubrifianț a amestecului B20 și a biodieselului pur B100 nu se deosebește cu mult și este egală cu $U_t=2,4mg$ și, respectiv, cu $U_t=2,3 mg$.

Așadar, cercetările tribologice efectuate au demonstrat veridicitatea ipotezei noastre privind impactul pozitiv asupra procesului de frecare în cupla tribologică suprafața cromată – fonta cenușie al materialului lubrifianț din biocombustibili (biodieselul pur B100 și amestec biodiesel-motorină B20). Ipoteza dată se bazează pe rezultatele studiilor proprietăților fizico-chimice ale combustibililor sus-menționați. Pentru verificarea rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor tribologice este necesar de efectuat cercetări de stand și încercări în condiții de exploatare a motoarelor cu aprindere prin comprimare alimentate cu biocombustibil.

3.5 Cercetări de stand ale performanțelor MAC alimentat cu biocombustibil

3.5.1 Program de cercetări

Analiza surselor bibliografice și a realizărilor tehnico-științifice în domeniul producerii și utilizării biocombustibililor pentru alimentarea MAC, realizată în capitolul 1, demonstrează că nu sunt suficiente date cu referire la comportarea MAC alimentate cu amestecuri biodiesel-motorină, **scopul cercetărilor de stand** a fost obținerea caracteristicilor de performanță a motoarelor alimentate cu biocombustibil și stabilirea regimurilor optime de funcționare a motoarelor date. Prin urmare, atingerea scopului susmenționat este posibil prin determinarea următoarelor categorii de parametri care reflectă performanțele motorului:

- a) energetici (puterea efectivă N_e , momentul de torsiune efectiv M_t);
- b) economici (consumul orar G_h și specific g_e al combustibilului);
- c) ecologici (componența emisiilor de noxe în gazele de eșapament).

Performanța motorului cu ardere internă este influențată simultan de un șir de factori, însă influența comună a acestor factori este practic foarte greu de identificat. Prin urmare, cercetările

de stand al MAI sunt efectuate în condițiile monofactoriale, când un parametru de funcționare este variabil, iar altele constante (turația arborelui cotit al motorului $n = \text{const}$, poziția invariabilă a cremalierii pompei de injecție, etc.). Performanțele MAC au fost apreciate în dependență de regimurile de funcționare (turația arborelui cotit n , puterea efectivă N_e) sau de compoziția combustibililor (motorină, biodiesel B100, amestecuri biodiesel-motorină B20, B50). Estimarea parametrilor de stand au servit drept bază pentru stabilirea valorilor eficiente ale regimurilor de funcționare ale motorului alimentat cu biocombustibil.

În cadrul cercetărilor de stand un rol deosebit de important îl reprezintă caracteristica de viteză obținută la sarcină maximă (care se mai numește „externă”). Această caracteristică permite de identificat cele mai mari valori ale puterii efective și ale cuplului motor, precum și valorile consumului orar G_h , specific g_e de combustibil. În cercetările noastre caracteristicile de viteză s-au obținut la o poziție fixă a cremalierii pompei de injecție. Prin modificarea valorii rezistenței de frânare a standului a fost asigurată variația turației arborelui cotit de la valoarea minimă, care prezintă limita de jos a funcționării stabile a motorului, la cea maximă, la care este obținută puterea nominală a motorului.

Condițiile de exploatare ale autovehiculelor dictează necesitatea unor schimbări frecvente a regimurilor de deplasare. Prin urmare, motoarele cu ardere internă funcționează, de regulă, în regimuri stabilite doar o perioadă scurtă de timp, de multe ori trecând de la un regim la altul, iar regimurile de viteză și sarcină se pot modifica independent unul față de celălalt. Aceasta înseamnă, că la orice turație a arborelui cotit al motorului (de la minimă stabilă până la valoarea maximă) sarcina motorului de asemenea se poate modifica de la zero până la o valoare maximă. În perioada de exploatare motoarele de tractoare în cele mai multe cazuri funcționează la sarcini parțiale, când puterea acestora scade în mod intenționat la o turație constantă a arborelui cotit. Estimarea performanței motorului la astfel de regimuri de funcționare se efectuează după parametrii economici prin ridicarea **caracteristicii de sarcină**.

Cercetările experimentale au fost realizate pe un motor cu aprindere prin comprimare de tipul DC4 11,0/12,5 (gradul de comprimare $\varepsilon = 16$), cu care sunt dotate mașini și utilaje din agricultură și din alte ramuri ale economiei naționale (silvicultură, industria alimentară, construcții). De menționat, că motoarele DC4 11,0/12,5 sunt instalate pe tractoare agricole (marca Belarus) care ocupă cca 52% din totalul acestora în agricultura din Republica Moldova. Cercetările au fost realizate pe un stand de modelul KI-5543 (cu mașină electrică de curent continuu, care funcționează în regim de generator în timpul frânării).

Reieșind din cele susmenționate și pentru atingerea scopului înaintat au fost propuse următoarele obiective:

- ridicarea caracteristicilor de viteză pentru determinarea influenței conținutului de biodiesel în amestec cu motorină asupra parametrilor energetici și economici ai motorului;
- identificarea caracteristicilor de sarcină cu stabilirea influenței presiunii medii efective și a componenței amestecului de ardere asupra parametrilor energetici și economici ai motorului;
- măsurarea compoziției emisiilor poluante în gazele de eșapament generate de arderea biocombustibililor studiați.

Caracteristicile de sarcină și viteză ale motorului au fost ridicate pentru motorină (bază pentru rețetele de biocombustibili), biodiesel B100, amestecuri biodiesel-motorină B20 (motorină 80% + biodiesel 20%), B50 (motorină 50% + biodiesel 50%). Amestecurile combustibile B20, B50 au fost formate prin adaos în motorină a biodieselului transesterificat din ulei de rapiță. Concentrația biodieselului s-a determinat ca raport procentual către masa amestecului.

3.5.2 Ridicarea și analiza caracteristicilor de viteză

În urma prelucrării datelor experimentale de încercare a motorului alimentat cu motorină și cu diverse amestecuri de combustibili (Tab. A4.1-A4.4) s-au trasat curbele de variație pentru: puterea efectivă a motorului (Fig. 3.13); momentul efectiv al motorului (Fig. 3.14); consumul orar de combustibil (Fig. 3.15); consumul specific de combustibil (Fig. 3.16).

În cazul alimentării MAC cu biodiesel B100 se observă o diminuare a puterii efective la regimul nominal de funcționare a motorului (turația $n = 2100 \text{ min}^{-1}$) cu 8,7% sau 4,2 kW în raport cu funcționarea motorului pe motorină (Fig. 3.13).

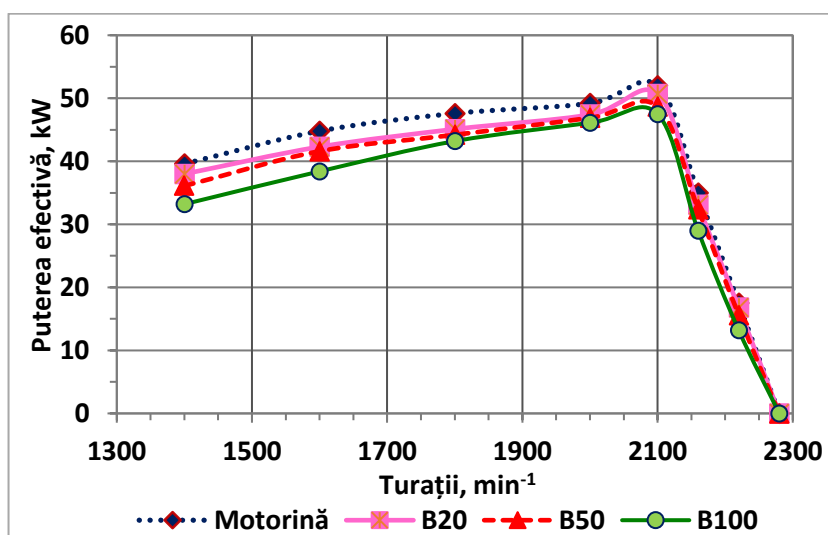


Fig. 3.13. Modificarea puterii efective a motorului DC4 11,0/12,5 funcție de turația arborelui cotit (Banari, E., 2022a)

Alimentarea motorului cu amestecuri 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 (motorină 80% + biodiesel 20%) și 6,4% pentru B50 (motorină 50% + biodiesel 50%).

Dependența $M_t=f(n)$ (Fig. 3.14) demonstrează o micșorare a momentului M_t al motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu amestecuri de combustibil B20, B50 și biodiesel pur (B100) în raport cu alimentarea acestuia cu motorină.

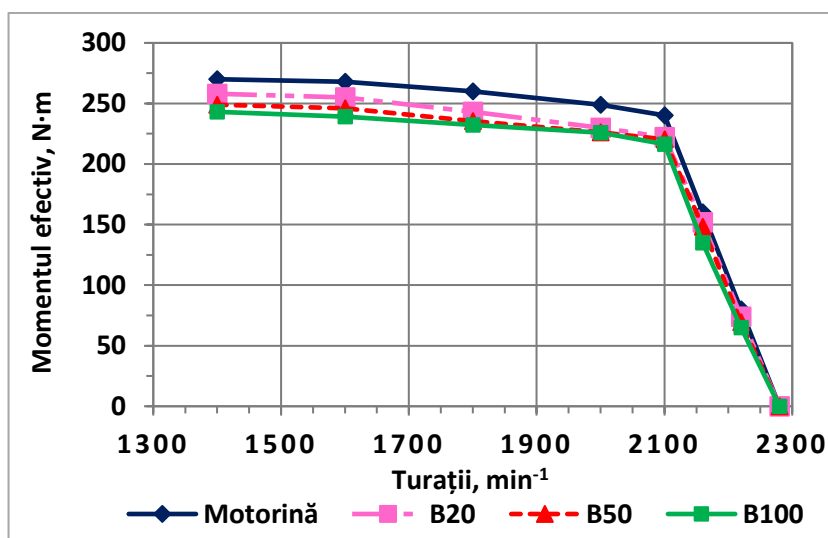


Fig. 3.14. Modificarea momentului efectiv a motorului DC4 11,0/12,5 funcție de turația arborelui cotit (Banari, E., 2022a)

De aici constatăm faptul că, momentul efectiv în cazul utilizării biodieselului B100 a diminuat cu 10% sau de la 240,3 N·m până la 216,4 N·m la regimul puterii maxime (turația $n = 2100 \text{ min}^{-1}$) și la regimul momentului maxim al motorului (turația $n = 1400 \text{ min}^{-1}$) de la 270 N·m până la 243,1 N·m. Pentru amestecuri B20 și B50 se observă o reducere mai mică a M_t : la regimul puterii maxime (turația $n = 2100 \text{ min}^{-1}$) momentul scade cu 8,09% (240,3 N·m până la 222,3 N·m) pentru B20 și, respectiv, cu 9,03 % (240,3 N·m până la 220,4 N·m) pentru B50. Aceeași tendință are loc și la regimul momentului maxim al motorului (turația $n = 1400 \text{ min}^{-1}$): M_t scade cu 4,4% (270 N·m până la 258 N·m) pentru B20 și respectiv cu 7,8% (270 N·m până la 249 N·m) pentru B50.

Analiza parametrilor energetici obținuți din caracteristici de viteză (Fig. 3.13; 3.14) demonstrează că alimentarea motorului DC4 11,0/12,5 cu motorină și cu biocombustibili are drept efect diminuarea valorilor puterii efective N_e (cu maxim 8,7%) și a momentului efectiv M_t (cu maxim 10%). Diminuările maxime au avut loc în cazul alimentării cu biodiesel pur B100, iar

pentru amestecuri B50 și B20 diminuările valorilor N_e și M_t au fost mai mici. Din cele menționate putem constata că valorile mici ale diminuărilor parametrilor energetici nu necesită modificarea parametrilor constructivi și ajustărilor inițiale ale motorului.

Valorile mai mari ale densității și viscozității cinematice a biodieselului B100 și a amestecurilor B20, B50 în raport cu motorina (Fig. 3.3; 3.5) sunt cauza creșterii consumului orar G_h al biocombustibililor comparativ cu consumul motorinei la toate regimurile de cercetare ale caracteristicii de viteză (Fig. 3.15). Analiza demonstrează că biodieselul B100 are în raport cu motorina densitatea mai mare cu 6,2% și viscozitatea- cu 97,5%. În cazul poziției constante a cremalierii pompei de combustibil doza volumică a combustibililor într-un ciclu este egală, iar cea masică deja depinde de densitatea lor. Valorile majorate ale viscozității cinematice sunt cauza înrăutățirii procesului de dispersare a particulelor de combustibil. Prin urmare, la regimul puterii maxime (turația $n = 2100 \text{ min}^{-1}$), valorile consumului orar pentru cazurile alimentării motorului DC4 11,0/12,5 cu motorină și cu biodiesel (B100) constituie $G_h = 12,95 \text{ kg/h}$ și, respectiv, $G_h = 13,96 \text{ kg/h}$ (creștere cu 7,8%), iar la regimul momentului maxim (turația $n = 1400 \text{ min}^{-1}$) – $G_h = 8,94 \text{ kg/h}$ și, respectiv, $G_h = 10,3 \text{ kg/h}$ (creștere cu 15,2%).

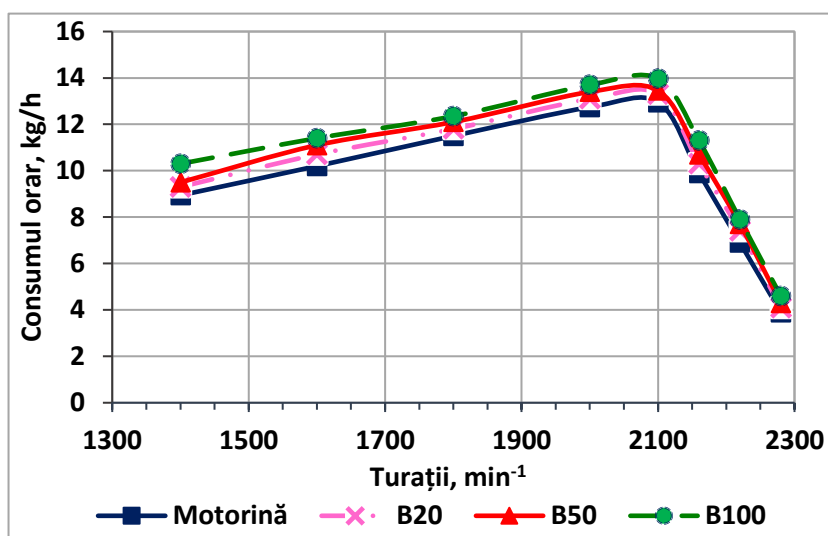


Fig. 3.15. Consumul orar de combustibil al motorului DC4 11,0/12,5 funcție de turația arborelui cotit (Banari, E., 2022a)

În cazul alimentării MAC cu amestecuri combustibile B20, B50 de asemenea s-a constatat o creștere a consumul orar de combustibil în raport cu alimentarea motorului cu motorină. Pentru cazul alimentării cu amestecuri B20 și B50, valorile consumului orar de combustibil s-au majorat comparativ cu motorina, la regimul puterii maxime (turația $n = 2100 \text{ min}^{-1}$) cu 2,7% și, respectiv, cu 3,9%, iar la regimul momentului maxim (turația $n = 1400 \text{ min}^{-1}$) - cu 4,0% și, respectiv, cu 6,3%.

Este necesar de menționat faptul că, puterea calorifică a biodieselului B100 (37,7MJ/kg), precum și a amestecurilor B20 și B50 (41,7 și 40,2MJ/kg) este mai mică, decât puterea calorifică a motorinei (42,5MJ/kg). Diferența maximă nu depășește 12,7%. 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 s-a produs o creștere a variației consumului specific efectiv g_e în raport cu alimentarea motorului cu motorină (Fig. 3.16, Tab. A10.1).

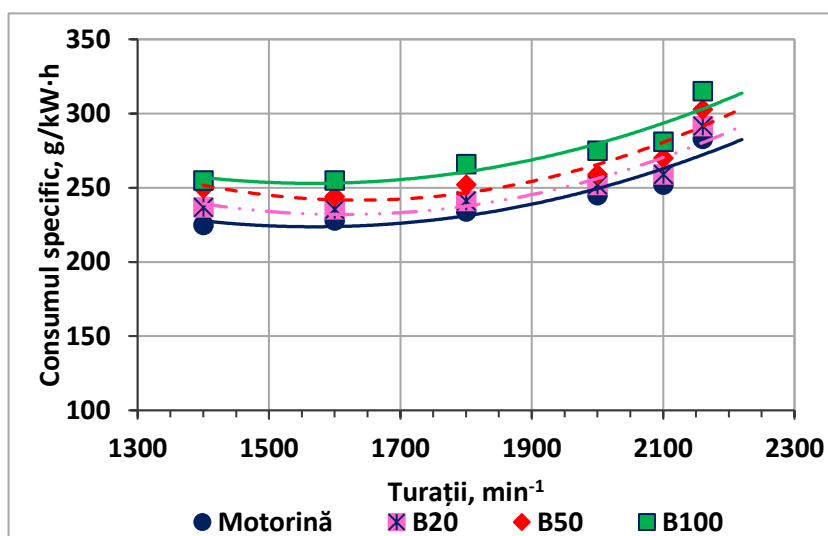


Fig. 3.16. Consumul specific de combustibil al motorului DC4 11,0/12,5 funcție de turația arborelui cotit (Banari, E., 2022a)

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 $n = 2100 \text{ min}^{-1}$):

- de la 252 până la 259 g/kW·h (cu 2,8%) pentru cazul B20;
- de la 252 până la 270 g/kW·h (cu 7,1%) pentru cazul B50;
- de la 252 până la 281 g/kW·h (cu 11,6 %) pentru cazul B100;

b) la regimul momentului maxim (turația $n = 1400 \text{ min}^{-1}$):

- de la 225 până la 236,8 g/kW·h (cu 5,2 %) pentru cazul B20;
- de la 225 până la 249,5 g/kW·h (cu 10,9 %) pentru cazul B50;
- de la 225 până la 255 g/kW·h (cu 13,3 %) pentru cazul B100.

Precum au menționat și autorii (Марков, В. А., et al., 2009), 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 %.

3.5.3 Ridicarea și analiza caracteristicilor de sarcină/de reglaj

Influența compoziției amestecului combustibil, ținând cont de cantitatea adăugată al biodieselului în motorină, asupra performanței MAC a fost evaluată (Tab. A4.1-A4.5), utilizând și **caracteristici de sarcină**.

În figura 3.17 este reprezentată caracteristica de sarcină a motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină, biodiesel B100 și amestecuri de biodiesel-motorină B20, B50 la turație constantă. Pentru menținerea turației constante n a arborelui cotit s-a modificat momentul rezistent aplicat motorului (reglajul frânei) la fiecare schimbare a debitului de combustibil.

Analiza parametrilor efectivi (Fig. 3.17) demonstrează, că în cazul alimentării motorului DC4 11,0/12,5 cu biodiesel B100 și cu amestecuri combustibile B20, B50 consumul orar de combustibil G_h are valori mai mari în raport cu motorina pe întreaga gamă de variație a sarcinii P_e ($G_h^{bio} > G_h^{mot}$). Fenomenul dat are loc, deoarece la deplasarea pârghiei de comandă a pompei de injecție, din cauza valorii mai mici a puterii calorifice a biocombustibilului se majorează debitul ciclic al acestui combustibil.

Până la o sarcină de aproximativ 70÷75% N_e ($P_e = 0,5$ MPa), dependența $G_h = f(P_e)$ practic poartă un caracter liniar. De exemplu, la funcționarea MAC cu sarcină nominală ($P_e = 0,21$ MPa) consumul orar al biocombustibilului este mai înalt în raport cu motorina ($G_h = 6,9$ kg/h): pentru biodiesel B100 cu 14,5% ($G_h = 7,9$ kg/h), pentru amestecuri B20 și B50 -cu 7,2% ($G_h = 7,4$ kg/h) și, respectiv, cu 11,6% ($G_h = 7,7$ kg/h). În cazul sarcinii $P_e = 0,5$ MPa se mențin aceleași raporturi ale consumului orar dintre motorină și biocombustibili B100, B50, B20.

Consumul specific efectiv al combustibilului $g_e = G_h/P_e$ prezintă un parametru complex, care include concomitent performanța economică și energetică, de aceea valoarea g_e este importantă în aprecierea funcționării motorului. Rezultatele cercetărilor de stand (Fig. 3.17) demonstrează, că valorile consumului specific al biodieselului B100 și al amestecurilor B20, B50 sunt mai înalte în raport cu motorina, însă diferența dintre valorile g_e^{bio} și g_e^{mot} variază în dependență de sarcina motorului. În intervalul valorilor presiunii medii efective 0,2-0,4 MPa diferența ($g_e^{bio} - g_e^{mot}$) este una mică și nu depășește 4%. La sarcini mai înalte în limita $P_e = 0,4$ -0,6 MPa diferența menționată crește până la 7%.

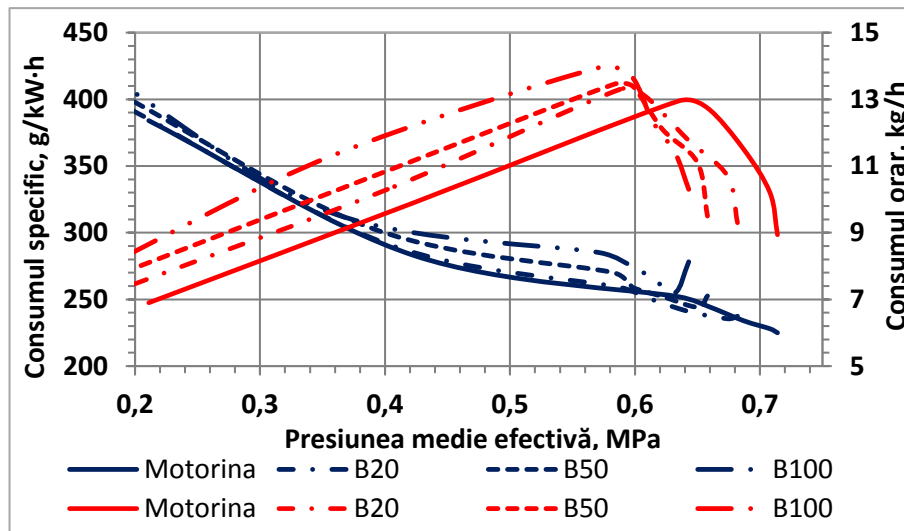


Fig. 3.17. Caracteristica de sarcină a motorului DC4 11,0/12,5 la turația $n = 2100 \text{ min}^{-1}$ (Consumul orar G_h este notat cu linii roșii, Consumul specific efectiv g_e – cu linii albastre) (Banari, E., 2023)

Valorile minime ale consumului specific g_e sunt identificate la diferite sarcini: în cazul alimentării MAC cu biodiesel B100 $g_e^{\min} = 255,2 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$ la $P_e = 0,64 \text{ MPa}$, iar pentru amestecuri consumul specific a alcătuit $g_e^{\min} = 235,5 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$ pentru B20 ($P_e = 0,67 \text{ MPa}$) și, respectiv, pentru cazul B50 $g_e^{\min} = 244,2 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$ ($P_e = 0,65 \text{ MPa}$). Valoarea minimă a consumului specific al motorinei este egală cu $g_e^{\min} = 225,6 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$ ($P_e = 0,71 \text{ MPa}$).

Sporirea în limita de 4%-7% a consumului specific efectiv g_e și a celui orar G_h de combustibil se poate de explicat prin valoarea mai redusă a căldurii de ardere a biodieselului B100 și a amestecurilor B50, B20 comparativ cu cea a motorinei pure. Valoarea minimă a consumului specific de combustibil se obține la alimentarea MAC cu motorină și biocombustibil în intervalul sarcinilor mici, respectiv, al presiunii medii efective de $P_e = 0,64\text{-}0,71 \text{ MPa}$ (Fig. 3.17). În cazul alimentării motorului cu motorină g_e^{\min} se află la $P_e = 0,71 \text{ MPa}$, iar la alimentarea cu biodiesel pur și cu amestec biodiesel-motorină valorile minime a consumului specific corespund sarcinii $P_e = 0,64 \text{ MPa}$ (B100) și pentru cazul B20 și B50 g_e^{\min} s-a evidențiat la sarcina $P_e = 0,67 \text{ MPa}$ și respectiv la sarcina $P_e = 0,65 \text{ MPa}$. Evident, că adaosul biodieselului în motorină modifică caracterul procesului de formare a amestecului de ardere și, în consecință, caracteristicile procesului de combustie.

Exploatarea mijloacelor tehnice agricole în procesul de realizare a diverselor operațiuni tehnologice necesită de cele mai multe ori funcționarea motoarelor acestora pe ramura regulatorului a caracteristicii complete sau parțiale, când turația arborelui cotit este apropiată de cea nominală. În legătură cu aceasta au fost ridicate **caracteristicile de regulator** a motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină, biodiesel B100 și cu amestec biodiesel-motorină B20, B50 (Tab.

A4.1-A4.5). Caracteristicile susmenționate oferă o reprezentare generală a stării tehnice a motorului și a tendințelor de modificare a principalilor parametri la utilizarea în MAC a biodieselului B100 și a amestecurilor B20, B50. După cum se poate observa din figura 3.18, la alimentarea motorului DC4 11,0/12,5 cu biodiesel și cu amestecuri de combustibili, nu s-au constatat modificări semnificative pe ramura regulatorului a caracteristicii, iar pe ramura de activitate a corectorului s-a stabilit o scădere a puterii efective N_e cu 6,4 kW pentru biodiesel B100, iar pentru cazul B20, B50 - cu 1,6 kW și, respectiv, cu 3,5 kW în raport cu motorina la turația arborelui cotit $n = 1400 \text{ min}^{-1}$.

Valoarea momentului efectiv M_t al motorului crește pe ramura regulatorului deoarece acesta cu majorarea sarcinii modifică poziția cremalierii pompei de injecție și majorează debitul ciclic de combustibil (Fig. 3.18). Sporirea momentului efectiv al motorului pe ramura de activitate a corectorului se realizează datorită funcționării acestuia, care oferă posibilitatea de a majora debitul ciclic al combustibilului. Valorile mai mici ale momentului efectiv M_t pe ramura corectorului sunt cauzate, în general, de înrăutățirea procesului de formare a amestecului de ardere și de majorarea pierderilor de căldură la arderea combustibilului.

Totodată a fost stabilit, că majorarea fracției biodieselului în amestecul combustibil de la 20% până 100% este cauza diminuării puterii nominale N_e a motorului. De exemplu, la alimentarea motorului DC4 11,0/12,5 cu biodiesel B100 și cu amestecuri B50, B20 puterea nominală N_e a motorului s-a micșorat cu aproximativ 8,7% în raport cu motorina din cauza că puterea calorifică a biodieselului (37,7 MJ/kg) și a derivatelor acestuia este mai inferioară în raport cu puterea calorifică a motorinei (42,5 MJ/kg).

Consumul orar G_h al biodieselului și al amestecurilor biocombustibile a crescut în raport cu motorina la majorarea sarcinii motorului până la puterea nominală (Fig. 3.18), ceea ce se explică prin valorile mai mici ale puterii calorifice pentru biocombustibili și, drept urmare, mărirea debitului ciclic de combustibil (regulatorul deplasează cremaliera pompei de injecție în direcția majorării debitului de combustibil). Micșorarea consumului orar de combustibil G_h pe ramura corectorului a caracteristicii, se obține datorită scăderii bruște a turației arborelui cotit și diminuarea debitului de combustibil în camera de ardere a cilindrului motorului.

Totodată pe ramura regulatorului la sarcini mici s-a stabilit o creștere a consumului specific g_e de biocombustibil în raport cu motorina cu 53,2 g/kW·h pentru biodiesel B100, cu 12,4 g/kW·h și 27,6 g/kW·h pentru cazul B20 și, respectiv, B50. Iar la sarcini majorarea g_e a fost până la 33 g/kW·h pentru biodiesel B100, pentru amestecurile combustibile- cu 7 g/kW·h (B20) și, respectiv, 18 g/kW·h (B50) (Fig. 3.18).

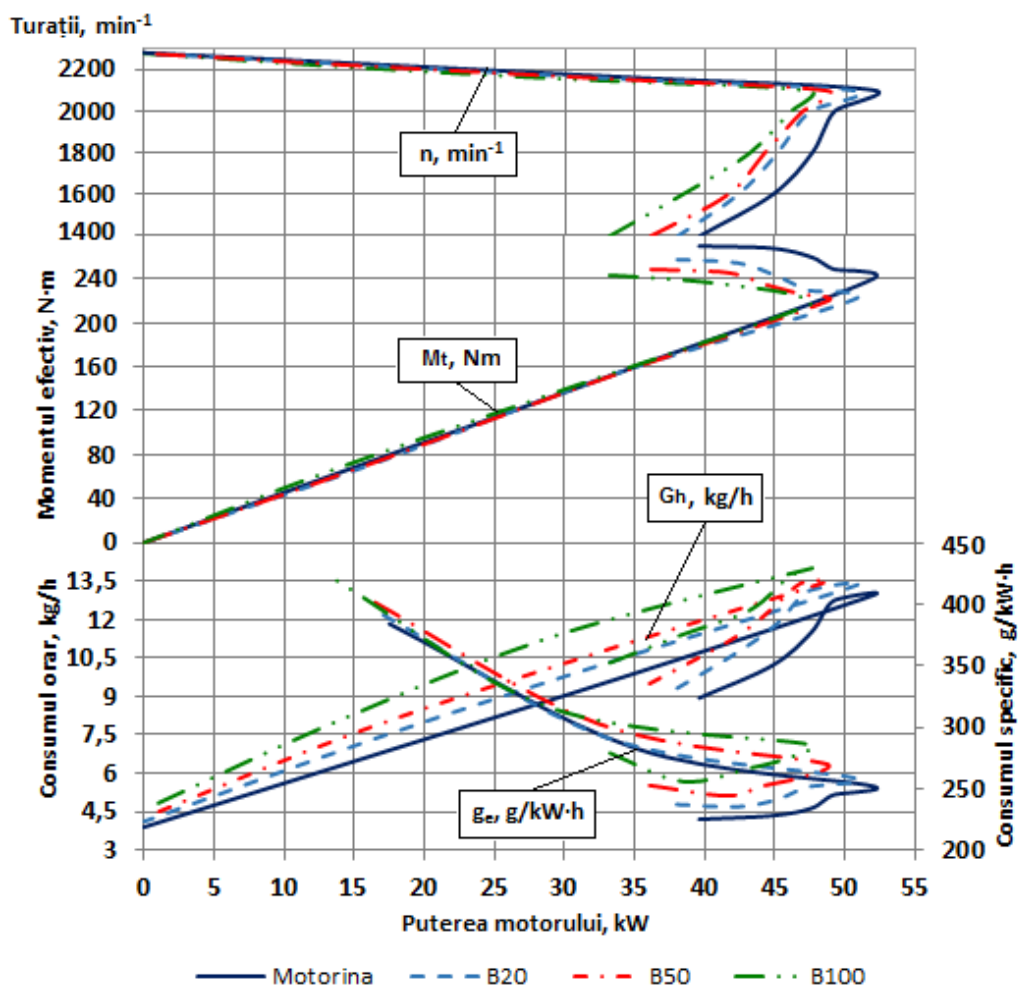


Fig. 3.18. Caracteristica de regulator a motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină, biodiesel și amestecuri de combustibili (Banari, E., 2023)

Cercetările noastre realizate pe stand demonstrează, că valorile consumului specific g_e al tuturor combustibililor studiați au tendința de scădere substanțială (de la 400 până la 250-280 g/kW·h) pe ramura regulatorului (Fig. 3.18) cu majorarea sarcinii motorului de la 16,5 până la 55 kW. Una din cauzele acestui fenomen extrem de pozitiv în exploatarea reală a MAC este majorarea randamentului mecanic η_m în aceste condiții (Fig. 3.19). Altă cauză a diminuării g_e în zona caracteristicii de viteză cu încărcarea motorului de la sarcini minime până la cele nominale (Fig. 3.18) este pornirea întârziată a corectorului debitului ciclic de combustibil. Drept urmare, combustibilul injectat în camera cilindrului arde practic complet, fiind observată o majorare ușoară a randamentului indicat η_i (Fig. 3.19).

Eficiența integrală a procesului de ardere este caracterizată prin randamentul efectiv η_e al motorului. Valorile acestui indicator integral (Fig. 3.19) demonstrează, că la alimentarea motorului DC4 11,0/12,5 cu biodiesel pur B100 randamentul efectiv η_e are valori mai înalte cu până la 20% în raport cu motorina în intervalul puterii motorului de la 5 până la 35 kW.

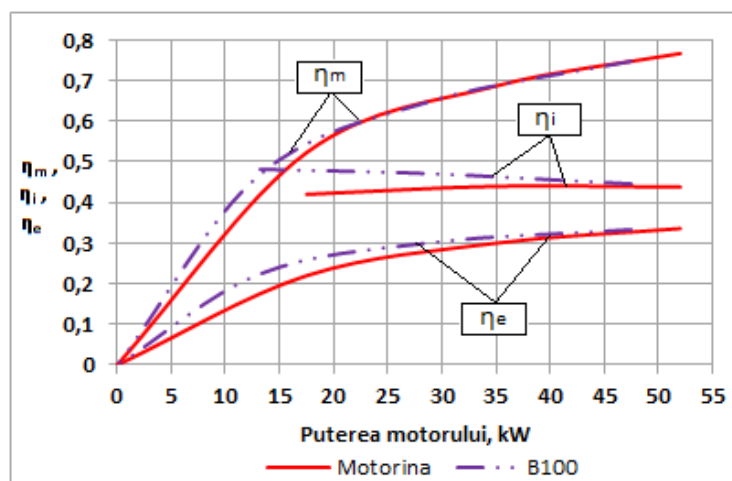


Fig. 3.19. Modificarea randamentului mecanic η_m , indicat η_i și efectiv η_e la funcționarea motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină și biodiesel funcție de sarcină Ni/Ne (Banari, E., 2023)

În sectoarele marginale ale dependenței $\eta_e = f(P_e)$ valorile randamentului efectiv coincid pentru ambele cazuri: alimentarea cu B100 și cu motorină. Fenomenul evidențiat demonstrează arderea mai completă și eficientă a biodieselului și a derivatelor acestuia în raport cu motorina.

3.6 Concluzii la capitolul 3

Rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale, obținute în teză în vederea valorificării potențialului energetic al biodieselului și amestecurilor formate din biodiesel și motorină, servesc drept temei pentru formularea următoarelor concluzii:

1. S-a constatat în cadrul studiilor de laborator, 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 fizico-chimice și de exploatare ale 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 antiincendiare.

2. S-a stabilit în baza cercetărilor tribologice că, valorile medii ale coeficientului de frecare în cupla crom-fonta cenușie, 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. Creșterea coeficientului de frecare în mediul biocombustibililor cercetați s-a produs, probabil, din cauza valorilor mai înalte ale viscozității lor. 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. 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).

3. 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. Este demonstrat, că datorită prezenței oxigenului **O** în molecula biodieselului, la funcționarea MAC cu acest combustibil sporește completitudinea arderii a biocombustibilului și nu este necesară modificarea constructivă a camerei de ardere și a sistemului de alimentare MAC. În baza calculelor teoretice realizate prin construirea diagramei indicate s-a constatat faptul, că fazele de ardere ale biodieselului diferă în proporții mici în raport cu motorină, deoarece proprietățile fizico-chimice ale biodieselului au dat posibilitatea aranjamentului arderii la același nivel după faze cu motorină, parametrii constructivi ai camerei de ardere pentru ambii tipuri de combustibil fiind identice. Rezultatele cercetărilor identifică faptul, că randamentul efectiv η_e al motorului DC4 11,0/12,5 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 (Banari, E., 2023).

4. S-a dovedit, că alimentarea cu biodiesel B100 și cu amestecuri B20, B50, în raport cu motorină, nu necesită reglarea suplimentară a sistemului de alimentare cu combustibil. În aceste condiții s-a evidențiat o creștere cu 7,8% 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%. Fenomenul dat se poate explica prin valorile mai înalte ale densității biocombustibililor. Totodată, majorarea fracției biodieselului în amestec cu motorină diminuează puterea nominală N_e a motorului, cea mai mare scădere fiind în cazul alimentării motorului DC4 11,0/12,5 cu biodiesel B100- cu 8,7% în raport cu motorină. Cauza acestui efect 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). Tot din cauza sus-menționată, în procesul de funcționare a MAC cu biodiesel B100 și cu amestecuri B50, B20 la regimul puterii maxime (turația $n=2100 \text{ min}^{-1}$) consumul specific efectiv g_e se majorează, în raport cu motorină, cu 11,6% (B100), cu 7,1% (B50) și, respectiv, cu 2,8% (B20). La regimul momentului maxim al motorului (turația $n=1400 \text{ min}^{-1}$) consumul g_e crește pentru cazul B100 cu 13,3%, B50- cu 10,9% și, respectiv, B20- cu 5,2% (Banari, E., 2010; Banari, E., 2022a).

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

Rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale, obținute în capitolul 3, demonstrează proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale amestecurilor biodiesel-motorină, precum și performanțele energetice, economice ale motorului cu aprindere prin comprimare alimentat cu aceste amestecuri. Pe lângă rezultatele obținute, valorificarea potențialului biodieselului necesită realizarea activităților de apreciere a efectelor de la combustia lui asupra mediului ambiant și de încercare în condițiile de producție cu exploatarea motoarelor sus-menționate, ceea ce va permite să efectuăm o evaluare amplă a tuturor efectelor posibile de la implementarea eventuală a amestecurilor biodiesel-motorină pentru alimentarea MAC.

4.1 Studiul compoziției gazelor de eșapament

4.1.1 Obiectivele specifice și metodică cercetărilor

Compoziția gazelor de eșapament este un parametru important al funcționării motoarelor cu ardere internă, deoarece reflectă starea tehnică a motoarelor, completitudinea arderii combustibilului (Бирюков, В. В., 2017; Горбунов, В. В., și Патрахальцев, Н. Н., 1998; Алексеев, В. П. и др., 1990; Лиханов, В. А., și Сайкин, А. М., 1994; Марков, В. А., и др., 2002). În condițiile de intensificare a activității antropogene și a schimbărilor climatice provocate de acumularea în atmosferă a gazelor cu efect de seră (GES), se acordă o importanță deosebită reducerii emisiilor de noxe în gazele de eșapament rezultate din procesul de exploatare a motoarelor cu ardere internă (Bojariu, R., et al., 2021). Problema dată este actuală și pentru motoare cu aprindere prin comprimare din cauza cotei specifice la nivel înalt de aplicare a acestor motoare în diferite domenii ale economiei mondiale și naționale (transport, agricultură, industrie) (Александров, А. А., 2014). Prin urmare, cum și a fost identificat în capitolul 1, pentru economia mondială a devenit drept un obiectiv de bază reducerea toxicității gazelor de eșapament concomitent cu îmbunătățirea performanțelor energetice și economice ale MAC.

Reieșind din cele sus-menționate, pentru a atinge scopul stipulat în teză a fost realizat studiul compoziției emisiilor de noxe în gazele de evacuare ale MAC. Ținând cont de importanța problemei, cercetările au fost efectuate cu realizarea următoarelor obiective:

1. Măsurarea în condițiile experimentelor monofactoriale a valorilor de emisii ale substanțelor rezultate din funcționarea motorului diesel cu diverse sarcini N_i/N_e , turații n ale arborelui cotit și compoziții ale combustibililor studiați.

2. Analiza emisiilor de noxe în gaze de eșapament (monoxid de carbon CO, bioxid de carbon CO₂, hidrocarburi C_nH_m și particule solide (fumegearea)) rezultate din procesul de combustie în MAC. Stabilirea intervalelor valorilor de referință pentru factorii de influență asupra emisiilor poluante.
3. Alegerea unui plan de cercetare polifactorial și realizarea experimentelor conform acestuia.
4. Obținerea modelelor matematice cu prezentări grafice și optimizarea valorilor compoziției biocombustibilului și ale parametrilor de funcționare MAC.

Studiul compoziției gazelor de eșapament a fost realizat pe standul KI-5543 cu utilizarea motorului de tip DC4 11,0/12,5 (model D-241L). În procesul cercetărilor de stand pentru determinarea concentrației a emisiilor poluante în gazele de eșapament s-a folosit analizatorul de gaze de tipul Cartec seria CET 2000. Erorile de măsurare a analizatorului de gaze utilizat în acest capitol sunt indicate în tabelul A2.5, iar abaterile $\pm 3\sigma$ de la valorile medii ale rezultatelor măsurărilor au fost completate în tabelul A6.1. La etapa cercetărilor monofactoriale pentru alimentarea motorului DC4 11,0/12,5 s-au utilizat motorina, amestecurile combustibile B20, B50 și biodiesel pur B100.

În calitate de factor variabil a servit sarcina motorului care a fost variată în limita $N_i/N_e = 0\%-75\%$, turația arborelui cotit, având valorile constante $n = 2100 \text{ min}^{-1}$ în majoritatea experimentelor. Iar în cazul măsurărilor concentrației fumului turația a avut două valori: $n = 1000$ și 2100 min^{-1} .

4.1.2 Rezultatele cercetărilor monofactoriale ale substanțelor emise în gazele de eșapament

La etapa cercetărilor monofactoriale în gazele de eșapament s-au măsurat fracțiile mai multor substanțe, care reflectă nu numai nocivitatea substanțelor de ardere, ci și completitudinea procesului de ardere în MAC: monoxid de carbon CO, bioxid de carbon CO₂, hidrocarburi C_nH_m, oxigen O₂, emisii de particule solide (fumegearea). Monoxidul de carbon CO se formează la arderea incompletă a combustibililor în camera de ardere a cilindrului și prezintă o substanță mult mai nocivă, decât bioxid de carbon CO₂. Rezultatele obținute în urma cercetărilor de stand ale motorului DC4 11,0/12,5 (Tab. A6.1, Fig. 4.1, Tab. A10.2) 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 $0,010 \div 0,005$ %vol. mai redusă în raport cu motorina, cu utilizarea căreia fracția CO diminuează în limita $0,050 \div 0,020$ %vol. în același interval de sarcini ale motorului.

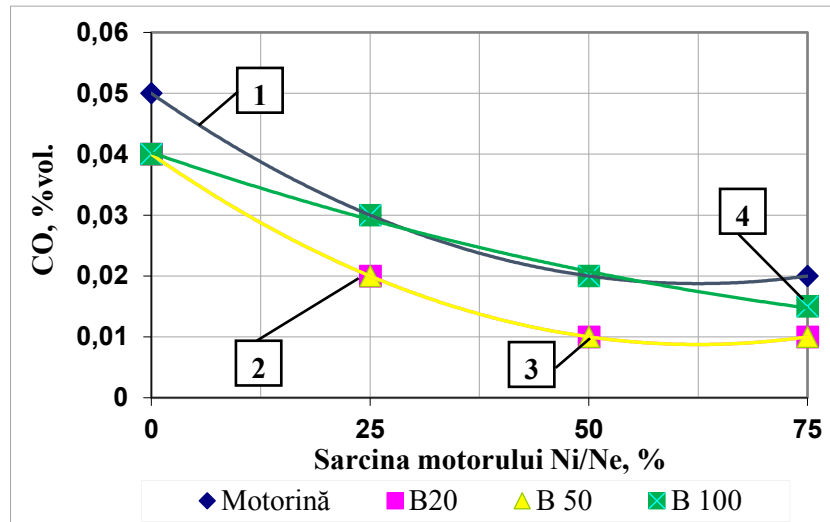


Fig. 4.1. Frația volumetrică CO în gazele de eșapament funcție de sarcina motorului (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100; $n=2100 \text{ min}^{-1}$) (Banari, E., 2022b)

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 stabile 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 $N_i/N_e = 75\%$ 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%.

Fracția bioxidului de carbon CO_2 în gazele de eșapament prezintă un indiciu al eficienței procesului de ardere a combustibilului în MAI. În același motor alimentat cu un anumit combustibil între fracțiile oxidului de carbon CO și ale bioxidului de carbon CO_2 în gazele de eșapament există o corelație: dacă condițiile de combustie în camera de ardere sunt optime, diminuează concentrația CO și, respectiv, crește concentrația de CO_2 , și viceversa.

La funcționarea MAC cu toate tipurile de combustibili supuși testării (Fig. 4.2, Tab. A10.2) se observă o majorare a emisiei de CO_2 pe tot intervalul de sarcini ale motorului de la 0 până la 75% N_e . 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% N_e emisia de CO_2 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 ($CO_2 = 6,89$ %vol.). În cazul alimentării cu amestecul B20 la gradul de solicitare a motorului de 75% N_e , de asemenea, are loc o creștere a concentrației emisiei CO_2 în raport cu motorină cu 0,42 %vol. (valoarea absolută-7,31 %vol.). Analiza valorilor CO , CO_2 în gazele de eșapament (Fig. 4.1; 4.2) demonstrează, că cu majorarea sarcinii motorului cantitatea specifică a emisiei de CO_2 crește, prezentând un proces firesc din cauza majorării cantității ciclice a combustibilului. Acest fapt demonstrează o funcționare eficientă a motorului alimentat cu combustibilii studiați, în special, cu biocombustibili.

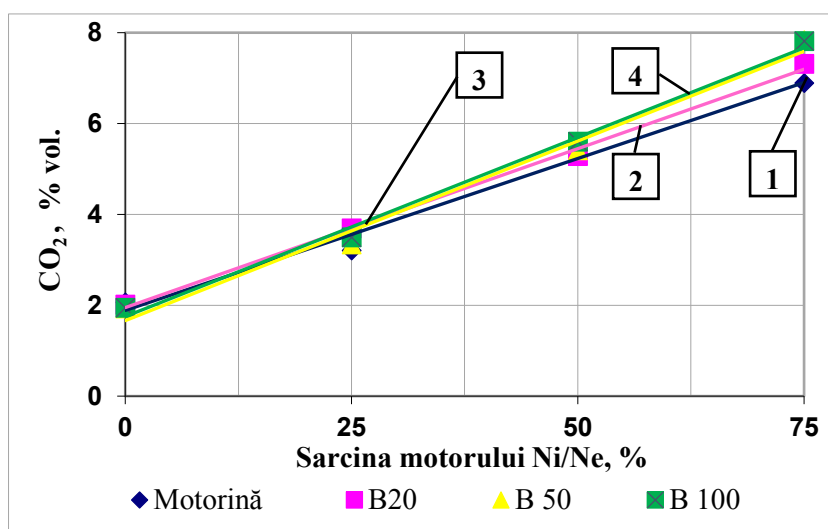


Fig. 4.2. Frația volumetrică CO_2 în gazele de eșapament funcție de sarcina motorului (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100; $n=2100 \text{ min}^{-1}$) (Banari, E., 2022b)

Fracția hidrocarburilor C_nH_m în gazele de eșapament este un indiciu important din punct de vedere atât ecologic (C_nH_m sunt substanțe nocive), cât și economic (hidrocarburile nearse prezintă pierderile irecuperabile). Datele prezentate în figura 4.3 (Tab. A10.2) 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% N_e , iar la sarcina de 75% N_e 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% N_e . 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 .

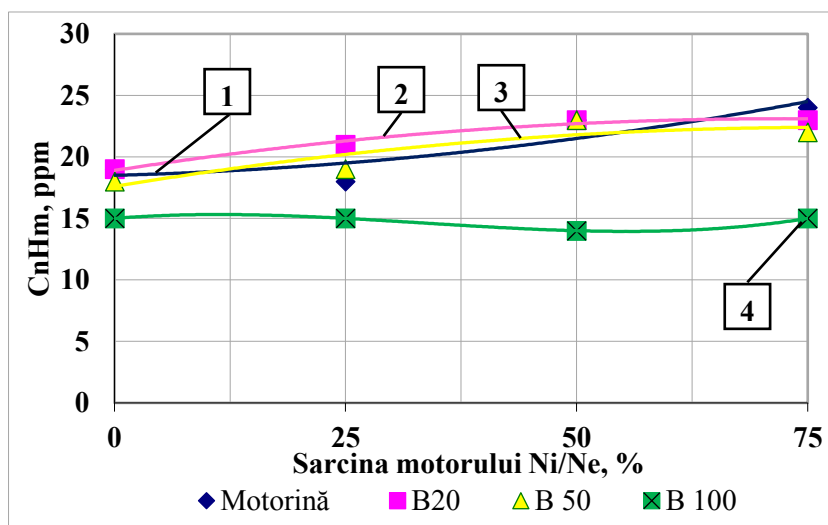


Fig. 4.3. Frația volumetrică C_nH_m în gazele de eșapament funcție de sarcina motorului (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100; $n=2100 \text{ min}^{-1}$) (Banari, E., 2022b)

Așadar, cu mărirea concentrației a 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.

Cantitatea oxigenului din componența gazelor de evacuare depinde de coeficientul de exces al aerului și nivelul de completitudine de ardere a elementelor combustibile C, H. Din figura 4.4 (Tab. A10.2) se poate observa că, la alimentarea motorului de tip DC4 11,0/12,5 cu biodieselul pur și cu amestecurile biodiesel-motorină, în intervalul de variere a sarcinii motorului de la 0 până la 75% N_e scade concentrația oxigenului O_2 de la 18,2% vol. până la 10,6 %vol. (scăderea de 1,72 ori). În aceleași condiții și cu alimentarea motorului cu motorină concentrația oxigenului se micșorează de la 17,9 până la 11,4 %vol. (scăderea de 1,57 ori). Adică, dinamica micșorării fracției oxigenului în gazele de evacuare este mai benefică în cazul folosirii biocombustibililor.

Analiza emisiilor de CO_2 și O_2 în gazele de eșapament (fig. 4.2, 4.4) demonstrează o corelare dintre aceste: majorarea sarcinii motorului în limita $N_i/N_e = 0\%-75\%$ are drept consecință creșterea cantității specifice de CO_2 și diminuarea sincronă a cantității de O_2 în gaze de eșapament, ambele fenomene fiind consecința majorării specifice a cantității ciclice de combustibilul ars. Totuși, analizând rezultatele obținute, se poate de constatat, că esterul metilic al uleiurilor grași și derivatele acestuia ard în camera de lucru a cilindrului motorului mai complet decât motorina, ceea ce au menționat și autorii (Hăbășescu, I., et al., 2009).

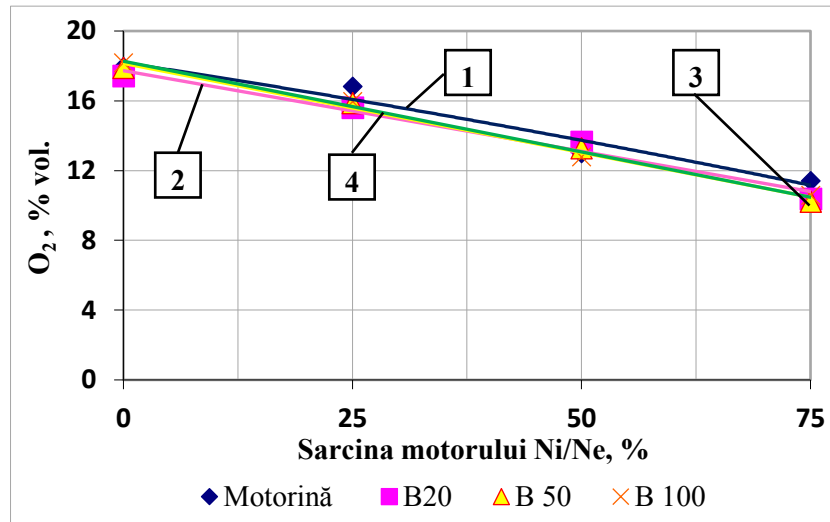


Fig. 4.4. Emisia de O₂ în gazele de eșapament funcție de sarcina motorului (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100) (Banari, E., 2022b)

Specificul motoarelor cu aprindere prin comprimare constă în faptul, că din cauza arderii incomplete a combustibilului gazele de eșapament conțin relativ mai multe particule solide de combustibil nears (funingini), concentrația cărora, la fel, reflectă performanțele ecologice și economice ale motorului. De aceea în documentele normative (GOST 17.2.2.02-98) cantitățile fumului emis cu produse de ardere prezintă un indiciu de bază, care nu trebuie să depășească 69,5% din spectrul de absorbție a fluxului luminos.

Cantitățile emisiilor de fum în gazele de evacuare determinate în urma cercetărilor experimentale (Anexa A6.2, figura 4.5) 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 emisiei de fum.

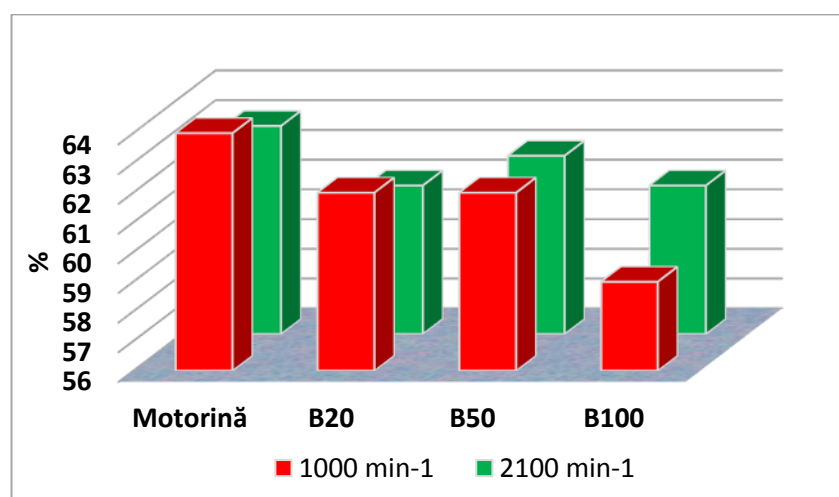


Fig. 4.5. Valorile emisiei de fum la funcționarea motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu combustibilii cercetați (primul rând $n = 1000 \text{ min}^{-1}$, al doilea rând $n = 2100 \text{ min}^{-1}$) (Banari, E., 2022b)

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 emisiei de fum a alcătuit 64%, iar pentru amestecurile combustibile B20, B50 concentrația emisiei 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 emisiei 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.

Rezultatele cercetărilor monofactoriale de stand ale concentrațiilor substanțelor emise în gazele de eșapament ale motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină (martor) și cu combustibilii experimentali (biodiesel B100, amestecuri formate din biodiesel și motorină B20, B50) relevă faptul că, drept urmare a utilizării biocombustibililor se poate de evidențiat tendința de eficientizare a arderii acestora în camera de lucru a cilindrului, rezultatul fiind diminuarea concentrației medie a substanțelor nocive (CO , C_nH_m) până la 15% și a fumului- până la 6%. Biodieselul prezintă un produs de esterificare a uleiurilor grași (de regulă, de origine vegetală) și din cauza aceasta este o sursă regenerabilă cu recircularea bioxidului de carbon CO_2 , ceea ce majorează substanțial efectul ecologic benefic al biodieselului și competitivitatea lui în condițiile schimbărilor climatice.

Rezultatele obținute în etapa 4.1.2 a prezentei lucrări permit alegerea funcțiilor de replică, precum și a factorilor de influență cu intervalele valorilor lor pentru optimizarea compoziției biocombustibilului și a regimurilor de funcționare MAC spre ameliorarea situației ecologice.

4.1.3 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 ale lor sunt prezentate în tabelul 4.1. 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/N_e s-a realizat, utilizând planul de cercetare Box-Behnken 3^3 (Montgomery, Douglas, C., 2013; Карпушкин, С. В., și Глебов, А. О., 2017; Сидняев, Н. И., 2012; Ferreira, S. L. C., 2007) (Tab. 4.1).

Tabelul 4.1. 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 înconjurător în laborator - 20±2 °C.

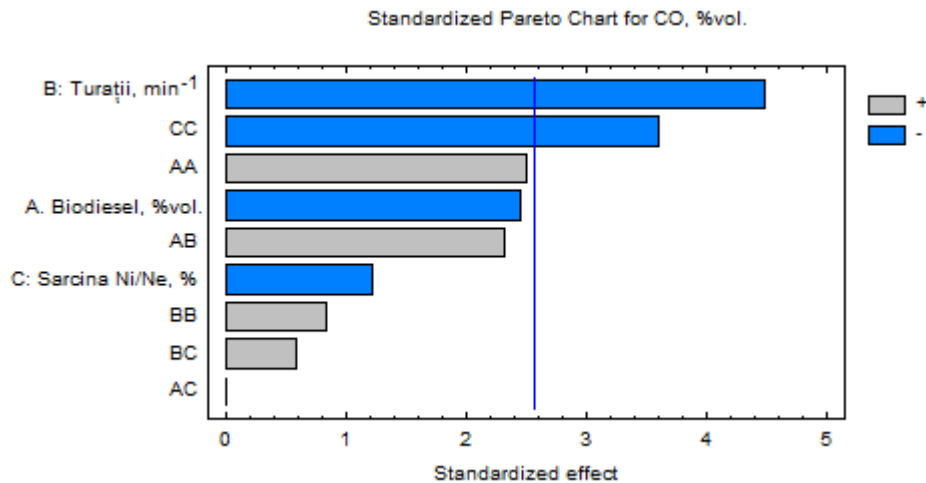


Fig. 4.6. Diagrama Pareto standardizată cu niveluri de semnificație ale factorilor asupra fracției CO, [%vol.]

În urma realizării experimentelor polifactoriale au fost obținute rezultate (Anexa A7.1) și calculate ecuațiile de regresie. Analiza efectelor standardizate ale diagramei Pareto asupra fracției de CO în gazele de eșapament a stabilit influența dominantă a următorilor factori: turației a arborelui cotit n , sarcinii motorului N_i/N_e și fracției biodieselului în amestec C_B (Fig. 4.6).

De aceea în ecuația de regresie pentru cantitățile emise ale oxidului de carbon CO s-au inclus următorii factori: turația arborelui cotit X_2 , sarcina motorului (X_3^2 , X_3), fracția biodieselului în amestec (X_1^2 ; X_1) și interacțiune dintre fracția biodieselului și turația arborelui cotit ($X_1 \cdot X_2$). După prelucrarea rezultatelor experimentale, ecuația de regresie care reflectă fracția CO în gazele de eșapament se va prezenta în felul următor:

$$\begin{aligned}
 \text{CO} = & 0,03 - 0,0075 \cdot X_1 - 0,01375 \cdot X_2 - 0,00375 \cdot X_3 + 0,01125 \cdot X_1^2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\
 & - 0,01625 \cdot X_3^2
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Dependențele grafice ale efectelor principale pentru CO (Fig. 4.7) demonstrează că la varierea sarcinii motorului N_i/N_e de la -1,0 până la +1,0 (valorile codate), ceea ce corespunde intervalului valorilor absolute în limita $N_i/N_e=50-100\%$, fracția CO oscilează de la 0,01 %vol. până la 0,03 %vol., valoarea maximă obținându-se la sarcina $N_i/N_e=75\%$ (Fig. 4.7). De menționat, că și în cadrul cercetărilor monofactoriale (Fig. 4.1) în intervalul sarcinii $N_i/N_e=50-75\%$ emisiile CO au crescut în cazul alimentării motorului cu B20, B50 sau s-au menținut (motorină, B100). Este important, că în intervalul sarcinilor maxime $N_i/N_e=75-100\%$, care sunt recomandate pentru exploatarea MAC, emisiile CO scad până la nivelul minim (0,01 %vol.). Cauza acestui efect benefic este, probabil, majorarea completitudinii arderii combustibilului, în special a amestecurilor B20, B50.

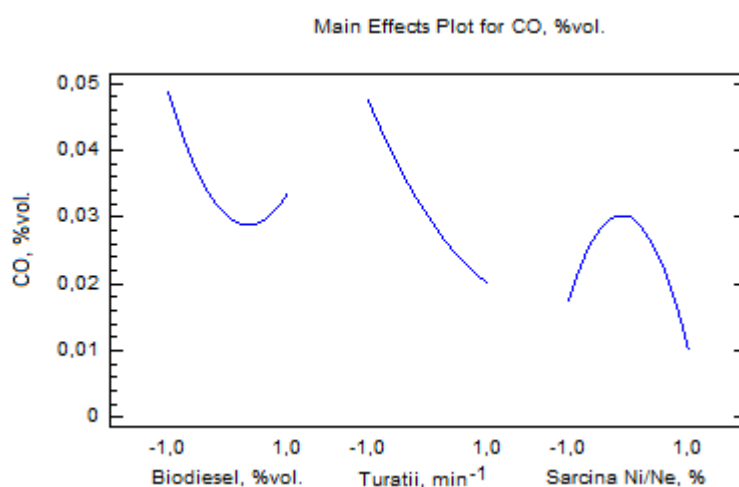


Fig. 4.7. Dependențe ale efectelor principale asupra emisiei CO funcție de compoziția biocombustibilului, turațiile arborelui cotit și sarcina motorului

Majorarea turațiilor arborelui cotit de la 1500 min^{-1} până la 2100 min^{-1} (intervalul valorilor codate -1...+1) îmbunătățește procesul de combustie cu scăderea fracției CO de la 0,045 %vol. până la 0,020 %vol. Ținând cont, că motorul cercetat DC4 11,0/12,5, model D-241L, dezvoltă puterea maximă la turația arborelui cotit de 2100 min^{-1} , tendința modificării a emisiilor de CO în gazele de eșapament funcție de turațiile n arborelui cotit este analogică dependenței emisiilor de CO funcție de sarcinile motorului în intervalul $N_i/N_e=75-100\%$ (Fig.4.7).

Varierea fracției biodieselului C_B în limita 0-40 %vol. a permis să fie identificată compoziția amestecului care asigură valoarea minimă a emisiilor de CO cu fracția biodieselului de circa 25% (B25) (Fig. 4.7). Analiza valorilor obținute ale emisiilor CO pe suprafața de răspuns (Fig. 4.8) și pe proiecția acestei suprafețe (Fig. 4.9) demonstrează o corelare dintre aceste rezultate și dependențele grafice ale efectelor principale pentru emisiile CO în gaze de eșapament funcție de fracția biodieselului în amestec C_B și turațiile arborelui cotit al motorului n (Fig. 4.7). Analiza dependențelor grafice (Fig. 4.7, 4.8) 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) ($1900 \div 2100$ min⁻¹).

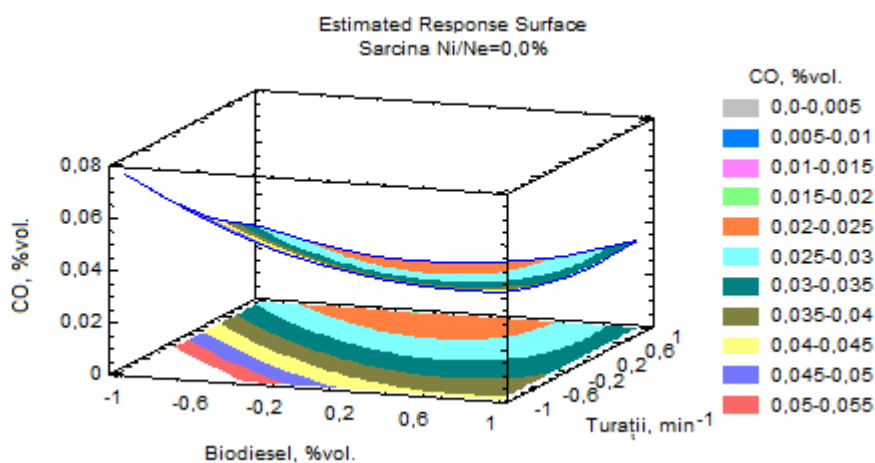


Fig. 4.8. Dependența fracției CO în gaze de eșapament funcție de compoziția biocombustibilului și turațiile arborelui cotit

Rezultatele calculelor de optimizare în baza modelului matematic (4.1) 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 $N_i/N_e = 100\%$ (Tab. A7.2). Valorile sus-menționate ale compoziției biocombustibilului și ale regimurilor de funcționare asigură emisiile CO la nivelul minim de $0,0024$ %vol..

Veridicitatea rezultatelor obținute este confirmată de criteriul Student, care are valoarea înaltă $R^2 = 91,65\%$. Eroarea standard a estimării este de $0,00866025$, iar abaterea medie absolută a alcătuit $0,004$ (Tab. A7.5).

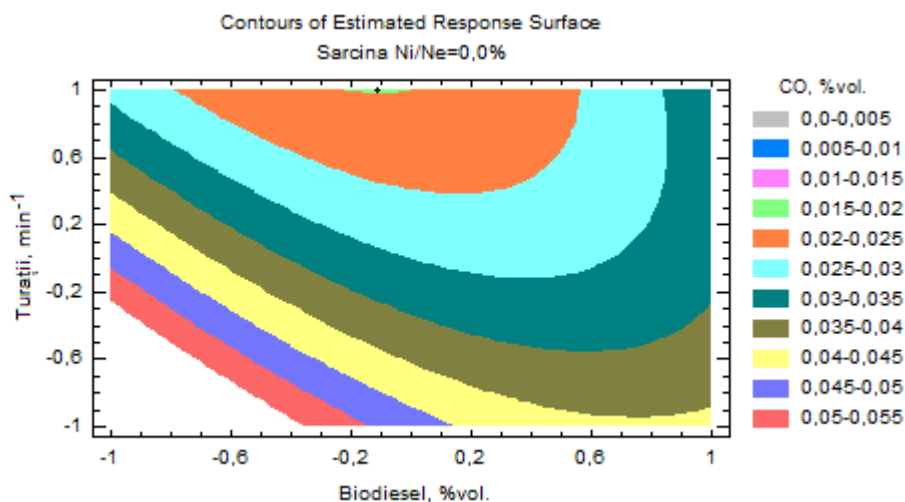


Fig. 4.9. Proiecția suprafeței de replică a dependenței fracției CO în gazele de eșapament funcție de fracția de biodieselului și turațiile arborelui cotit

Analiza efectelor standardizate din diagrama Pareto asupra emisiei de hidrocarburi C_nH_m în gaze de eșapament indică influența într-un mod semnificativ a fracției biodieselului $C_B (X_1)$, a turațiilor arborelui cotit $n (X_2)$, a sarcinii motorului $N_i/N_e (X_3, X_3^2)$ și a interacțiunilor dintre fracția biodieselului și sarcina motorului ($X_1 \cdot X_3$) (Fig. 4.10).

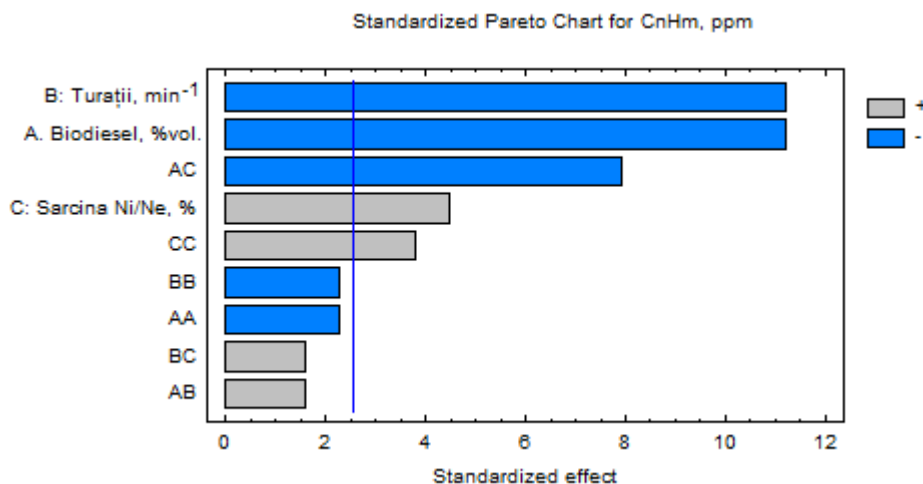


Fig. 4.10. Diagrama Pareto standardizată cu niveluri de semnificație ale factorilor asupra fracției de C_nH_m , [ppm]

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

$$C_nH_m = 25,0 - 1,25 \cdot X_1 - 1,25 \cdot X_2 + 0,5 \cdot X_3 - 1,25 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,625 \cdot X_3^2 \quad (4.2)$$

Criteriul Student pentru dependența $C_nH_m = f(C_B, n, N_i/N_e)$ are valorile înalte $R^2 = 98,64\%$, iar valoarea erorii standard a estimării a alcătuit 0,316228 și a abaterii medii absolute - 0,133333 (Tab. A7.6).

Ecuația de regresie (4.2) prezentată grafic în figurile 4.11- 4.13 atestă corectitudinea ipotezei teoretice, formulate de noi anterior în capitolul 3 (pct. 3.2) 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 emisiei hidrocarburilor C_nH_m funcție de sarcina motorului în cadrul cercetărilor polifactoriale (Fig. 4.11) în intervalul $N_i/N_e=50\%-75\%$ (intervalul valorilor codate (-1)...0) coincide cu rezultatele obținute în cadrul cercetărilor monofactoriale (Fig. 4.3). 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 ne semnificativă 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 .

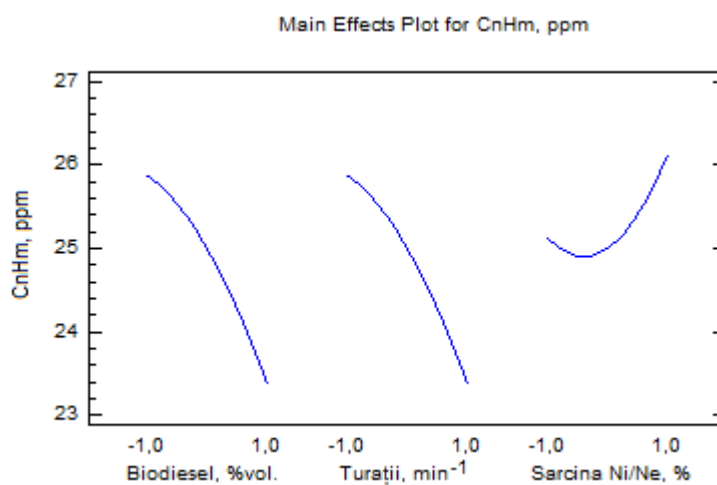


Fig. 4.11. Dependente ale efectelor principale pentru C_nH_m funcție de fracția biodieselului, de turațiile arborelui cotit și sarcina motorului

De menționat, că în publicația (Cerempei, V., 2016) sunt prezentate rezultatele cu caracter analogic privind dependența emisiilor de oxid CO și de hidrocarburi C_nH_m funcție de sarcina MAS, model ZMZ 53, alimentat cu benzina Normală-80 și cu biocombustibili E10 (fracția volumetrică a etanolului de 10 %vol.), E20, E30, E40, E50. Majorarea sarcinii motorului N_i/N_e de la 40% până la 85% a avut drept un efect sporirea emisiilor de CO și reducerea emisiilor de C_nH_m până la 2 ori.

Majorarea turațiilor arborelui cotit de la 1500 până la 2100 min^{-1} (intervalul valorilor codate $-(-1)\dots 1$) este benefică pentru cantitatea emisă de C_nH_m , care scade de la 25,9 ppm până la 23,4 ppm. De menționat, că în intervalul turațiilor $n = 1500-2100 \text{ min}^{-1}$, care include toate valorile recomandate pentru funcționarea motorului 4DC 11,0/12,5, tendința analogică cu caracter pozitiv are loc și pentru cantitatea emisă de CO (Fig. 4.7). În lucrarea (Cerempei, V., 2016) sunt prezentate rezultatele cercetărilor emisiilor de substanțe nocive (CO, C_nH_m) în procesul funcționării motorului cu aprindere prin scânteie VAZ 2103, alimentat cu biocombustibil E20 (20% etanol-80% benzină). Majorarea turațiilor arborelui cotit de la 900 min^{-1} până la 3000 min^{-1} a avut drept consecință reducerea medie a emisiilor CO până la 3 ori și a emisiilor de C_nH_m până la 2 ori funcție de temperatura agentului termic în sistemul de răcire a MAS, care a variat în limita 60-80 °C.

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%.

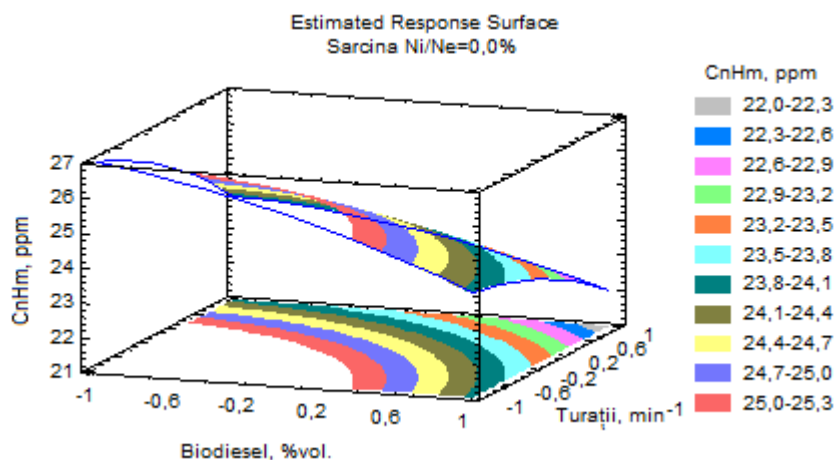


Fig. 4.12. Dependența fracției C_nH_m în gaze de eșapament funcție de fracția biodieselului și turațiile arborelui cotit

Suprafața de replică (Fig. 4.12) și proiecția suprafeței de replică asupra planului orizontal (Fig. 4.13) 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).

Rezultatele calculelor (Tab. A.4.3) în baza expresiei (4.2) 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 Ni/Ne - +0,4 (75-85%). Acestui interval corespunde fracția hidrocarburilor C_nH_m de 21,9 ppm.

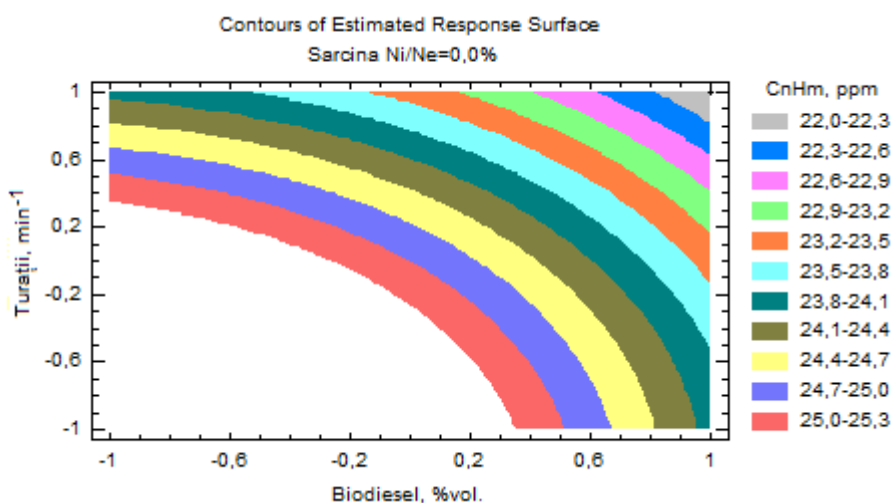


Fig. 4.13. Proiecția suprafeței de replică a dependenței fracției de C_nH_m în gazele de eșapament funcție de fracția de biodieselului și turațiile arborelui cotit

După prelucrarea matematică (Tab. A7.7, A7) 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:

$$\mathbf{Fum} = 61,0 - 1,75 \cdot X_1 + 1,875 \cdot X_3 + 2,875 \cdot X_1^2 + 1,0 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,0 \cdot X_1 \cdot X_3 \quad (4.3)$$

Ecuția (4.3) este obținută, ținând cont, că diagrama Pareto standardizată (Fig. 4.14) demonstrează că asupra emisiei fumului au influență semnificativă următorii factori: fracția biodieselului (X_1^2 , X_1), sarcina motorului (X_3), interacțiunile dintre fracția biodieselului cu sarcina motorului ($X_1 \cdot X_3$) și fracția de biodiesel cu turația arborelui cotit ($X_1 \cdot X_2$).

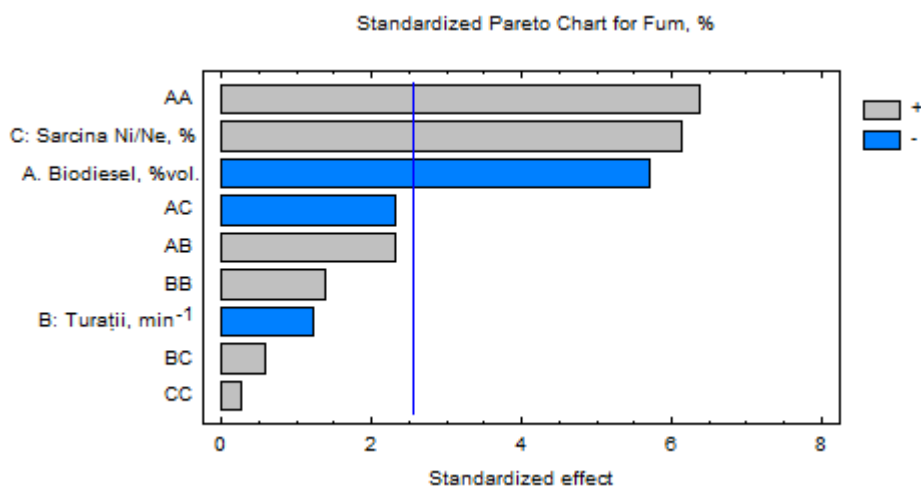


Fig. 4.14. Diagrama Pareto standardizată cu niveluri de semnificație ale factorilor pentru fracția de fum, [%]

Identic cazurilor precedente (pentru emisiile de CO, C_nH_m), măsurările efectuate ale emisiilor de fum arată valoarea înaltă a criteriului Student $R^2=96,13\%$, ceea ce din nou demonstrează veridicitatea datelor obținute. Eroarea standard obținută în urma prelucrării datelor experimentului a alcătuit 0,866025, iar abaterea medie absolută - 0,4 (Tab. A7.7).

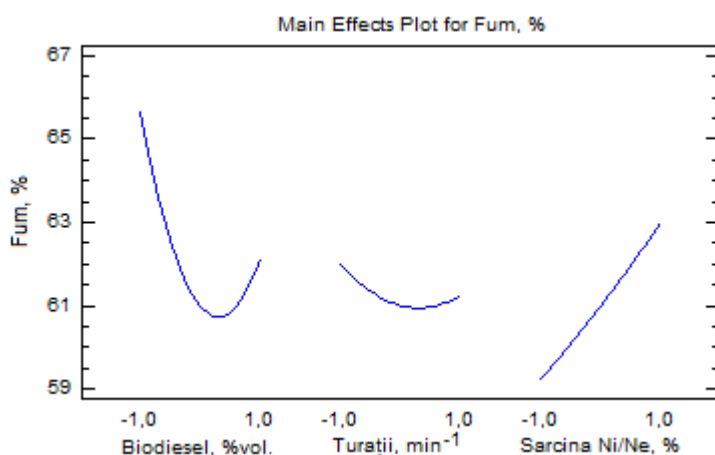


Fig. 4.15. Dependențe ale efectelor principale pentru emisiile fumului funcție de fracția biodieselului, turațiile arborelui cotit și sarcina motorului

Analiza efectelor principale (Fig. 4.15) 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 $N_i/N_e=75-100\%$. 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 fracției biodieselului C_B în amestec cu motorina indică, ca și în cazurile cantităților emise de C_nH_m și CO, fracția optimă a biodieselului este 20÷30 %vol. (B20-B30) (Fig. 4.15).

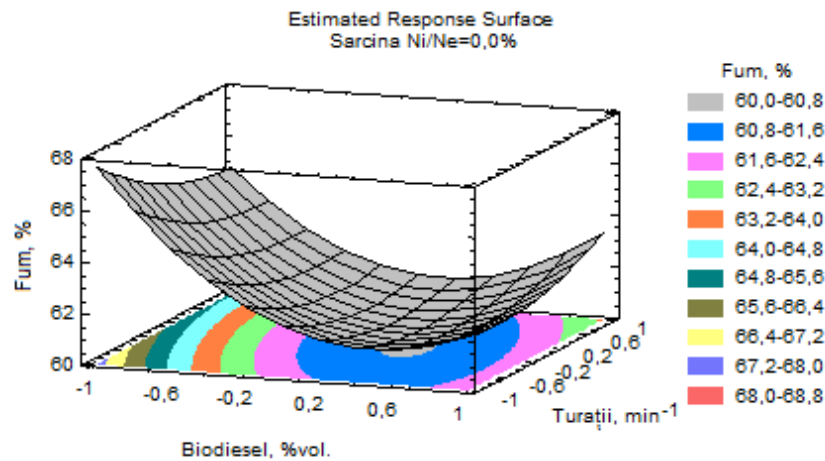


Fig. 4.16. Dependența fracției de fum în gazele de eșapament funcție de fracția biodieselului și turațiile arborelui cotit

Din suprafața de replică (Fig. 4.16) și proiecția suprafeței de replică asupra planului orizontal (Fig. 4.17), 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} .

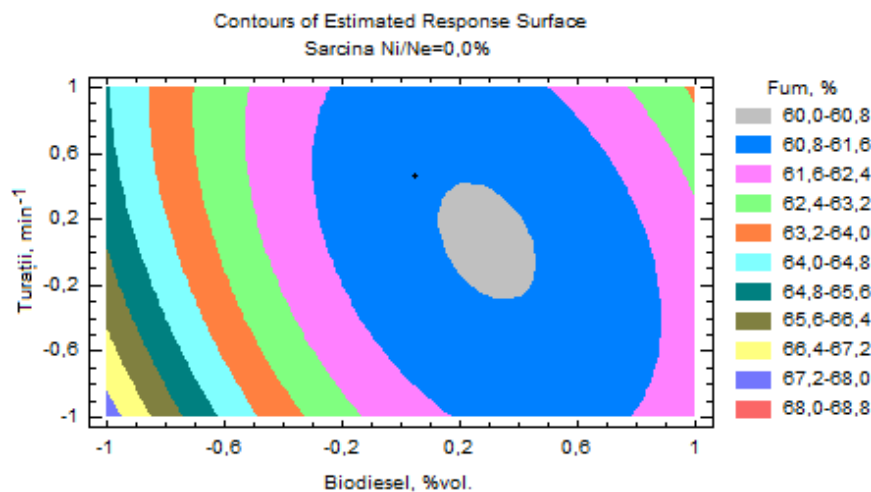


Fig. 4.17. Proiecția suprafeței de replică a dependenței fracției de fum funcție de fracția biodieselului și turațiile arborelui cotit

După prelucrarea datelor experimentale (Tab. A7.4) s-au obținut valorile optime pentru fracția biodieselului și parametrii de funcționare a motorului 4 DC 11,0/12,5: $C_B = +0,05$ (valoarea absolută- 20 %vol.), turația arborelui cotit $n = +0,045$ (1938 min⁻¹) și sarcina motorului $N_i/N_e = -1,0$ (50%). Valorile C_B , n , N_i/N_e asigură cantitatea minimă a emisiei de fum, care se încadrează în limita de 59,08%.

Modelele matematice (4.1-4.3), prezentate grafic în figurile 4.7-4.9, 4.11-4.13, 4.15-4.17, atestă corectitudinea ipotezei teoretice, formulate de noi anterior în capitolul 3, pct. 3.2, 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, de oxid de carbon CO, hidrocarburi C_nH_m și fum) în gazele de eșapament.

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 motorul cu aprindere prin comprimare DC4 11,0/12,5 (Tab. 4.2).

Tabelul 4.2. 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. 3.16) demonstrează că valorile minime ale consumului specific de combustibil g_e se mențin în limitele turațiilor arborelui cotit $n=1600-2000$ min⁻¹ cu fracția biodieselului în amestec cu motorina $C_B = 20$ %vol. (B20), care are valorile ale consumului specific g_e aproape egale cu cele obținute cu motorină. Fenomenul dat are caracterul pozitiv, realizarea căruia este posibilă datorită unei sinergii, deoarece puterea calorică după

arderea biodieselului B100 și a motorinei are valorile diferite: $37,7 \text{ MJ kg}^{-1}$ și, respectiv, $42,5-44 \text{ MJ kg}^{-1}$. Analiza caracteristicilor de sarcină și de regulator ale motorului DC4 11,0/12,5 (Cap. 3, Fig. 3.17-3.18) 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: $C_B = 20\div 30 \text{ \%vol.}$, $n = 1900\div 2000 \text{ min}^{-1}$, $N_i/N_e = 70\div 85\%$.

4.2 Determinarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune pe stand

4.2.1 Generalități privind realizarea studiilor experimentale

În cercetările precedente, rezultatele cărora sunt reflectate în capitolele 3 și 4 (pct. 4.1), au fost studiate proprietățile biocombustibililor și ale cuplului tribologic crom-fontă, identificate performanțele energetice, economice, ecologice ale motorului DC4 11,0/12,5, alimentat cu biocombustibili. Cercetările efectuate în condiții de laborator au permis argumentarea compoziției biocombustibilului și a parametrilor de funcționare a motorului. Însă pentru stabilirea veridicității rezultatelor obținute sunt necesare încercări în condițiile de exploatare ale motoarelor alimentate cu amestecuri biodiesel-motorină.

Este cunoscut faptul, că indicii care caracterizează comportarea unui motor cu ardere internă în procesul de exploatare (performanțele energetice, economice, ecologice, fiabilitatea, durabilitatea de funcționare) depind nu numai de calitatea combustibilului și a materialelor utilizate, de regimurile de lucru a motorului, dar și de calitatea uleiului de motor. Indicii ce caracterizează proprietățile uleiului de motor au o mare importanță nu numai pentru monitorizarea calității acestuia în activitatea de comerț angro sau de cercetare, ci și pentru evaluarea modificării proprietăților uleiului nemijlocit în procesul de exploatare a motorului. De aceea, înainte de realizarea încercărilor de exploatare au fost cercetate proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune, cercetările fiind efectuate pe standul KI-5543 dotat cu motorul D-241L, alimentat consecutiv cu motorină, biodiesel pur B100 și cu amestecuri B20, B50. În sistemul de ungere a motorului a fost utilizat, conform recomandărilor uzinei de producție a acestuia, ulei M-10G₂, pentru care s-au studiat următoarele proprietăți: viscozitatea cinematică, alcalinitatea, conținutul de cenușă și de apă.

Cercetările experimentale ale proprietăților fizico-chimice ale uleiului de motor în acțiune s-au realizat în laboratorul „Chimotologie, combustibili și lubrifianți”, catedra Ingineria Transportului Auto și Tractoare, facultatea Inginerie Agrară și Transport Auto UASM (actualmente Universitatea Tehnică a Moldovei). Condițiile de funcționare a motorului au fost conforme cerințelor normative (GOST 18509): temperatura lichidului de răcire a motorului- $t = 80-90$ °C, presiunea uleiului de motor $-p = 3$ bar, sarcina motorului- $N_i/N_e = 70-85\%$, durata încercărilor pentru fiecare tip de combustibil- 100 de ore, temperatura mediului înconjurător- $t = 20-25$ °C.

Metodicile particulare de măsurare și valorile obținute ale proprietăților fizico-chimice ale uleiului de motor în acțiune sunt prezentate în continuare.

4.2.2 Viscositatea cinematică

Viscozitatea μ este cel mai notabil criteriu în aprecierea calității uleiurilor, fiind una din cele mai importante proprietățile fizice ale fluidului într-un sistem de lubrifiere. Valoarea viscozității, dar și dependența ei de temperatură și presiune, determină generarea sau nu, a peliculei portante în cuplei tribologice. Viscositatea, ca proprietatea fizică, este o măsură a frecării interne în fluid, adică, de a opune rezistență la curgere rezultată din interacțiunea particulelor constituente. Viscositatea caracterizează rezistența tangențială, opusă de straturile vecine de lubrifianți la deplasarea lor relativă, în curgerea laminară a lubrifianțului (Ștefănescu, I., 2008; Lâșco, Gh., et al., 2004).

Măsurarea viscozității cinematice a uleiului de motor în acțiune s-a realizat conform standardului interstatal GOST 33-82. Pentru aceasta s-a folosit un viscosimetru capilar din sticlă VPJ-2, cu orificiul calibrat ($d = 0,73$ mm) și intervalul de măsurare a viscozității- $6-30$ mm²/s. Pentru măsurarea viscozității μ a fost cronometrată durata de curgere prin orificiul calibrat a unui anumit volum al lubrifianțului sub influența gravitației la o temperatură constantă ($t=20$ °C). După aceasta valoarea viscozității cinematice a fost calculată din produsul timpului de expirare și a constantei viscosimetrului ($K=0,03$ mm²/s²).

Rezultatele cercetărilor dinamicii schimbării viscozității cinematice a uleiului de motor în acțiune demonstrează, că în cazuri de alimentare consecutivă a motorului DC4 11,0/12,5 cu motorină, biodiesel B100 și amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 diferența dintre valorile viscozității μ a uleiului de motor este neesențială la începutul cercetărilor în perioada de timp $\tau = 0-20$ moto-ore, însă după funcționarea motorului timp de 100 moto-ore aceasta diferență în viscositatea uleiului se majorează, având valoarea maximă $\Delta\mu = 0,24$ mm²/s pentru biodiesel B100 (valoarea finală- $\mu = 11,74$ mm²/s) și motorină ($\mu = 11,50$ mm²/s) (Fig. 4.18, Tab. A10.3). În aceeași

perioadă de timp alimentarea motorului cu amestecuri biocombustibile a produs următoarele schimbări în viscozitatea uleiului (mm^2/s): B20- $\mu = 11,55$ și B50- $\mu = 11,6$. De menționat, că valoarea inițială a viscozității uleiului este de $10,9 \text{ mm}^2/\text{s}$. Probabil, și în acest ciclu de cercetări ale dependenței $\mu = f(\tau_{100})$ (Fig. 4.18) are loc un efect sinergic, deoarece valoarea viscozității uleiului în cazul alimentării motorului cu amestecuri B20, B50 este mai aproape de cea a uleiului de motor, alimentat cu motorină. Se poate de prognozat, extrapolând valorile μ , că până la schimbarea regulamentară a uleiului de motor (după $\tau=500$ moto-ore) aceasta diferență dintre valorile viscozității uleiului în cazul alimentării motorului cu B100 și, respectiv, cu motorină va crește, însă nesemnificativ. Rezultatele obținute demonstrează că, procesul de oxidare termică a uleiului de motor în acțiune, însoțit de modificarea valorilor viscozității uleiului $\Delta\mu$, puțin depinde de tipul combustibilului utilizat (motorină, biodiesel B100, amestecuri biocombustibile B20, B50) pentru funcționarea motorului.

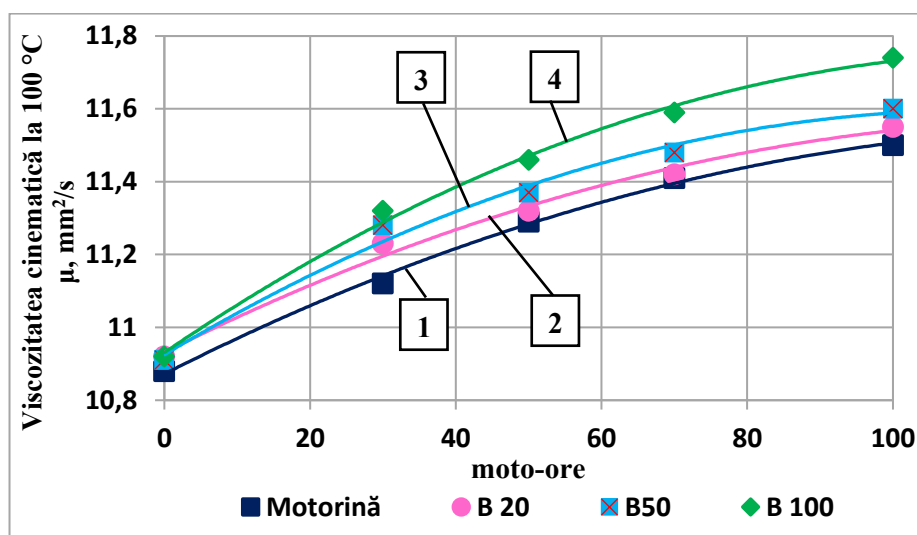


Fig. 4.18. Valorile viscozității cinematice a uleiului de motor în acțiune după alimentarea motorului cu diferiți combustibili (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100)

4.2.3 Alcalinitatea

Alcalinitatea indică rezistența la oxidare a unui produs lubrifiant la temperaturi și presiuni ridicate în prezența mediilor active chimice. Alcalinitatea totală a uleiului de motor depinde de caracteristicile dispersanților și detergenților, de proprietățile antioxidante ale componentelor lui.

Stabilitatea indicilor de alcalinitate a uleiului M-10G₂, utilizat în motorul DC4 11,0/12,5, este asigurată datorită prezenței în componența sa a unui pachet de aditivi responsabili de neutralizarea produselor arderii a combustibilului în motor. Rezultatele cercetărilor experimentale ale modificărilor valorilor alcalinității uleiului de motor în acțiune sunt prezentate în figura 4.19 (Tab. A10.3).

Spre deosebire de viscozitatea cinematică a uleiului de motor în acțiune (Fig. 4.18) valorile alcalinității s-au modificat în mod invers: după 100 moto-ore de lucru alcalinitatea uleiului de motor, alimentat cu biocombustibilii B100, B50, B20 scade de la 6,38-6,36 până la 6,16 și, respectiv, 6,09 mg KOH/g ulei, valoarea medie a scăderii fiind de $\Delta = 0,24$ mg KOH/g ulei.

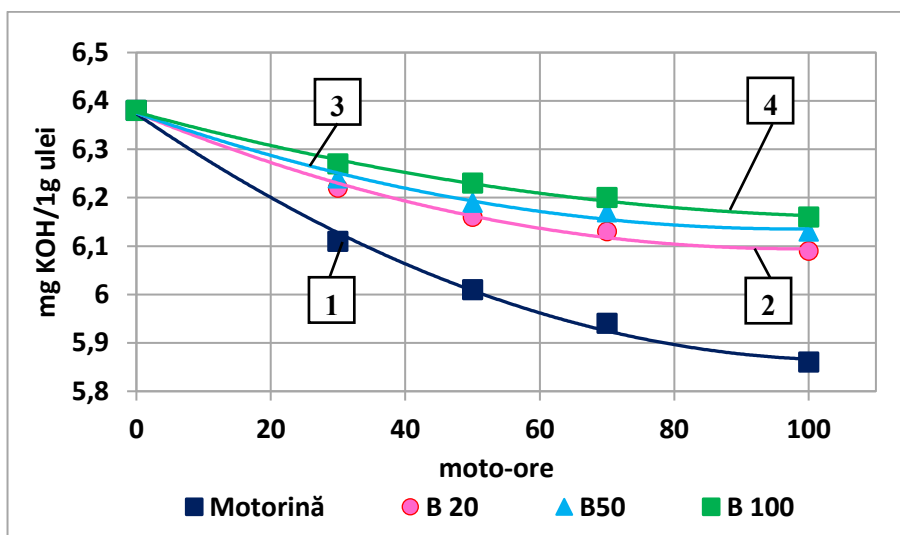


Fig. 4.19. Valorile alcalinității uleiului de motor în acțiune pentru cazuri de alimentare cu diferiți combustibili (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100)

În cazul alimentării MAC cu motorină aceasta descreștere după 100 moto-ore și are valori mai mari: de la 6,38 până la 5,86 mg KOH/g ulei (valoarea medie a scăderii- $\Delta = 0,52$ mg KOH/g ulei), intensitatea micșorării alcalinității pentru motorină este mai mare de 2 ori în raport cu biocombustibilii, ceea ce demonstrează că alimentarea motorului cu biocombustibili (B100, B50, B20) asigură intensitatea procesului de oxidare a aditivilor mai redusă, de aceea și valoarea medie a scăderii alcalinității este mai mică ($\Delta = 0,25$ mg KOH/g ulei). Acest fapt pozitiv se datorează lipsei în biodiesel a sulfurii, care înrăutățește proprietățile alcalinice a uleiului de motor în acțiune în procesul de lucru. Deci, alimentarea motorului cu biocombustibilii sus-menționați asigură menținerea alcalinității uleiului de motor la un nivel mai superior, decât în cazul alimentării motorului cu combustibil petrolier, motorină.

4.2.4 Conținutul de cenușă și de apă

Cenușa sulfatată este partea componentă din masa lubrifiantă totală a diferiților compuși organici și anorganici solizi formați după arderea uleiului. Cenușa sulfatată este cel mai des luată în considerare la momentul actual în procese de apreciere a calității uleiurilor de motor, deși există și alte varietăți de conținut de cenușă luate în considerare în studiul lubrifiantilor (<https://avtozhidkost.ru>).

Rezultatele cercetărilor experimentale ale conținutului de cenușă (Fig. 4.20, Tab. A10.3) demonstrează că după 100 moto-ore de funcționare a motorului s-a schimbat conținutul de cenușă în uleiul de motor în felul următor: în cazul alimentării cu motorină $\Delta C_{cen} = 0,06\%$; B100- $\Delta C_{cen} = 0,03\%$; B20- $\Delta C_{cen} = 0,05\%$; B50- $\Delta C_{cen} = 0,04\%$. Valoarea maximă absolută a concentrației masice de cenușă este în uleiul motorului alimentat cu motorină (1,19%), însă această valoare nu depășește valoarea maxim admisibilă de 1,65%, stipulată în documente normative (GOST 8581-2021, SAE 30, API CC). De menționat, că mărirea considerabilă a conținutului de cenușă este un indiciu, care caracterizează acumularea în ulei a produselor de origine neorganică, care sunt rezultate din procesul de uzare a pieselor din cuplele tribologice, particulelor de praf din aerul înconjurător etc.

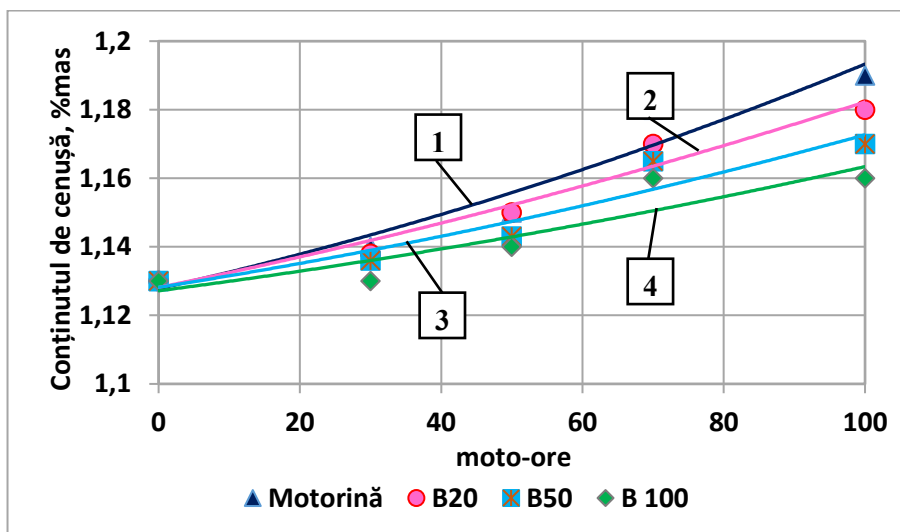


Fig. 4.20. Conținutul de cenușă pentru probele uleiului de motor alimentat cu diferiți combustibili (1- Motorină; 2 - B20; 3 - B50; 4 - B100)

Prezența apei în uleiuri este inadmisibilă, deoarece aceasta distruge și spală aditivii, înrăutățind condițiile de ungere a pieselor din cuplele tribologice. Apa stimulează activitatea corozivă a acizilor organici, majorează cantitatea sedimentelor în carter, în conducte de ulei și pe piesele motorului.

Rezultatele cercetărilor experimentale ale conținutului de apă în uleiul de motor în acțiune (Tab. 4.3) demonstrează că după 100 moto-ore de funcționare a motorului conținutul de apă s-a stabilit ca lipsă, pentru toate cazurile alimentării motorului. Conform GOST 8581-2021 concentrația conținutului de apă în uleiul de motor ($0,03 \text{ cm}^3$) se consideră „urme”. Depășirea valorii maxime admise accelerează oxidarea uleiului, aditivii sunt supuși hidrolizei, stabilitatea

coloidală a contaminanților se dezechilibrează și, ca urmare a coagulării acestora, filtrele de ulei se înfundă, iar proprietățile anticorozive și anti uzură ale uleiului se înrăutățesc.

Tabelul 4.3. Valorile conținutului de apă în uleiul de motor în acțiune

| Tipul combustibilului | Moto-ore | | | | |
|------------------------------------|----------|------|------|------|------|
| | 0 | 30 | 50 | 70 | 100 |
| Motorină | Lipsă | Urme | Urme | Urme | Urme |
| B20 (motorină 80% + biodiesel 20%) | | | | | |
| B50 (motorină 50% + biodiesel 50%) | | | | | |
| B100 (biodiesel 100%) | | | | | |

4.3 Încercările de exploatare ale motoarelor alimentate cu biocombustibil

4.3.1 Generalități, obiectivele specifice ale încercărilor

Pentru realizarea obiectivelor tezei de doctorat au fost făcute studiile proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale biocombustibililor cu diferite fracții de biodiesel în amestec cu motorină, având motorina ca martor. În continuare au fost efectuate cercetările tribologice ale cuplei care modelează condiții de lucru în camera de ardere a motorului din îmbinarea cămașa cilindrului-segmenții de piston; ridicate caracteristici de viteză și de reglare a motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină și biodiesel B100, cu amestecuri biodiesel-motorină B20, B50 (Cap.3). În baza rezultatelor obținute în capitolul 3 și după realizarea cercetărilor emisiilor de substanțe poluante din pct. 4.1 au fost optimizate valorile următorilor factori de influență: compoziția combustibilului (fracția optimă a biodieselului $C_B = 20-30 \text{ \%vol.}$), parametrii de funcționare a motorului alimentat cu amestecul biodiesel-motorină de compoziția optimă ($n = 1900-2000 \text{ min}^{-1}$, $N_i/N_e = 70-85\%$) (Tab. 4.2).

Totodată pentru stabilirea veridicității rezultatelor obținute în condiții de laborator a fost necesară efectuarea încercărilor de exploatare a motorului DC4 11,0/12,5, alimentat cu biocombustibil de compoziția optimă. Încercările au fost realizate cu patru unități de tractoare universale Belarus 82.1 (producător- Uzina de Tractoare din Minsk), dotate cu motoare D-243, care au fost repartizate în două grupuri: a) grup-martor (2 unități), alimentat cu motorină; b) grupul experimental (2 unități), alimentat cu biocombustibil B20.

Încercările motoarelor au fost realizate în cadrul Stațiunii Didactice Experimentale „Chetrosu”, raionul Anenii Noi (Fig. 4.21), fiind îndeplinite diverse lucrări agricole: pregătirea solului înainte de semănat, semănatul culturilor agricole, operații de îngrijire a culturilor de câmp și celor multianuale (protecția de boli și dăunători, prelucrarea solului între rânduri, administrarea îngrășămintelor etc.), diverse lucrări de transport.



Fig. 4.21. Secvențe din timpul încercărilor de exploatare a tractoarelor în condițiile Stațiunii Didactice Experimentale „Chetrosu” raionul Anenii Noi

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.

4.3.2 Rezultatele încercărilor

Parametrii funcționali. Valorile parametrilor funcționali ai motoarelor D-243, supuse încercărilor în condițiile de producție agricolă, fiind alimentate cu motorină și amestec B20, indică că starea tehnică a motoarelor a fost stabilă și conformă regulilor de exploatare, înaintate de uzina producător din Minsk. Parametrii funcționali care caracterizează starea tehnică a motoarelor încercate au avut următoarele valori: temperatura lichidului de răcire- $\leq 85-90^\circ\text{C}$, temperatura uleiului în baia carterului motorului- $\leq 75-82^\circ\text{C}$, presiunea uleiului de motor- 0,30-0,32 MPa, debitul de gaze scăpate în carterul motorului- 79-81 l/min, presiunea de compresie- 19,5-21,3 MPa, presiunea de injectare a combustibilului- 17,5-18,0 MPa (Tab.4.4).

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 (pct. 3.) și rezultatelor obținute din cercetări de stand (pct. 3.5.3).

Tabelul 4.4. 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 |

Proprietățile uleiului de motor în acțiune. Pe parcursul încercărilor de exploatare, în SDE „Chetrosu”, a tractoarelor alimentate cu motorină și biocombustibil B20 concomitent cu măsurarea valorilor parametrilor funcționali ai motoarelor D-243 s-au efectuat studii privind modificarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune. Rezultatele obținute în timpul încercărilor de exploatare demonstrează că, **viscozitatea cinematică** a uleiului de motor s-a majorat lent pe toată perioada de măsuri până la efectuarea volumului de lucrări de 625 moto-ore, periodicitatea măsurărilor fiind de 125 moto-ore (Fig. 4.22, Tab. A10.4).

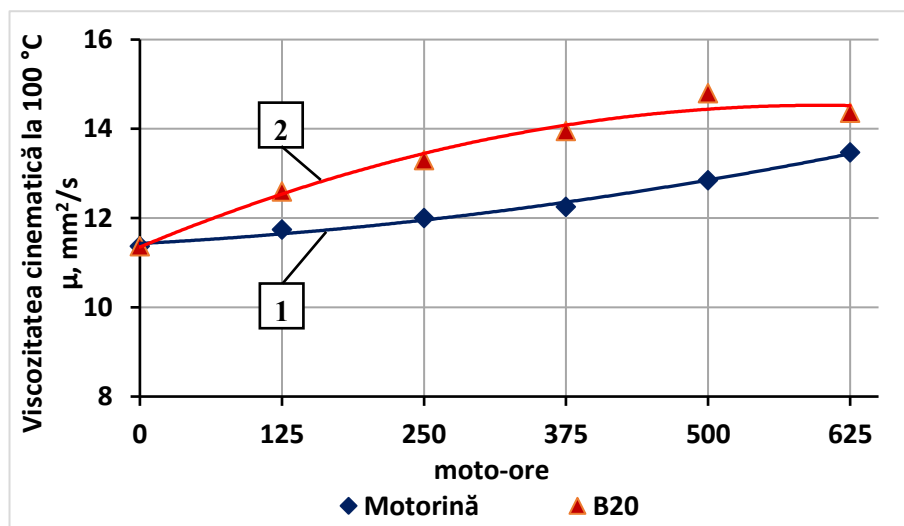


Fig. 4.22. Variația viscozității cinematice a uleiului de motor în acțiune funcție de durata de funcționare a tractoarelor agricole (1- Motorină, 2- B20)

În raport cu valoarea inițială ($\mu = 11,37 \text{ mm}^2/\text{s}$), viscozitatea cinematică a uleiului de motor s-a majorat pentru motoare alimentate cu motorina cu $2,12 \text{ mm}^2/\text{s}$ (spor-19,8%) și pentru motoare

alimentate cu B20 - cu 2,99 mm²/s (spor- 26,3%). Tendința modificării viscozității μ a uleiului de motor în acțiune în cadrul încercărilor de exploatare (Fig. 4.22) este identică cu cea a viscozității uleiului obținută din cercetări de stand (Fig. 4.18).

Valoarea medie calculată a creșterii viscozității μ pentru volumul executat de 100 moto-ore a constituit în procesul încercărilor de stand și de exploatare $\Delta\mu = 0,68$ mm²/s și, respectiv, $\Delta\mu = 0,41$ mm²/s. Valoarea mai mică a gradului de modificare a viscozității uleiului $\Delta\mu$ obținută în cadrul încercărilor de exploatare se datorează faptului că volumul lucrărilor executate în acest caz este mai mare (625 moto-ore), decât în încercări de stand (100 moto-ore). Iar creșterea cea mai intensă a viscozității cinematice a uleiului de motor are loc în prima perioadă de funcționare (~30-40 moto-ore) datorită evaporării sporite a produselor de oxidare a uleiului, care au punct de fierbere scăzut și viscozitatea mică. La sfârșitul sezonului după volumul de lucrări efectuate peste 625 moto-ore uleiul de motor a fost schimbat.

Alcalinitatea. Uleiul de motor funcționează în condițiile dificile: presiunea, temperatura ridicată și combustibilul, care pătrunde prin segmentii pistonului, gaze fierbinți și funingine - toate acestea duc la transformări chimice inevitabile atât ale componentelor de bază, cât și ale aditivilor uleiului. Sub influența temperaturilor ridicate uleiul de motor în acțiune se oxidează, iar aditivii alcalini, care interacționează cu moleculele oxidate, sunt „consumați” treptat cu reducerea calităților lor protectoare (Lăcustă, I., et al., 2013).

Fenomenele sus-menționate au fost cauza diminuării alcalinității uleiului de motor în acțiune, care s-a observat în procesul încercărilor de stand (Fig. 4.19) și ale celor de exploatare (Fig. 4.23, Tab. A10.4), fapt ce confirmă că în procesul de funcționare a motorului au loc procese oxidative intense de hidrocarburi slab stabile în întregul volum de ulei de motor, ulterior procesele respective decurg și în volumul de ulei proaspăt adăugat.

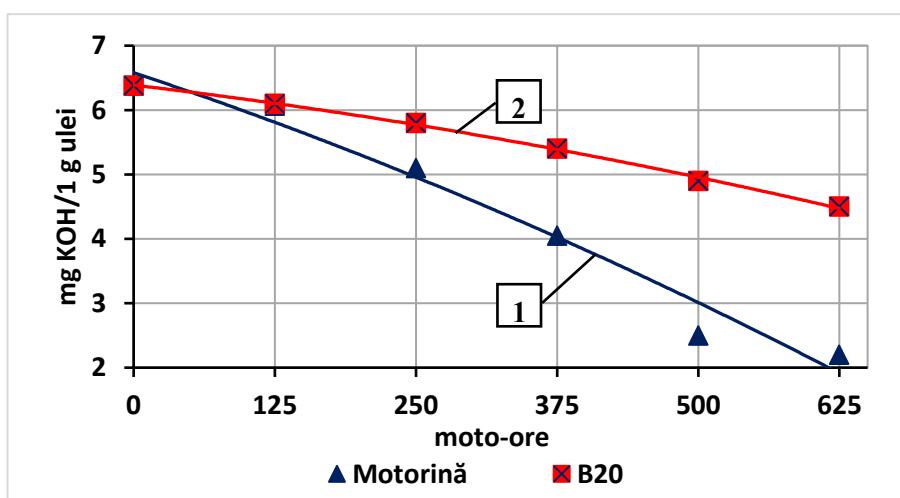


Fig. 4.23. Variația alcalinității uleiului de motor în acțiune funcție de durata de funcționare a tractoarelor agricole (1- Motorină, 2- B20)

Rezultatele încercărilor de exploatare arată, că în motoare alimentate cu motorină alcalinitatea uleiului de motor în acțiune a scăzut mai intens: de la 6,38 până la 2,2mg KOH/g ulei (scăderea- de 2,9 ori, intensitatea medie a scăderii la 100 moto-ore- $i = 0,67$ mg KOH/g ulei). În cazul funcționării motoarelor alimentate cu amestec biodiesel-motorină B20 alcalinitatea uleiului de motor în acțiune s-a redus de la 6,38 până la 4,6 mg KOH/g ulei (scăderea-de 1,38 ori, intensitatea medie a scăderii la 100 moto-ore- $i = 0,28$ mg KOH/g ulei). Fenomene analogice au avut loc și în cadrul încercărilor de stand, intensitatea medie a scăderii alcalinității după 100 moto-ore a constituit 0,52 mg KOH/g ulei în cazul alimentării cu motorină și 0,24 mg KOH/g ulei pentru biocombustibil B20 (Fig.4.19). Valorile mai mici cu 22% și, respectiv, cu 14% ale intensității medii de scădere a alcalinității obținute în cadrul încercărilor de stand se poate de explicat prin faptul că, în procesul încercărilor de exploatare condițiile de funcționare a motoarelor au fost mai rigide cu variația parametrilor în limitele mai largi: temperaturilor mediului ambiant- 0-38 °C, sarcina motorului- $N_i/N_e=55-85\%$, conținutul de umiditate și praf din aer mai mare.

Valoarea mai mică a intensității medii de scădere a alcalinității uleiului de motor pentru cazul alimentării cu amestec biodiesel-motorină B20 ($\Delta = 0,24-0,28$ mg KOH/g ulei) în raport cu motorina ($\Delta = 0,52-0,67$ mg KOH/g ulei), a rezultat datorită faptului că, în componența biodieselului sulfurul este lipsă (Tab. A1.1), ceea ce influențează semnificativ și pozitiv asupra alcalinității uleiului de motor în acțiune. Aditivii sunt substanțe chimice (compuși organici, pe bază de metale sau polimeri) care prin combinarea cu uleiul de bază au rolul de a îmbunătăți anumite caracteristici ale uleiurilor utilizate în sistemele de ungere ale motoarelor termice.

Conținutul de cenușă sulfată este un parametru necesar pentru a caracteriza obiectiv calitatea uleiurilor de motor, ce conțin aditivi cu compuși organici. Aditivi au în componența sa ioni de metale. Prin urmare, principalele surse de apariție a cenușii după arderea uleiului sunt: ionii de metale din componența sa și cele rezultate din uzura suprafețelor metalice.

Valorile obținute ale conținutului de cenușă sulfată (Fig. 4.24, Tab. A10.4) în timpul încercărilor de exploatare a tractoarelor agricole demonstrează că, după 625 moto-ore s-a modificat acest conținut în uleiul de motor, după cum urmează: în cazul alimentării cu motorină- de la 1,4 până la 1,67 %mas. ($\Delta C_{cen} = 0,27$ %mas., intensitatea modificării- 0,04 %mas. la fiecare 100 moto-ore), la alimentarea cu amestec biodiesel-motorină B20- de la 1,4 până la 1,6 %mas. ($\Delta C_{cen} = 0,2$ %mas., intensitatea modificării- 0,03 %mas. la fiecare 100 moto-ore). De menționat că, în motoarele alimentate cu motorină a fost cea mai mare valoare a concentrației masice de cenușă în uleiul de motor, alcătuind 1,67 %mas., cu toate acestea valoarea dată practic se încadrează în limitele valorii maxim admisibile (1,65 %mas.) prevăzută în standardul interstatal GOST 8581-2021. Drept cauză a majorării conținutului de cenușă în uleiul de motor sunt

impuritățile anorganice, care provin din procesul de ardere în cilindrii MAS și din uzura suprafețelor metalice.

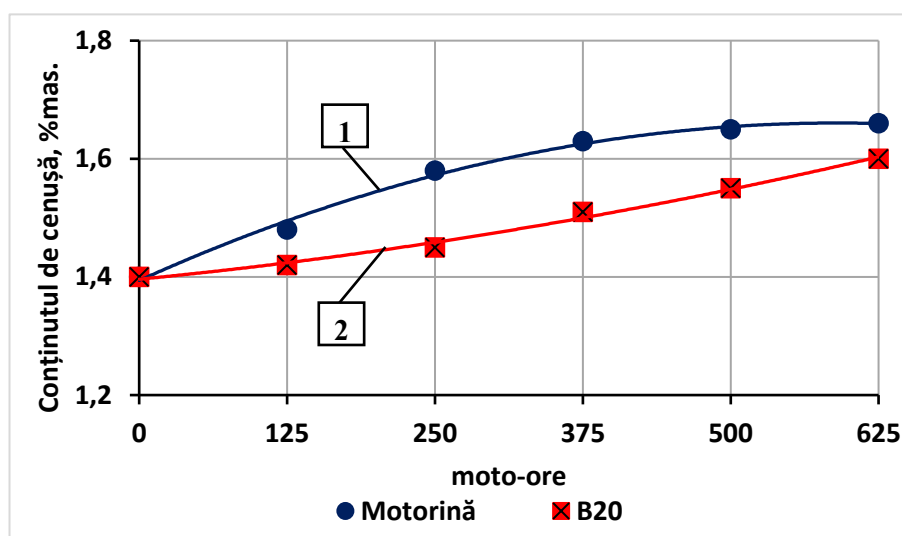


Fig. 4.24. Schimbarea conținutului de cenușă sulfată a uleiului de motor funcție de durata de funcționare a tractoarelor agricole (1- Motorină, 2- B20)

Tendința analogică de modificare a conținutului de cenușă sulfată a avut loc și în cadrul încercărilor de stand: în cazul alimentării cu motorină intensitatea modificării conținutului de cenușă a fost de 0,06% la fiecare 100 moto-ore și, respectiv, în cazul alimentării cu biocombustibil B20- de 0,05% la fiecare 100 moto-ore (Fig. 4.20). Valorile mai joase ale intensității de modificare a conținutului de cenușă în uleiul de motor, alimentat cu biocombustibil B20, se poate de explicat prin îmbunătățirea condițiilor de frecare în cuplele tribologice și diminuarea intensității de uzură a suprafețelor metalice, fapt confirmat în cadrul cercetărilor tribologice (Fig. 3.12).

4.4 Justificarea ecologică a utilizării biodieselului pentru alimentarea MAC

Economia națională a Republicii Moldova este dependentă de importul surselor energetice primare (motorină, benzină, gaz natural, energia electrică) în proporție de 86-90 la sută din necesarul, ceea ce influențează negativ asupra securității energetice. Utilizarea excesivă a combustibililor fosili conduce la schimbările climatice, fapt care este demonstrat în capitolul 1 al prezentei teze (pct. 1.1). 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.4.5). 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, pct. 3.5.2.

Tabelul 4.5. 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 |

Conform datelor specialiștilor în domeniul ecologic (Крэчун, А., et al., 2008; Александров, В. Ю., et al., 1995; Попова, Н. М., 1987) la arderea 1t de motorină se degajă cu gazele de eșapament ale motoarelor cu aprindere prin comprimare substanțele nocive (oxid de carbon CO, hidrocarburi C_nH_m , particule solide- funingine) cu cantitățile specifice prezentate în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6. 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, pct. 4.1 (Banari, E., 2022). Cantitățile specifice ale dioxidului de carbon CO₂ emise la arderea 1t de combustibil sunt obținute în baza calculelor din capitolul 3 (Tab.3.1).

În baza datelor obținute în tabelele 4.5, 4.6 au fost calculate pentru condițiile din Republica Moldova valorile absolute ale emisiilor de substanțe nocive după arderea în motoare cu aprindere prin comprimare a motorinei și a biocombustibililor B20, B100, în cazul când acești combustibili alternativi vor înlocui motorina.

Tabelul 4.7. 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 dioxid de carbon 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, cercetările noastre demonstrează că înlocuirea combustibilului petrolier, motorinei, cu biocombustibil în baza esterului metilic din uleiuri grași permite în condițiile din Republica Moldova reducerea emisiilor de substanțe nocive în următoarele cantități, t/an:

a) alimentarea MAC cu B20: CO- $\Delta M = 2145$ ($\Delta = 38,4$ %mas.); C_nH_m- $\Delta M = 372,4$ ($\Delta = 3,0$ %mas.); funingine- $\Delta M = 563,1$ ($\Delta = 5,7$ %mas.); CO₂ din componența GES- $\Delta M = 366 015,3$ ($\Delta = 18,7$ %mas.);

b) alimentarea MAC cu B100: CO- $\Delta M = 1204,3$ ($\Delta = 21,6$ % mas.); C_nH_m- $\Delta M = 4261,1$ ($\Delta = 34,4$ %mas.); funingine- $\Delta M = 41,2$ ($\Delta = 0,4$ % mas.); CO₂ din componența GES- $\Delta M = 1 955 175$ ($\Delta = 100$ %mas.).

Cum a fost menționat în capitolul 1, emisiile gazelor cu efect de seră (GES), fiind stocate în atmosferă, au o influență majoră și periculoasă asupra climei globale, provocând dezechilibrarea

și majorarea temperaturii atmosferice, topirea ghețarilor, ridicarea nivelului apelor pe suprafața Terrei și alte hazarduri climaterice. Prin urmare, în ultimii 40 de ani se acordă atenția sporită emisiilor de GES în economia mondială. În economia națională a Republicii Moldova la fel sunt monitorizate emisiile GES, fiind evaluate în cantitățile de CO₂ echivalent, care conform datelor Biroului Național de Statistică (Raport Național de Inventariere 1990-2020; Cara, O., et al., 2022) sunt în ultimii 30 de ani în continuă descreștere (Fig. 1.4): în anul 1990 emisiile totale de GES au constituit 45,248 Mt, în 2020- 13,66 Mt, inclusiv, emisiile provenite din sectorul agricol- 1,55 Mt. Micșorarea cantităților emise ale gazelor cu efect de seră în perioada anilor 1990-2020 este cauzată, în primul rând, de reducerea consumului intern al combustibililor fosili, de valorificarea potențialului surselor regenerabile de energie și de diminuarea intensității energetice în produsul intern brut, J/MDL. Toate aceste fenomene pozitive sunt rezultatul realizării politicii de stat în Republica Moldova.

Așadar, înlocuirea motorinei cu biocombustibili în baza esterilor metilici ai acizilor grași la alimentarea MAC are un efect benefic și va permite să fie continuat trendul pozitiv de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră: 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 asigură reducerea emisiilor nu numai ale gazelor cu efect de seră, dar și ale substanțelor nocive (oxid de carbon CO, hidrocarburi C_nH_m, funingine), care aduc daune majore mediului ambiant, inclusiv sănătății oamenilor (Priya, Deora, P. S., et al., 2022; Tayari, S., et al., 2020; Jeswani, H. K., et al., 2020; Corsini, A., et al., 2015). În raport cu emisiile substanțelor nocive în cazul combustiei motorinei, utilizarea biocombustibililor B20, B100 va reduce aceste emisii în următoarele proporții: $\Delta = 21,6-38,4$ %mas. pentru CO, $\Delta = 3,0-34,4$ %mas. pentru C_nH_m, $\Delta = 0,4-5,7$ %mas. pentru funingine.

4.5 Concluzii la capitolul 4

Activitățile de cercetare-încercare realizate de către autor în acest capitol, în scopul stabilirii efectelor tehnico-ecologice de la implementarea biocombustibililor pentru alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare dau posibilitatea de a exprima următoarele concluzii:

1. S-a stabilit din încercări de stand, că alimentarea MAC DC4 11,0/12,5 cu biocombustibili (biodiesel B100, amestecuri biodiesel-motorină B20, B50) are drept consecință diminuarea în gazele de eșapament a concentrației substanțelor nocive (oxidului de carbon CO, hidrocarburilor C_nH_m și a fumului) cu până la 34,8% în raport cu motorină. Majorarea sarcinii motorului în limita $N_i/N_e=0-75\%$ are drept efect creșterea cantității specifice de bioxid de carbon CO₂ și diminuarea sincronă a cantității de oxigen O₂ în gazele de eșapament, ambele fenomene

fiind cauzate de sporirea cantității ciclice a combustibilului ars (Lăcustă, I., Beșleagă, Ig., Banari, E., 2009; Banari, E., 2015; Banari, E., 2022b; Banari, E., 2022c).

2. S-au obținut în baza cercetărilor polifactoriale ecuațiile de regresie, care au permis determinarea valorilor optime ale fracției biodieselului în amestec cu motorină și ale parametrilor de funcționare a motorului alimentat cu biocombustibil, care asigură valorile minime ale emisiilor de substanțe nocive (CO, C_nH_m și fum) în gazele de eșapament și ale consumului specific de combustibil g_e : fracția biodieselului $C_B = B20 \div B30$, turațiile arborelui cotit $n = 1900 \div 2000 \text{ min}^{-1}$ și sarcina motorului $N_i/N_e = 70 \div 85\%$.

3. S-au măsurat valorile parametrilor funcționali ai motoarelor D-243, supuse încercărilor de exploatare în gospodăria agricolă. Rezultatele măsurărilor indică că starea tehnică a motoarelor, alimentate cu motorină și amestec B20, a fost stabilă și conformă regulilor de exploatare. Consumul orar G_h al motoarelor DC4 11,0/12,5, alimentate cu amestec B20, a fost mai înalt în medie cu 11% în raport cu motoare, alimentate cu motorină, ceea ce corespunde calculelor teoretice și rezultatelor obținute din cercetări de stand.

4. S-au evaluat proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune în cadrul încercărilor de stand și de exploatare ale motoarelor alimentate cu motorină și amestec B20, care au demonstrat următoarele:

- viscozitatea cinematică a uleiului de motor s-a majorat lent pe toată perioada încercărilor de exploatare, până la efectuarea volumului de lucrări de 625 moto-ore, sporul viscozității constituind 2,12 mm²/s (19,84%) în motoare alimentate cu motorină și 2,99 mm²/s (26,3%) în motoare alimentate cu biocombustibil B20. Valoarea medie calculată a creșterii viscozității μ pentru volumul executat de 100 moto-ore a constituit în procesul încercărilor de stand și de exploatare $\Delta\mu = 0,68 \text{ mm}^2/\text{s}$ și, respectiv, $\Delta\mu = 0,41 \text{ mm}^2/\text{s}$;

- alcalinitatea uleiului de motor în acțiune în întreaga perioadă încercărilor de exploatare (625 moto-ore) a scăzut cu 4,18 mg KOH/g ulei pentru motoare alimentate cu motorină (intensitatea medie a scăderii la 100 moto-ore- $i = 0,67 \text{ mg KOH/g ulei}$) și cu 1,78 mg KOH/g ulei pentru motoare alimentate cu amestec B20 ($i = 0,28 \text{ mg KOH/g ulei}$). Fenomene analogice au avut loc și în cadrul încercărilor de stand. Îmbunătățirea semnificativă a stabilității indicelui de alcalinitate a uleiului de motor, alimentat cu biocombustibil B20, se datorează faptului că acesta nu conține sulf.

- conținutul de cenușă în uleiul de motor în acțiune după 625 moto-ore s-a modificat neesențial: în cazul alimentării cu motorină- de la 1,4 până la 1,67 %mas. (intensitatea modificării- $i = 0,04 \text{ %mas. la fiecare 100 moto-ore}$), la alimentarea cu amestec B20- de la 1,4 până la 1,6 %mas. ($i = 0,03 \text{ %mas. la fiecare 100 moto-ore}$). Tendința analogică de modificare a conținutului de cenușă sulfată a avut loc și în cadrul încercărilor de stand. (Banari E., 2013).

5. A fost argumentat teoretic și demonstrat experimental efectul tehnico-ecologic de la implementarea biocombustibilului cu compoziția optimă. 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, pct. 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, pct. 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, pct. 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, pct. 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 $n = 1900\div 2000 \text{ min}^{-1}$, sarcina MAC $N_i/N_e = 70\text{-}85\%$), 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

În română:

1. Agenția Servicii Publice. Disponibil: <https://asp.gov.md> (citată 16.06.2023).
2. Agenția de Mediu. Ministerul Mediului. Disponibil: <https://am.gov.md> (citată 27.06.2023).
3. Banca de date statistice Moldova. Disponibil: <http://statbank.statistica.md> (citată 27.06.2023).
4. Directiva (UE) 2018/2001 a Parlamentului European și a Consiliului din 11 decembrie 2018 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile.
5. Hotărâre de Guvern nr. 401 din 12-06-2012 cu privire la Fondul pentru Eficiență Energetică. În: *Monitorul Oficial*, 2012, nr. 126-129 art. 448. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=60382&lang=ro.
6. Hotărâre de Guvern nr. 102 din 05-02-2013 cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2030. În: *Monitorul Oficial*, 2013, Nr. 27-30, art. 146. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=68103&lang=ro.
7. Hotărâre de Guvern nr. 301 din 24-04-2014 cu privire la aprobarea Strategiei de mediu pentru anii 2014-2023 și a Planului de acțiuni pentru implementarea acesteia. În: *Monitorul Oficial*, 2014, nr. 104-109, art. 328. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=114539&lang=ro.
8. Hotărâre de Guvern nr. 1470 din 30-12-2016 cu privire la aprobarea Strategiei de dezvoltare cu emisii reduse a Republicii Moldova până în anul 2030 și a Planului de acțiuni pentru implementarea acesteia. În: *Monitorul Oficial*, 2017, nr. 85-91, art. 1470. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=98493&lang=ro.
9. Hotărâre de Guvern nr. 45 din 30-01-2019 cu privire la organizarea și funcționarea Agenției pentru Eficiență Energetică. În: *Monitorul Oficial*, nr. 38-47 art. 71. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=112491&lang=ro.
10. Legea nr. 166 din 11-07-2012 pentru aprobarea Strategiei naționale de dezvoltare „Moldova 2020”. În: *Monitorul Oficial*, 2012, nr. 245-247, art. 791. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=48696&lang=ro.
11. Legea nr. 10 din 26-02-2016 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile. În: *Monitorul Oficial*, 2016 nr. 69-77 art. 117. Disponibil: <http://lex.justice.md/md/363886/6>.

12. Raportul Național de Inventariere: Surse de emisii și sechestrare a gazelor cu efect de seră în Republica Moldova, 1990-2020: Elaborat ȚĂRANU, M., BĂCOVA, E., POSTOLATII, V., et al. Chișinău: S. n., 2022 (Bons Offices), 726 p., ISBN 978-9975-166-43-0. Disponibil: <http://www.clima.md/lib.php?l=ro&idc=82&>.

13. Raport privind rezultatul monitorizării pieței produselor petroliere a Republicii Moldova pentru anul 2020. Disponibil: https://anre.md/storage/upload/administration/reports/696/RAPORT_2020%20-%20fin.pdf. (citat 01.12.2022).

14. Raport privind rezultatul monitorizării pieței produselor petroliere a Republicii Moldova pentru anul 2021. Disponibil: <https://anre.md/storage/upload/administration/reports/925/RAPORT~1.pdf>. (citat 18.03.2023).

15. Rapoarte de monitorizare. Disponibil: <https://anre.md/rapoarte-de-monitorizare-3-102>. (citat 18.03.2023).

16. Agricultură Conservativă: Manual pentru producători agricoli și formatori / Boincean B., Voloșciuc L., Rurac M. et al.; coordonator: Iurie Hurmuzachi; UCIP IFAD. Chișinău: Print-Caro, 2020 – 203 p., ISBN 978-9975-56-744-2.

17. **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, p. 251-255.

18. **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, ISSN 1857-0003.

19. **BANARI, E.**, MANCUȘ, N. Impactul ecologic al utilizării biocarburanților. În: *Ingineria Automobilului*, nr. 45 / decembrie, 2017, p. 14-16, România, ISSN 2457 – 5275.

20. **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, ISBN 978-9975-45-145-1.

21. **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, ISBN 978-9975-45-181-9.

22. **BANARI, E.** Influența utilizării biocarburanților 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.

23. **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.

24. **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, ISBN 978-9975-64-125-8.

25. **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, ISBN 978-9975-64-276-7.

26. **BENEA, B. C.** *Cercetări privind utilizarea biocarburanților pentru motoarele de autovehicule*: tz. de doct. în tehnică, Brașov, 2014. 92 p.

27. **BEȘLEAGĂ, Ig.** *Performanțele energetice și ecologice ale motoarelor cu aprindere prin comprimare alimentate cu diverse tipuri de combustibili*: tz. de doct. în tehnică, UASM, Chișinău, 2011. 130 p.

28. **BOBESCU, Gh., et. al.** *Motoare pentru automobile și tractoare*. Chișinău: Editura „Tehnica”, 1997. 238 p. ISBN 9975-910-17-3.

29. **BURNETE, N., NAGHIU, A., MARIȘIU, F., CECILIA, R., DEAC, T., et al.** *Motoare diesel și biocombustibili pentru transportul urban*. Ed. Mediamira, Cluj-Napoca, 2008. 1058 p. ISBN 978-973-713-217-8.

30. 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.

31. **CAISIN, S., ȘVETȚ, A., HALAIM, N.** *Surse de energie regenerabilă: Educația ecologică, Omul și mediul ambiant, Protecția mediului înconjurător, Educația pentru dezvoltarea comunităților Chișinău*, Tipografia „Bons Offices”, 2014. - 172 p. ISBN 978-9975-80-816-3.

32. **CARA, O., et al.** *Resursele naturale și mediul în Republica Moldova*. Culegere statistică. Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova. Ediția 2022. 113 p. ISBN 978-9975-3484-8-5
(PDF). Disponibil:
https://statistica.gov.md/files/files/publicatii_electronice/Mediu/Resursele_naturale_editia_2022.pdf (citat 25.03.2023).

33. **CEREMPEI, V.** *Tehnologia și mijloacele tehnice de producere și utilizare a biocombustibililor în baza alcoolilor monoatomici*: tz. de doct. habilitat în tehnică. ITA Mecagro-UASM, Chișinău, 2016. 239 p. Disponibil:
http://www.cnaa.md/files/theses/2016/50722/valerian_cerempei_thesis.pdf.

34. FAZAL, Um Min Allah. *Aspecte privind utilizarea biocombustibililor în motoarele cu ardere internă*: tz. de doct. în tehnică. Craiova, 2016.
35. HORBANIUC, B., DUMITRAȘCU, Gh.. *Procese de ardere*. Iași: Editura Politehnicum, 2008. 242 p. ISBN 978-973-621-241-3.
36. POPA, B., BĂȚAGĂ, N., CĂZILĂ, A. *Motoare pentru autovehicule*. Cluj-Napoca: Editura Dacia, 1982.
37. GEACAI, E. *Proprietăți fizico-chimice ale unor amestecuri de combustibili convenționali cu biocombustibili*: tz. doct. în tehnică, București, 2017, 132 p.
38. GEAMBAȘU, S. *Cercetări privind influența biocombustibililor asupra comportamentului ecologic și energetic al motoarelor cu aprindere prin comprimare*: tz. doct. în tehnică, Brașov, 2018, 108 p.
39. GEAMBAȘU, S. Cercetări privind obținerea de biocombustibili folosind resurse specifice Transilvaniei. În: *A XV-A sesiune de comunicări științifice a școlii doctorale, creativitate și inventică*, Ediția 2012.
40. Ghid de bune practici întru adaptarea la schimbările climatice și implementarea măsurilor de atenuare a schimbărilor climatice în sectorul agricol/ Roxana Bojariu et al.; coordonator: Iurie Hurmuzachi; UCIP IFAD. Ed. Print-Caro, Chișinău, 2021, 120 p. ISBN 978-9975-56-856-2.
Disponibil: http://dspace.uasm.md/bitstream/handle/123456789/6570/Ghid_agricultura_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
41. 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, Institutul de Tehnică Agricolă „Mecagro”. Chișinău, Bons Offices, 2009, 368 p. ISBN 978-9975-80-301-4.
42. 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, ISBN 9975-62-145-7.
43. HUBCA, Gh., LUPU, A., Cociașu, C. A. *Biodiesel, bioetanol, sun diesel*. Editura Matrix Rom, București 2008, ISBN 978-973-755-381-2.
44. LĂCUSTĂ, I., BEȘLEAGĂ, I., BÎTCA, V. *Materiale de exploatare pentru automobile*. Manual pentru instituții de învățământ superior. Centrul editorial al UASM, Chișinău, 2013, 327 p. ISBN 978-9975-64-018-3.

45. LĂCUSTĂ, 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.

46. LĂCUSTĂ, 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, ISSN 0582-5229.

47. LĂCUSTĂ, 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, ISSN 1810-9551.

48. LÂȘCO, Gh., LĂCUSTĂ, I., HURMUZACHI, A. *Chimotologia agricolă*. Centrul ed. al UASM, Chișinău, 2004, 365 p. ISBN 9975-946-47-7.

49. 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.

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

51. 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.

52. SLIUSARENCO, V. Instalația cu funcționare periodică pentru obținerea biodieselului. În: *Meridian ingineresc*, 2006, nr. 2, p. 35-36.

53. SM STB 1657:2009 (EN 14214:2003). Combustibili pentru motoare cu ardere internă. Esteri metilici ai acizilor grași (FAME) pentru motoare diesel.

54. ȘTEFĂNESCU, I., DELEANU, L., RÎPĂ, M. *Lubrifiere și lubrifianți*. Editura: Europlus, Galați 2008, ISBN 978-973-7845-93-1, 360 p.

În engleză:

55. About Pacific Biodiesel. Disponibil: <https://www.biodiesel.com/about-pacific-biodiesel/> (citată 14.12.2022).

56. ADHAM, A. and MABSATE, E. M. Computational Study of Fuel Temperature Impact on Combustion and Pollutant Emissions of a Diesel Engine Fueled with Diesel-Biodiesel Blends.

In: *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, Tangier, Morocco, 2017, pp. 1-6. DOI: 10.1109/IRSEC.2017.8477402.

57. AGUDELO, John, et al. Experimental combustion analysis of a hsd diesel engine fuelled with palm oil biodiesel-diesel fuel blends. In: *Dyna*, Año 76, Nro. 159,. Medellín, septiembre de 2009, ISSN 0012-7353, pp. 103-113.

58. ALTARAZI, Yazan S.M. et, al. Effects of biofuel on engines performance and emission characteristics. In: *Energy* Volume 238, Part C, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121910>.

59. Analysis: Global CO₂ emissions from fossil fuels hit record high in 2022. Disponibil: <https://www.carbonbrief.org/analysis-global-co2-emissions-from-fossil-fuels-hit-record-high-in-2022/>.

60. ATABANI, A. E., et al. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 16, № 4, 2012, p. 2070-2093. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>.

61. „Ballestra Continuous Transesterification Process,” In: *Ballestra News*, November 1995. Ballestra, S.p.A., Milano, Italy, 1995. Disponibil: <http://desmetballestra.com>. (citat 17.04.2019).

62. **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, ISSN 1842 - 4074.

63. **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, ISBN 978-9975-159-80-7.

64. Biodiesel better than diesel for tractors and agriculture. Disponibil: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/09/09/biodiesel-better-than-diesel-for-tractors-and-agriculture/>.(citat 20.06.2020).

65. BS 1452:1990. Specification for flake graphite cast iron.

66. BUZIKOV, Sh., V. et al. Investigation of the combustion process of a diesel engine when working on a mixed fuel. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, doi:10.1088/1755-1315/981/4/042052.

67. CEREMPEI, V., **BANARI, E.**, POȘTARU, Gh., POPA, L. Tribological research of the chrome- gray cast iron coupling with lubrication in different environments. In: *INMATEH -*

Agricultural Engineering. Vol. 70, No. 2 / 2023. Bucharest. Pages 583-592. **IF: 0.484**, ISSN 2068 – 2239, ISSN 2068 – 4215. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-70-56>.

68. CHERUBINI, F., STRØMMAN, A. H. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges. In: *Bioresource Technology*. Vol. 102, 2011, p. 437-451.

69. COHEN, S. To Burn Or Not To Burn: When Will We Run Out of Oil? *Interfaith Center for Sustainable Development*, 2022. <https://interfaithsustain.com/when-will-we-run-out-of-oil/> (citat 20.02.2023).

70. CONTINO, F., et al. Engine Performances and Emissions of Second-Generation Biofuels in Spark Ignition Engines: The Case of Methyl and Ethyl Valerates. In: *SAE Technical Paper*. 2013. ISSN: 0148-7191. <https://doi.org/10.4271/2013-24-0098>.

71. CORSINI, A., MARCHEGANI, A., RISPOLI, F., SCIULLI, F., VENTURINI, P. Vegetable Oils as Fuels in Diesel Engine. Engine Performance and Emissions. In: *Energy Procedia*. vol. 81, 2015, p. 942-949. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.151>.

72. CORKWELL, K. C., et al. Review of Exhaust Emissions of Compression ignition Engines Operating on E Diesel Fuel Blends. In: *SAE Technical Paper 2003-01-3283*, 2003. ISSN: 0148-7191, p. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.4271/2003-01-3283>.

73. CONTINO, F., et al. Engine Performances and Emissions of Second-Generation Biofuels in Spark Ignition Engines: The Case of Methyl and Ethyl Valerates. In: *SAE Technical Paper*. 2013. ISSN: 0148-7191. <https://doi.org/10.4271/2013-24-0098>.

74. CLINE, William R., 2007, *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Washington: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics, 35p.

75. CURSARU, D. L., NEAGU, M., BOGATU, L. Investigations on the Oxidation Stability of Biodiesel Synthesized from Different Vegetable Oils. In: *Revista de Chimie. (Bucharest)*, 64, no. 4, 2013, 425-429 p. ISSN 2668-8212 (on-line). <https://doi.org/10.37358/Rev.Chim.1949>.

76. DABBAGH, H. A. et al. The influence of ester additives on the properties of gasoline. In: *Fuel*. Vol. 104, 2013, p. 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.056>.

77. DEMIRBAS, A. Biofuels securing the planet's future energy needs. In: *Energy Conversion and Management*. Vol. 50, 2009, p. 2239-2249.

78. EL-SHAFAY, A.S., ALQSAIR, U.F., ABDEL RAZEK, S.M. et al. Artificial neural network prediction of performance and emissions of a diesel engine fueled with palm biodiesel. In: *Scientific Reports*, volume 12, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13413-9>.

79. EN 10083-2:2006. Steels for quenching and tempering. Technical delivery conditions for non alloy steels.
80. EN 14214:2003. Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods.
81. ESMAEILI, H. A critical review on the economic aspects and life cycle assessment of biodiesel production using heterogeneous nanocatalysts. In: *Fuel Processing Technology*. Vol. 230, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107224>.
82. European Agricultural Machinery Association, 2022. Disponibil: <https://www.cema-agri.org/publications/31-press-releases-publications/1015-tractor-registrations-remain-high-in-2022,-though-down-on-the-previous-year,-despite-price-and-supply-chain-challenges>.
83. 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>.
84. FRASER, Arabella and KIRBYSHIRE, Amy. Supporting governance for climate resilience. Working with political institutions. Working paper 517. - 2017.
85. GREBEMARIAM, S., MARCHETTI, J. M. Biodiesel Production Technologies. In: *Review. AIMS Energy* Vol. 5, 2017, p. 425-457.
86. HAJJARI, M., TABATABAEI, M., AGHBASHLO, M., GHANAVATI, H. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 72, 2017, p, 445-464.
87. HASANA, M. M., RAHMAN, M. M. Performance and emission characteristics of biodiesel-diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 74, 2017, p. 938-948. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.045>.
88. 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>.
89. History of Biodiesel. <https://farm-energy.extension.org/history-of-biodiesel>. (citat 03.07.2020).
90. HOFMAN, Vern. Extension Agricultural Engineer. Biodiesel fuel. <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/5112/ae1240.pdf>.
91. ISO 2719:2002(E). Determination of flash point - Pensky-Martens closed cup method.

92. JESWANI, H. K., CHILVERS, A., AZAPAGIC, A. Environmental sustainability of biofuels: A review. In: *Proceedings of the Royal Society. A*. Vol. 476, 2020, <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0351>.
93. KNEŽEVIĆ, D., et al. The characteristics of combustion process of diesel engine using vegetable oil methyl esters. In: *Thermal Science*, Vol. 19, No. 6, 2015, pp. 2255-2263. ISSN - 2683-3867.
94. KNOTHE, G. Biodiesel fuels. In: *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 58, 2017, p. 36-59. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>.
95. KNOTHE, G., GERPEN, J. V. *The Biodiesel Handbook*. AOCS Publishing, 1st Edition, 2005, p. 328. ISBN 9781003040262. <https://doi.org/10.1201/9781003040262>.
96. KUMAR, S., GAUTAM, R. Performance and combustion analysis of diesel and tallow biodiesel in CI engine. In: *Energy Reports*, Vol. 6, 2020, pages 2785-2793, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.039>.
97. LACUSTA, I., SLIUSARENCO, V., GANEA, G. Technology and equipment for the production biofuel from oily plants. In: *Buletinul institutului politehnic din Iași, tomul LVI (LX), FASC. 4B*. Editura POLITEHNIUM, 2010, p. 389-394.
98. LAPUERTA, M., ARMAS, O., RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. In: *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 34, 2008, p. 198-223.
99. MAHESHWARI, P., BELALHAIDER, M., YUSUF, M, et al. A review on latest trends in cleaner biodiesel production: Role of feedstock, production methods, and catalysts. In: *Journal of Cleaner Production*. Vol. 335, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131588>.
100. MEHMOOD, M. A. IBRAHIM, M., RASHID, U., et al. Biomass production for bioenergy using marginal lands. In: *Sustainable Production and Consumption*. Vol. 9, 2017, p. 3-21.
101. 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.
102. MONTGOMERY, Douglas C. *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons, Incorporated, Eighth edition, 2013, p. 757. ISBN 978-1-118-14692-7.
103. NEUPANE, D., ADHIKARI, P., et al., Does Climate Change Affect the Yield of the Top Three Cereals and Food Security in the World? In: *Earth*. Vol. 3, 2022, p. 45-71. <https://doi.org/10.3390/earth3010004>.

104. OKOYE, P. U., LONGORIA, A., SEBASTIAN, P. J., WANG, S., LI, S., HAMEED, B. H. A review on recent trends in reactor systems and azeotrope separation strategies for catalytic conversion of biodiesel-derived glycerol. In: *Science of The Total Environment*. Vol. 719, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134595>.
105. PAHL, G. *Biodiesel: Growing a New Energy Economy*. Chelsea Green Publishing, 2005, p. 285.
106. PETERSON, C. L., REECE, D. L., HAMMOND, B. et al. *Commercialization of Idaho Biodiesel (HySEE) from Ethanol and Waste Vegetable Oil*. ASAE Paper. – 1995. – № 956738. – p. 1-6.
107. PRIYA, DEORA, P. S., VERMA, Y., MUHAL, R. A., GOSWAMI, C., SINGH, T. Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source. In: *Mater. Today Proc.* Vol. 48, 2022, p. 1178-1184. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.227>.
108. REITZ, R. D., OGAWA, H., PAYRIET, R., et al. The future of the internal combustion engine. In: *International Journal of Engine Research*. Vol. 21, 2020, p. 3-10. <https://doi.org/10.1177/1468087419877990>.
109. RUSHING, H.; KARL, A.; WISNOWSKI, J. *Design and Analysis of Experiments by Douglas Montgomery*. A Supplement for. Cary: SAS Institute Inc, 2013. 285 p. ISBN 978-1-61290-725-3.
110. SAKTHIVEL, R., RAMESH, K., PURNACHANDRAN, R., MOHAMED SHAMEER, P. A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. In: *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 82, part 3, 2018, p. 2970-2992.
111. SALEHI JOUZANI, G., AGHBASHLO, M.; TABATABAEI, M. Biofuels: Types, Promises, Challenges, and Role of Fungi. In: *Fungi in Fuel Biotechnology*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 1-14.
112. SANI, Y., DAUD, W., AZIZ, A. A. Biodiesel feedstock and production technologies: Successes, challenges and prospects. In: *Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications*. Vol. 10, 2012, DOI: 10.5772/52790.
113. SHEEHAN, J., et al. Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. *Final Report*, May 1998. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503, 334 p. <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>.
114. SCHUMACHER, L. G., BORGELT, S. C., FOSSEEN, D., GOETZ, W., HIRES, W. Heavy-duty engine exhaust emission tests using methyl ester soybean oil/diesel fuel blends. In:

Bioresource. Technology. Vol. 57, 1996, p. 31-36. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00043-0](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00043-0).

115. SINGH, A. R., SINGH, S. K., JAIN, S. A review on bioenergy and biofuel production. In: *Materials Today: Proceedings*. Vol. 49, 2022, p. 510-516. DOI: [10.1016/j.matpr.2021.03.212](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.212).

116. SINGH, R., SINGH, S., KUMAR, M. Impact of n-butanol as an additive with eucalyptus biodiesel-diesel blends on the performance and emission parameters of the diesel engine. In: *Fuel*. Vol. 277, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118178>.

117. SUN, S., LI, K. Biodiesel production from phoenix tree seed oil catalyzed by liquid lipozyme TL100L. In: *Renewable Energy*. Vol. 151, 2020, p. 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.006>.

118. TAYARI, S., ABEDI, R., RAHI, A. Comparative assessment of engine performance and emissions fueled with three different biodiesel generations. In: *Renewable Energy*. Vol. 147, 2020, p. 1058-1069. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.068>.

119. *The State of Food and Agriculture: Climate change, Agriculture and Food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2016, 194 p. ISBN 978-92-5-109374-0, ISSN 0081-4539, <http://www.fao.org/3/a-i6030e.pdf>.

120. VERMA, A. S., CHHABRA, S., KARNWAL, A., GUPTA, A., KUMAR, R. A review on performance, combustion and emissions utilizing alternative fuels. In: *Materials Today: Proceedings*. Vol. 64, Part 3, 2022, p. 1459-1464. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.777>

121. VYAS, A. P., VERMA, J. L., SUBRAHMANYAM, N. A review on FAME production processes. In: *Fuel*, Vol. 89, 2010, p. 1-9.

În rusă:

122. АБЛАЕВ, А. Р. и др. *Производство и применение биодизеля*. Справочное пособие. М, АПК и ПРО, 2006 г., 80 с.

123. АЖДЕР, В. В., ДРОЗДОВ, Ю. Н., КОМЕНДАНТ, и др., Основные закономерности трения, смазки и заедания при ускоренном и замедленном циклическом скольжении. В: *Трение и износ*, № 4, 9, 1988, стр. 581-591.

124. АЛЕКСЕЕВ, В. П. и др. *Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей*. Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1990. 288 с. ISBN 5-217-00117-8.

125. АЛЕКСАНДРОВ, В. Ю. КУЗУБОВА, Л. И. ЯБЛОКОВА Е. П. Экологические проблемы автомобильного транспорта. В: *Аналитический обзор, серия „Экология”*, выпуск

34, Новосибирск, 1995, 113 с. ISBN 5-7623-0862-6.

http://www.spsl.nsc.ru/download/ecology/V_34.pdf.

126. 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.

127. АРХАНГЕЛЬСКИЙ, В. М., ВИХЕРТ, М. М., ВОИНОВ, А. Н., СТЕПАНОВ, Ю. А., ТРУСОВ, В. И., ХОВАХ, М. С. *Автомобильные двигатели*. Учебник для вузов. Издательство „Машиностроение”, Москва, 1967. 496 с.

128. БИРЮКОВ, В. В. *Методы повышения эффективности работы дизеля при использовании этанола в качестве экологической добавки к дизельному топливу*: дисс. д-ра техн. наук. М., 2017. 173 с.

129. ВАСИЛЬЕВ, И. П. *Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля*. И. П. Васильев. - Луганск: Изд-во Восточно-украинского ун-та. В. Даля, 2009. – 240 с.

130. ВЫРУБОВ, Д. Н., ИВАЩЕНКО, Н. А., ИВИН, В. И., и др. *Двигатели внутреннего сгорания*. Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983. 372 с.

131. ГЛУЩЕНКО, А. А. *Исследование качества топливо-смазочных материалов и применение альтернативных видов топлив*. Учебное пособие для студентов, магистров и аспирантов инженерно-физического факультета высоких технологий/ А.А. Глущенко – Ульяновск: УлГУ, 2019. 318 с.

132. ГОРБУНОВ, В. В., ПАТРАХАЛЬЦЕВ, Н. Н. *Токсичность двигателей внутреннего сгорания*. М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 1998. 216 с. ISBN 5-209-00912-2.

133. ГОСТ 18509-88. «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

134. ГОСТ 17.2.02-98. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин.

135. ГОСТ 33-82. Нефтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости.

136. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.

137. ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок.

138. ГОСТ 1050-2013.Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей.
139. ГОСТ 1770-74. (ИСО 1042-83, ИСО 4788-80). Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия.
140. ГОСТ 2477-85. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды.
141. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
142. ГОСТ 3900-85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.
143. ГОСТ 5066-91. Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации.
144. ГОСТ Р 54783-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения.
145. ГОСТ 5962-2013. Спирт этиловый ректифицированный из пищевого сырья.
146. ГОСТ 6356-75. Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле.
147. ГОСТ 8505-80. НЕФРАС-С 50/170. Технические условия.
148. ГОСТ 9450. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.
149. ГОСТ 11362-96. Нефтепродукты и смазочные материалы. Число нейтрализации. Метод потенциометрического титрования.
150. ГОСТ 12417-94. Нефтепродукты. Метод определения сульфатной золы.
151. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
152. ГОСТ 8581-2021. Масла моторные для автотракторных дизелей. Технические условия.
153. ГОСТ 25336-82. Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры.
154. 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.

155. ДАНИЛОВ, А. М., КАМИНСКИЙ, Э. Ф., ХАВКИН, В. А. Альтернативные топлива: Достоинства и недостатки. Проблемы применения. В: *Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева*. Том XLVII, № 6, 2003. с. 4-11. ISSN 0373-0247.
156. ДЕВЯНИН, С. Н. *Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей*. М.: Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. 340 с. ISBN 978-5-86785-200-9.
157. 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: *Общегосударственный межведомственный научно-технический сборник. Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин*. Вып. 49, с. 75-82, 2019, ISSN 2414-3820, г. Кропивницкий.
158. ДУГИН, Г. С. Применение биоэтанольного топлива на автотранспорте. В: *Транспорт на альтернативном топливе*, 2010. - № 5 (17), с. 48-51. <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bioetanolnogo-topliva-na-avtotransporte.pdf>.
159. 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.
160. ДЬЯЧЕНКО, Н. Х., КОСТИН, А. К., ПУГАЧЕВ, Б. П. РУСИНОВ, Р. В., МЕЛЬНИКОВ, Г. В. *Теория двигателей внутреннего сгорания. Рабочие процессы*. Издание второе, дополненное и переработанное. Издательство „Машиностроение”, Москва, 1974. 552 с.
161. ЗАХАРЧУК, В. И., ТКАЧУК, В. В. Луцкий национальный технический университет (Украина) Технология получения и эксплуатационные характеристики изопропилового эфира рапсового масла. Научно-технический журнал: *Химия и технология топлив и масел* № 6 (574), 2012, стр. 3-6.
162. ЗАХАРЧУК, В., ТКАЧУК, В., УСЕНКО, М. Оцінка експлуатаційних властивостей біодизельного палива - ізопропілового ефіра ріпакової олії. In: *INMATEH Agricultural Engineering*, Vol. 34, No.2 / 2011, стр. 87-90.
163. КАРПУШКИН, С. В., ГЛЕБОВ, А. О. *Теория инженерного эксперимента*. Учебное пособие, Тамбов, 2017, 81 с.

164. КАРТАШЕВИЧ, А. Н. Экспериментальные исследования работы дизеля Д-243 при подаче на впуске рапсового масла / А. Н. Карташевич, В. А. Белоусов, В. С. Товстыка // Вестник Белорусско-Российского университета. № 4, 2008, с. 28-33.
165. КАРТАШЕВИЧ, А. Н. ТОВСТЫКА, В. С. ГОРДЕЕНКО, А. В. *Топливо, смазочные материалы и технические жидкости*. Учеб. пособие/А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко - Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014, 421 с. <https://www.polessu.by/sites/default/files/sites/default/files/02per/03document/014.pdf>.
166. КОЛЧИН, А. И., ДЕМИДОВ, В. П. *Расчет автомобильных и тракторных двигателей*. Москва: Высшая школа, 1980, 400 с.
167. КОЛЧИН, А. И., ДЕМИДОВ, В. П. *Расчет автомобильных и тракторных двигателей*. – 4-е изд. стер. Москва: Высшая школа, 2008, 496 с. ISBN 978-5-06-003828-6.
168. КРОИТОРУ, Д. М., ГУРЬЯНОВ, В. В., АЖДЕР, В. В., ЧЕБАН, В. Ф., ПОШТАРУ, Г. И. Трибологические свойства композиционных гальванических покрытий железо-карборунд. В: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Republicii Moldova. Fizica şi tehnica*, nr. 3, 1992. с. 89-95.
169. КРЭЧУН, А., ДУКА, Г., ЕНЕ, В. Стандарты на вредные выбросы автомобилей и качество атмосферного воздуха в Республике Молдова. В: *Mediul Ambient*, 2008, nr. 2 (38), pp. 6-12. ISSN 1810-9551.
170. КУЛМАНАКОВ, С. П., БАЛАШОВ, А. И., КУЛМАНАКОВ, С. С. Влияние технологии производства биодизельного топлива на показатели рабочего процесса дизельного двигателя. В: *Ползуновский вестник № 4*, 2007, стр. 59-62.
171. КУРМАНОВА, Л. С. *Повышение эффективности работы дизелей тепловозов путем применения смеси дизельного топлива и природного газа*. дисс. канд. техн. наук. Самара, 2019. 210 с.
172. 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, стр. 237-245, ISBN 5-88517-082-7.
173. ЛИХАНОВ, В. А., САЙКИН, А. М. *Снижение токсичности автотракторных дизелей*. М.: Колос, 1994. 224 с. ISBN 5-10-003222-7.
174. ЛУКАНИН, В. Н., МОРОЗОВ, К. А., ХАЧИЯН, А. С. и др. *Двигатели внутреннего сгорания*. Кн. 1: Теория рабочих процессов. В 3-х книгах. М.: Высшая школа, 1995. 368 с. ISBN 5-06-003298-1.

175. МАРКОВ, В. А., БАШИРОВ, Р. М., ГАБИТОВ, И. И. *Токсичность отработавших газов дизелей*. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с. ISBN 5-7038-1993-8.
176. 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.
177. МАРКОВ, В. А., ШУСТЕР, А. Ю., ДЕВЯНИН, С. Н. Особенности применения метилового эфира рапсового масла в качестве топлива для дизелей. В: *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Сер. “Машиностроение”, №3, 2010, с. 56-69. ISSN 0236-3941.
178. МАРКОВ, В. А., СТРЕМЯКОВ, А. В., ДЕВЯНИН, С. Н., НЕВЕРОВА, В. В. Показатели токсичности отработавших газов дизельного двигателя, работающего на многокомпонентных смесевых биотопливах. В: *Безопасность в техносфере*, № 5 (сентябрь–октябрь), 2015.
179. МАРЧЕНКО, А. П., ПАРСАДАНОВ, И. В., ПРОХОРЕНКО, А. А., МЕШКОВ, Д. В. СМАЙЛИС, В., СЕНЧИЛА, В., ПОЛИВЯНЧУК, А. П. Комплексное исследование параметров автотракторного дизеля при работе на метиловом эфире рапсового масла. В: *Сборник научных трудов по материалам международной конференции „Двигатель-2007”, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Москва, 2007, 389-393 с.
180. МАТИЕВСКИЙ, Д. Д., КУЛМАНАКОВ, С. П., ЛЕБЕДЕВ, С. В., ШАШЕВ, А. В. Применение топлива на основе рапсового масла в дизелях. В: *Ползуновский Вестник № 4*, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2006, с. 118-127. ISSN 2072-8921.
181. Минский моторный завод: Руководство по эксплуатации, Двигатели Д-241, Д-242, Д-243, Д-245 и их модификации <https://www.comd.ru/upload/iblock/46b/46b096ec8047de6e1849a7755469c607.pdf>.
182. МЫСНИК, М. И. *Повышение экономичности и снижение вредных выбросов дизеля при работе на рапсовом масле*: дисс. канд. техн. наук. Барнаул, 2015.
183. НИКОЛАЕНКО, А. В. *Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей*. Издательство „Колос”, Москва, 1984. 335 с.
184. НИКОЛАЕНКО, А. В. *Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей* / А. В. Николаенко. - М.: Колос. - 1992. - 414 с.
185. ПОПОВА, Н. М. *Катализаторы очистки выхлопных газов автотранспорта*. Алма-Ата: Изд-во „Наука”, 1987, 224 с.

186. РЕДЗЮК, А. М., РУБЦОВ, В. О., ГУТАРЕВИЧ, Ю. Ф. *Проблема та перспективи використання рослинної олії як моторного палива. Автошляховик України.* - 1999. - №1, с. 4-6.
187. РОМАНЦОВА, С. В., БОДЯГИНА, С. В., КРИВЕЦ, С. А. Исследование фракционного состава биотоплива, синтезированного из возобновляемого сырья. В: *Вестник ТГУ*, т. 15, выпуск 1, 2010, с. 72-74.
188. СЕМЕНОВ, В. Г. Цивилизация без нефти: биодизельное топливо в топливно-энергетическом комплексе Украины. В: *Интегрированные технологии и энергосбережение*, № 1, 2007, с. 11-15. ISSN 2078-5364.
189. СИДНЯЕВ, Н. И. *Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных.* Учебное пособие / Н.И. Сидняев. – М.: ИД Юрайт, 2012. 399 с.
190. СЛЮСАРЕНКО, В., ГАНЯ, Г., ЛАКУСТА, И., **БАНАРЬ, Е.** Технологический процесс производства биотоплива. În: *Știința agricolă*, UASM, Chișinău, 2010, nr. 1, pp. 58-61. ISSN 1857-0003.
191. СМОЛЬНИКОВ, М. В. *Улучшение показателей применяемости альтернативных топлив с добавками этанола в автотракторных дизелях:* дисс. канд. техн. наук. Киров, 2020, 173 с. <https://www.dissercat.com/content/uluchshenie-pokazatelei-primenyaemosti-alternativnykh-topliv-s-dobavkami-etanola-v-avtotrakt>.
192. Сульфатная зольность масла. На что влияет этот параметр? <https://avtozhidkost.ru/zolnost-motornogo-masla-na-chto-vliyaet-kakaya-luchshe/>.
193. ХАЧИЯН, А. С., МОРОЗОВ, К. А., ЛУКАНИН, В. Н., ТРУСОВ, В. И., БАГИРОВ, Д. Д., КОРСИ, Е. К. *Двигатели внутреннего сгорания.* Под ред. В. Н. Луканина – 2-е изд., дополненное и переработанное. Издательство „Высшая школа”, Москва, 1985. 311 с.
194. ЧЕРЕМИСИНОВ, П. Н. *Увеличение предела применяемости альтернативных топлив с добавками рапсового масла в автотракторных дизелях:* дисс. канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2019, 133 с. <https://www.dissercat.com/content/uvelichenie-predela-primenyaemosti-alternativnykh-topliv-s-dobavkami-rapsovogo-masla-v-avtotot>.

ANEXE

Anexa A1. Rezultatele cercetărilor

Tabelul A1.1 Rezultatele studiului probei de biodiesel transesterificat din ulei de rapiță, în corespundere cu EN 14214-2003

| Denumirea indicatorilor | Norma conform EN 14214-2003 | Mostra prezentată |
|---|-----------------------------|-------------------|
| 1. Conținutul de esteri metilici, [%vol.], nu mai puțin | 96,5 | 98,4 |
| 2. Densitatea la temperatura de 15°C, [kg/m ³], în limitele | 860 ÷ 900 | 886,3 |
| 3. Viscositatea la temperatura de 40°C, [mm ² /s], în limitele | 3,5 ± 5,0 | 4,79 |
| 4. Temperatura de inflamare în vas închis, [°C], nu mai puțin | 120 | 168 |
| 5. Conținutul de sulf, [mg/kg], nu mai mult | 10 | 10 |
| 6. Cocsificare a 10% reziduu, [%], nu mai mult | 0,3 | 0,06 |
| 7. Cifra cetanică, nu mai puțin | 51 | 51 |
| 8. Conținutul de cenușă, [%], nu mai mult | 0,02 | 0,005 |
| 9. Conținutul de apă, [mg/kg], nu mai mult | 50 | 50 |
| 10. Încercări pe placa de cupru | Clasa 1 | Clasa 1 |
| 11. Cifra de aciditate, [mg KOH/g de combustibil], nu mai mult | 0,5 | 0,47 |
| 12. Conținutul de metanol, [%], nu mai mult | 0,2 | 0,005 |
| 13. Conținutul de monogliceride, [%], nu mai mult | 0,8 | 0,5 |
| 14. Conținutul de digliceride, [%], nu mai mult | 0,2 | 0,2 |
| 15. Conținutul de trigliceride, [%], nu mai mult | 0,2 | 0,16 |
| 16. Glicerină liberă, [%], nu mai mult | 0,02 | 0,01 |
| 17. Glicerină totală, [%], nu mai mult | 0,25 | 0,25 |
| 18. Cifra de iod, nu mai mult | 120 | 82,3 |
| 19. Conținutul de fosfor, [mg/kg], nu mai mult | 10,0 | 4,0 |
| 20. Conținutul de metale a grupei I, (Na, K), [mg/kg], nu mai mult | 5,0 | Lipsă |
| 21. Conținutul de metale a grupei II, (Ca, Mg), [mg/kg], nu mai mult | 5,0 | 5,0 |
| 22. Conținutul de ester metilic a acidului linoleic, [%], nu mai mult | 12,0 | 6,6 |
| 23. Conținutul de impurități mecanice, [mg/kg], nu mai mult | 24,0 | Lipsă |
| 24. Stabilitate de oxidare la temperatura, 110 °C, min, nu mai puțin | 360 | Mai mult 360 |
| 25. Esteri metilici poli nesaturați (≥4 legături duble) | 1,0 | 0,8 |

Anexa A2. Echipament și materiale de cercetare

Tabelul A2.1 Caracteristicile de calitate ale uleiului de motor M-10G₂ GOST 8581-2021 (SAE 30; API CC)

| Caracteristici | Valoarea |
|--|-------------|
| Viscozitatea cinematică la 100 °C, [mm ² /s] | 11,0 – 11,5 |
| Indicele de viscozitate | 90 |
| Conținutul de impurități mecanice, [%] | 0,015 |
| Conținutul de apă | Urme |
| Temperatura de inflamare, [°C] | 210 |
| Temperatura de congelare, [°C] | -15 |
| Coroziune pe plăci de plumb, [g/m ²] | 20 |
| Proprietăți detergente, puncte | 1,0 |
| Alcalinitatea (cifra de bazicitate totală), [mg KOH /1g ulei de motor] | 6,0 |
| Conținutul de cenușă, [%] | 1,65 |
| Densitatea absolută la 20 °C, [g/cm ³] | 0,905 |
| Gradul de puritate, [mg/100g ulei] | 500 |

Tabelul A2.2 Caracteristica tehnico-economică a motorului DC4 11,0/12,5

| Nr. d/o | Caracteristica | Valoarea |
|---------|--|------------------|
| 1. | Model | D-241L |
| 2. | Răcire | cu lichid |
| 3. | Capacitatea cilindrică, [dm ³] | 4,75 |
| 4. | Alezaj x cursă, [mm x mm] | 110 x 125 |
| 5. | Numărul cilindrilor, poziția cilindrilor | 4 în linie |
| 6. | Ordinea injectării combustibilului | 1-3-4-2 |
| 7. | Tipul injectării | injectie directă |
| 8. | Presiunea de injectare, [MPa] | 17,5 |
| 9. | Injectorul cu 4 orificii: - diametrul orificiilor, [mm] | 0,23-0,34 |
| 10. | Raport de comprimare | 16,0 |
| 11. | Puterea maximă, [kW (cp)] | 51,54 (70) |
| 12. | Turația nominală, [min ⁻¹] | 2100 |
| 13. | Cuplu maxim, [Nm] (la turația 1400 min ⁻¹) | 270 |
| 14. | Consumul specific de combustibil, [g/kW h] (la puterea maximă N _e = 51,54 kW) | 252 |

Tabelul A2.3 Caracteristica tehnică a standului KI-5543

| Denumirea parametrilor tehnici | Valori |
|--|-----------------|
| Puterea mașinii electrice în regim de motor (rodajul la rece), [kW], până la | 55 |
| Puterea mașinii electrice în regim de frână (rodajul la cald), [kW/c.p.], până la | 125/170 |
| Intervalul de reglare al turațiilor arborelui mașinii electrice (rodajul la rece), [min ⁻¹] | 650-1450 |
| Intervalul de reglare al turațiilor arborelui mașinii electrice în regim de frână (rodajul la cald), [min ⁻¹] | 1650-3000 |
| Intervalul de măsurare a turației, [min ⁻¹], cu: - tahometru cu inducție magnetică; - tahometru electronic | până la 3000 |
| Intervalul de măsurare a presiunii uleiului, [bar] | 0-10 |
| Intervalul de măsurare a temperaturii uleiului și lichidului de răcire, [°C] | 0-120 |
| Masa standului, [kg] | 1600 |
| Suprafața ocupată de stand, [m ²], nu mai mult | 15 |

Tabelul A2.4 Aparate de măsurare și de control pentru aprecierea parametrilor tehnici ai motorului în acțiune

| Nr. d/o | Denumirea | Destinația | Notă |
|---------|--|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Tahometru: - mecanic (GOST 13082-81); - electric TASA (GOST 21339-73) | Determinarea turației arborelui cotit | Turația <i>n</i> a arborelui cotit s-a măsurat cu tahometru din construcția instalației. |
| 2. | Dinamometrul KI-5543 GOSNITI (TY-700001702-73) | Măsurarea forței de frânare | Momentul de frânare a fost măsurat cu ajutorul dinamometrului instalației, având diviziunea de 0,01 kg (0,1 N). |
| 3. | Traductorul de temperatură: - de tip electric III 69000 cu cap (TXK - 400M 600°) GOST 9736-68; - de tip mecanic cu cap TCM-5071, t=(-50)- (+150) °C - TY.37.003.169-77 | Indicarea temperaturii | Valoarea temperaturii lichidului de răcire a fost înregistrată de pe indicația traductorului de temperatură din construcția standului. |
| 4. | Cântar electronic BS-15D1.3T1 | Verificarea consumului de combustibil și ulei | Verificarea consumului de combustibil și ulei s-a efectuat cu ajutorul cântarului din laborator. |
| 5. | Manometru: - МД 103 GOST 1701-84; - МТН-160 GOST 2405-72 | Determinarea presiunii uleiului | Valoarea presiunii uleiului în sistemul de ungere a fost înregistrată de pe indicația manometrului din construcția standului. |
| 6. | Cronometru mecanic GOST 5072-82 | Determinarea consumului de control al combustibilului | Determinarea consumului de control a combustibilului s-a realizat cu ajutorul cronometrului mecanic din laborator. |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|--|---|
| 7. | Indicator al debitului de gaze KI-13671 GOSNITI | Determinarea cantității de gaze care pătrund în carter | Cantitatea de gaze care pătrund în carter s-a măsurat cu ajutorul debitmetrului KI-13671, când motorul a fost încălzit până la valorile temperaturii lichidului de răcire și a uleiului de 75-90°C. Apoi s-a închis cu dopuri orificiul răsuflătorului pentru gazele din carter și a celui a tijeii indicatoare de ulei. După aceea indicatorul debitului de gaze s-a racordat la gura de umplere a carterului motorului, turația arborelui cotit fiind la valoarea nominală. |
| 8. | Compresmetru universal KI-861 GOSNITI | Determinarea presiunii de compresie | Presiunea de compresie în cilindri la sfârșitul compresiunii s-a determinat, racordând compresmetru universal KI-861 la fiecare cilindru și rotind de câteva ori arborele cotit cu ajutorul instalației de frânare. |
| 9. | Debitmetru de aer ПГ-250 | Determinarea debitului de aer aspirat de MAI | Debitul de aer aspirat de MAI s-a determinat prin cronometrarea procesului de schimbare a indicațiilor contorului de aer. |

Tabelul A2.5 Principalele caracteristici ale analizatorului de gaze

| Parametrii înregistrați | Concentrația | | | Fumegare (pentru filtru cu coeficientul de pătrundere a luminii 50%) | λ | O ₂ , [%vol.] | Turația arborelui cotit, [min ⁻¹] | Temperatura uleiului în motor |
|---|--|------------------------------|--|---|----------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|
| | CO, [%vol.] | CO ₂ , [%vol.] | C _n H _m , [ppm] | | | | | |
| Interval de măsurare | 0-10 | 0-20 | 0-2000 (după n-hexan) | 0-9,99 m ⁻¹ , 0-100% | 0-2 | 0-25 | 0-9999 | 0-150 °C |
| Limitele admise a erorii de măsurare | ±5% | ±5% | ±3% | ±0,05m ⁻¹ , ±1,5% | nu este standardizat | | | |
| Principiul funcționării | Cu utilizarea razelor infraroșii | | | Cu vizor optic | Prin calcul | Metoda electrochimică | - | - |
| Timpul de setare a modului de operare | nu mai mult de 10 min | | | | | | | |
| Opțiuni de alimentare | Rețea de curent monofazat cu tensiune între 195 și 253 V, 50 Hz | | | | | | | |
| Parametrii mediului în timpul exploatării | Temperatura aerului de la 5 la 40 °C, umiditatea relativă până la 90%, corectarea automată a presiunii atmosferice | | | | | | | |
| Dimensiuni de gabarit | LxBxH = 560x480x240 mm | | | | | | | |
| Accesorii | Filtre grosiere, fine și dezumidificator. Sonda de măsurare până la 8 m lungime. | | | | | | | |



a)



b)

Fig. A2.1. Secvențe din procesul de pregătire a tractoarelor: a) curățirea filtrului (de ulei) centrifugal; b) schimbarea uleiului în baia carterului motorului



a)



b)

Fig. A2.2. Secvențe din procesul verificării presiunii la sfârșitul compresiei în cilindrii motorului DC4 11,0/12,5: a) pregătirea cilindrului nr.1; b) efectuarea măsurărilor

Anexa A3. Rezultatele cercetării

Tabelul A3.1 Valorile calculate ale procesului de ardere în diagrama p-φ

| Tipul combustibilului | Presiunea ciclului de ardere, [MPa] | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Motorină | 1,5 | 2,46 | 3,08 | 3,5 | 3,965 | 4,54 | 4,79 | 4,92 | 4,82 | 3,76 | 2,5 | 1,7 |
| B20 | 1,5 | 2,46 | 3,08 | 3,46 | 3,964 | 4,50 | 4,78 | 4,86 | 4,78 | 3,68 | 2,48 | 1,68 | 1,22 |
| B50 | 1,5 | 2,46 | 3,08 | 3,42 | 3,963 | 4,48 | 4,75 | 4,84 | 4,74 | 3,6 | 2,42 | 1,64 | 1,19 |
| B100 | 1,5 | 2,46 | 3,08 | 3,4 | 3,960 | 4,42 | 4,71 | 4,77 | 4,64 | 3,46 | 2,36 | 1,6 | 1,16 |
| Unghiul de rotație a arborelui cotit φ, [°RAC]: | | | | | | | | | | | | | |
| | -30 | -18 | -12 | -5 | 0 | 5 | 10 | 14 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |

Tabelul A3.2 Proprietățile fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor cercetați

| Tipul combustibilului | Valorile obținute ale combustibililor testați | | |
|-----------------------|--|--|--------------------------------|
| | Densității combustibilului, [g/cm ³] | Viscozitatea cinematică μ la 20 °C, [mm/s ²] | Temperatura de inflamare, [°C] |
| Motorină | 0,834 | 4,05 | 71 |
| B20 | 0,846 | 4,43 | 74 |
| B50 | 0,862 | 4,84 | 86 |
| B100 | 0,886 | 8,0 | 135 |

Tabelul A3.3 Abaterea medie pătrată a rugozității Ra, Corp – suprafață cromată

| Nr. de măs. | Rugozitatea, [μm] | Valoarea medie | $X_i - X_{med}$ | $(X_i - X_{med})^2$ | Suma $(X_i - X_{med})^2$ | $\frac{\Sigma(X_i - X_{med})^2}{n - 1}$ | $\sqrt{\frac{\Sigma(X_i - X_{med})^2}{n - 1}}$ |
|-------------|-------------------|----------------|-----------------|---------------------|--------------------------|---|--|
| 1 | 0,19 | 0,20 | -0,01 | 0,0001 | 0,0041 | 0,000513 | 0,02 |
| 2 | 0,21 | | 0,01 | 0,0001 | | | |
| 3 | 0,22 | | 0,02 | 0,0004 | | | |
| 4 | 0,16 | | -0,04 | 0,0016 | | | |
| 5 | 0,18 | | -0,02 | 0,0004 | | | |
| 6 | 0,23 | | 0,03 | 0,0009 | | | |
| 7 | 0,21 | | 0,01 | 0,0001 | | | |
| 8 | 0,22 | | 0,02 | 0,0004 | | | |
| 9 | 0,21 | | 0,01 | 0,0001 | | | |

Tabelul A3.4 Abaterea medie pătrată a rugozității Ra, Contracorp – fontă cenușie (FC)

| Nr. de măs. | Rugozitatea, [μm] | Valoarea medie | $X_i - X_{med}$ | $(X_i - X_{med})^2$ | Suma $(X_i - X_{med})^2$ | $\frac{\Sigma(X_i - X_{med})^2}{n - 1}$ | $\sqrt{\frac{\Sigma(X_i - X_{med})^2}{n - 1}}$ |
|-------------|-------------------|----------------|-----------------|---------------------|--------------------------|---|--|
| 1 | 0,22 | 0,20 | 0,02 | 0,0004 | 0,001 | 0,00025 | 0,02 |
| 2 | 0,22 | | 0,02 | 0,0004 | | | |
| 3 | 0,19 | | -0,01 | 0,0001 | | | |
| 4 | 0,20 | | 0 | 0 | | | |
| 5 | 0,19 | | -0,01 | 0,0001 | | | |

Tabelul A3.5 Rezultatele cercetărilor tribologice ale cuplelor în mediu de motorină și biocombustibili B20, B100

| Denumirea elementelor cuplei | Tipul combustibilului | Uzura elementelor după numărul de cicluri n, x1000, [mg] | | | | | | | |
|---|-----------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| Corp, suprafață cromată | Motorină | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| | Biodiesel 20 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Biodiesel B100 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 |
| Contracorp, FC | Motorină | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 3,1 |
| | Biodiesel 20 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 1 | 1,3 | 1,5 | 1,6 |
| | Biodiesel B100 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,1 | 1,5 | 1,7 |
| Ecuatii de distribuție statistică a rezultatelor obținute: | | | | | | | | | |
| Corp, suprafață cromată: | | | | | | | | | |
| 1 - Motorină | | $y = 1E-06x - 0,0156$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,8592$ | | | | | | | |
| 2 - Biodiesel 20 | | $y = 2E-06x$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,928$ | | | | | | | |
| 3 - Biodiesel B100 | | $y = 1E-06x + 0,0511$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,9429$ | | | | | | | |
| Contracorp, FC: | | | | | | | | | |
| 4 - Motorină | | $y = -7E-06x - 0,3178$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,9758$ | | | | | | | |
| 5 - Biodiesel 20 | | $y = -4E-06x + 0,0644$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,9862$ | | | | | | | |
| 6 - Biodiesel B100 | | $y = -4E-06x + 0,0778$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,9887$ | | | | | | | |
| Uzura totală a cuplelor tribologice în mediu: | | | | | | | | | |
| Motorină | | 0,9 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 2,4 | 2,9 | 3,2 | 3,8 |
| Biodiesel 20 | | 0,3 | 0,4 | 0,9 | 1,2 | 1,7 | 2,1 | 2,3 | 2,4 |
| Biodiesel B100 | | 0,2 | 0,5 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,6 | 2 | 2,3 |
| Ecuatii de distribuție statistică a rezultatelor obținute: | | | | | | | | | |
| Motorină | | $y = 9E-06x + 0,3022$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,9804$ | | | | | | | |
| Biodiesel 20 | | $y = 7E-06x - 0,0644$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,9808$ | | | | | | | |
| Biodiesel B100 | | $y = 6E-06x - 0,0267$, criteriul de conformitate $R^2 = 0,9933$ | | | | | | | |

**Anexa 4. Rezultatelor cercetării a parametrilor de performanță
a motorului DC4 11,0/12,5**

**Tabelul A4.1 Valorile rezultatelor cercetării a parametrilor de performanță a motorului
DC4 11,0/12,5 alimentat cu motorină**

| Turația arborelui cotit, [min ⁻¹] | Parametri de performanță a motorului | | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| | M _t , [N·m] | N _e , [kW] | G _h , [kg/h] | g _e , [g/kW·h] |
| 1400 | 270 | 39,6 | 8,94 | 225 |
| 1600 | 268 | 44,8 | 10,2 | 228 |
| 1800 | 260 | 47,6 | 11,5 | 234 |
| 2000 | 249 | 49,2 | 12,74 | 245 |
| 2100 | 240,3 | 52 | 12,95 | 252 |
| 2160 | 160 | 35 | 9,9 | 283 |
| 2220 | 80 | 17,5 | 6,9 | 394 |
| 2280 | 0 | 0 | 3,9 | ∞ |

**Tabelul A4.2 Valorile rezultatelor cercetării a parametrilor de performanță a motorului
DC4 11,0/12,5 alimentat cu amestec format din biodiesel-motorină B20**

| Turația arborelui cotit, [min ⁻¹] | Parametri de performanță a motorului | | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| | M _t , [N·m] | N _e , [kW] | G _h , [kg/h] | g _e , [g/kW·h] |
| 1400 | 258 | 38 | 9,3 | 237,4 |
| 1600 | 255 | 42,3 | 10,7 | 235,5 |
| 1800 | 243 | 45,1 | 11,8 | 241,2 |
| 2000 | 230 | 47,4 | 13,1 | 251,8 |
| 2100 | 222,3 | 50,7 | 13,3 | 259 |
| 2160 | 152 | 33,1 | 10,3 | 291,5 |
| 2220 | 74 | 16,8 | 7,4 | 393,1 |
| 2280 | 0 | 0 | 4,3 | ∞ |

**Tabelul A4.3 Valorile rezultatelor cercetării a parametrilor de performanță a motorului
DC4 11,0/12,5 alimentat cu amestec format din biodiesel-motorină B50**

| Turația arborelui cotit, [min ⁻¹] | Parametri de performanță a motorului | | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| | M _t , [N·m] | N _e , [kW] | G _h , [kg/h] | g _e , [g/kW·h] |
| 1400 | 249 | 36,1 | 9,5 | 252,6 |
| 1600 | 246 | 41,6 | 11,1 | 244,2 |
| 1800 | 235,4 | 44,2 | 12,1 | 252,2 |
| 2000 | 226,2 | 46,9 | 13,4 | 259,1 |
| 2100 | 220,4 | 48,7 | 13,45 | 270 |
| 2160 | 148,1 | 32,4 | 10,7 | 302,8 |
| 2220 | 69,4 | 15,6 | 7,7 | 406,5 |
| 2280 | 0 | 0 | 4,3 | ∞ |

Tabelul A4.4 Valorile rezultatelor cercetării a parametrilor de performanță a motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu biodiesel B100

| Turația arborelui cotit, [min ⁻¹] | Parametri de performanță a motorului | | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| | M _e , [N·m] | N _e , [kW] | G _h , [kg/h] | g _e , [g/kW·h] |
| 1400 | 243,1 | 33,2 | 10,3 | 278,2 |
| 1600 | 239 | 38,4 | 11,4 | 255 |
| 1800 | 232,2 | 43,2 | 12,35 | 266 |
| 2000 | 226 | 46,1 | 13,7 | 275 |
| 2100 | 216,4 | 47,5 | 13,96 | 285 |
| 2160 | 135 | 29 | 11,3 | 315 |
| 2220 | 65 | 13,2 | 7,9 | 422,5 |
| 2280 | 0 | 0 | 4,3 | ∞ |

Tabelul A4.5 Valorile calculate ale presiunii medii efective a motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu biodiesel și amestec biodiesel-motorină

| Tipul combustibilului | Presiunea medie efectivă Pe, [MPa] | | | | | | |
|--|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2100 | 2160 | 2220 |
| Motorina | 0,714 | 0,708 | 0,687 | 0,658 | 0,635 | 0,423 | 0,211 |
| B20 | 0,682 | 0,674 | 0,642 | 0,608 | 0,588 | 0,402 | 0,195 |
| B50 | 0,658 | 0,65 | 0,622 | 0,598 | 0,583 | 0,391 | 0,183 |
| B100 | 0,643 | 0,632 | 0,614 | 0,597 | 0,572 | 0,357 | 0,171 |
| Turația arborelui cotit, [min⁻¹] | | | | | | | |
| | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2100 | 2160 | 2220 |

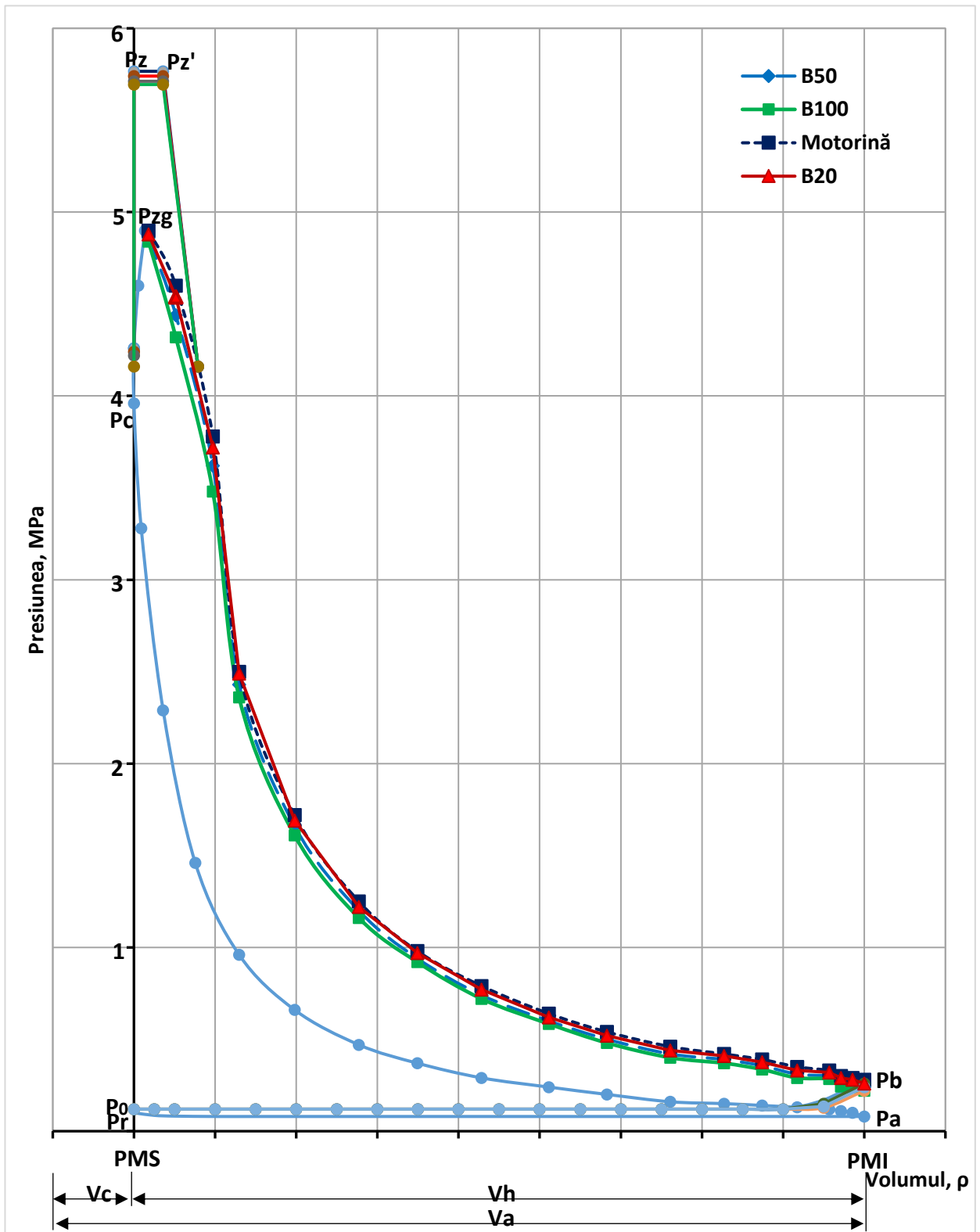


Fig. A5.1. Diagrama indicată a motorului DC4 11,0/12,5 alimentat cu biodiesel și amestec de biodiesel-motorină

**Anexa A6. Concentrația emisiilor poluante
în gazele de eșapament**

Tabelul A6.1 Valorile concentrației emisiilor poluante în gazele de eșapament

| Combustibil | Sarcina, [%N_c] | Turația, [min⁻¹] | CO, [% vol.] | CO₂, [% vol.] | C_nH_m, [ppm] | O₂, [% vol.] | λ |
|---|--------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|----------|
| Motorină | - | 1000 | 0,16 | 1,6 | 23 | 18,84 | 8,366 |
| | - | 1800 | 0,06 | 1,88 | 19 | 18,22 | 7,42 |
| | 0 | 2100 | 0,05 | 2,06 | 19 | 17,94 | 6,846 |
| | 25 | 2100 | 0,03 | 3,2 | 18 | 16,82 | 4,584 |
| | 50 | 2100 | 0,02 | 5,43 | 23 | 12,99 | 2,639 |
| | 75 | 2100 | 0,02 | 6,89 | 24 | 11,41 | 2,133 |
| B20 (motorină 80% + biodiesel 20%) | - | 1000 | 0,09 | 1,52 | 24 | 18,82 | 8,957 |
| | - | 1800 | 0,05 | 1,73 | 20 | 18,12 | 7,955 |
| | 0 | 2100 | 0,04 | 2,01 | 19 | 17,42 | 6,814 |
| | 25 | 2100 | 0,02 | 3,69 | 21 | 15,61 | 3,886 |
| | 50 | 2100 | 0,01 | 5,28 | 23 | 13,64 | 2,77 |
| | 75 | 2100 | 0,01 | 7,31 | 23 | 10,38 | 1,972 |
| B50 (motorină 50% + biodiesel 50%) | - | 1000 | 0,07 | 1,56 | 22 | 18 | 8,528 |
| | - | 1800 | 0,04 | 1,7 | 19 | 18,64 | 8,323 |
| | 0 | 2100 | 0,04 | 1,93 | 18 | 17,88 | 7,211 |
| | 25 | 2100 | 0,02 | 3,34 | 19 | 15,86 | 4,238 |
| | 50 | 2100 | 0,01 | 5,41 | 23 | 13,28 | 2,682 |
| | 75 | 2100 | 0,01 | 7,83 | 22 | 10,22 | 1,892 |
| B100 (biodiesel 100%) | - | 1000 | 0,09 | 1,6 | 20 | 18,44 | 8,442 |
| | - | 1800 | 0,04 | 1,72 | 16 | 18,85 | 8,331 |
| | 0 | 2100 | 0,04 | 1,94 | 15 | 18,17 | 7,287 |
| | 25 | 2100 | 0,03 | 3,49 | 15 | 15,96 | 4,123 |
| | 50 | 2100 | 0,02 | 5,6 | 14 | 12,78 | 2,566 |
| | 75 | 2100 | 0,015 | 7,81 | 15 | 10,57 | 1,926 |

Tabelul A6.2 Valorile concentrației emisiilor de fum în gazelor de evacuare, [%]

| Tipul combustibilului | Turația arborelui cotit, [min⁻¹] | |
|------------------------------------|--|-------------|
| | 1000 | 2100 |
| Motorină | 64 | 63 |
| B20 (motorină 80% + biodiesel 20%) | 62 | 61 |
| B50 (motorină 50% + biodiesel 50%) | 62 | 62 |
| B100 (biodiesel 100%) | 59 | 61 |

Аттестат
 Аккредитация № 00005 С ИД
 Киев № 2002 Нумантское шоссе 271а
 тел/факс 55 84 42 с8:00 до 17:00
 Пост 1 Экологический контроль,
 Контролёр Дмитрий Олег
 Дубликат не выдётся (с/б/з повтор контр)

Дата: 07.10.09
 Время: 10:02

Измеренные знач.:

Число обор.: 1000 Обор./мин
 Темп. масла: 0 Град.С.

Газ.знач.при хол.ходе:

| | | |
|---------|-------|-----------|
| CO = | 0.14 | % Объем |
| CO2 = | 1.60 | % Объем |
| HC = | 23.00 | ppm Объем |
| O2 = | 18.94 | % Объем |
| Длина = | 8.366 | |

Официал. измер.
 Серий. номер: КАРТЕК SET 2000
 Научный центр безопасности движения
 Фискальный код
 Аккредитация № 00005 С ИД
 Киев № 2002 Нумантское шоссе 271а
 тел/факс 55 84 42 с8:00 до 17:00
 Пост 1 Экологический контроль,
 Контролёр Дмитрий Олег
 Дубликат не выдётся (с/б/з повтор контр)

Дата: 07.10.09
 Время: 10:05

Измеренные знач.:

Число обор.: 1900 Обор./мин
 Темп. масла: 0 Град.С.

Газ.знач.при хол.ходе:

| | | |
|---------|-------|-----------|
| CO = | 0.06 | % Объем |
| CO2 = | 1.88 | % Объем |
| HC = | 19.00 | ppm Объем |
| O2 = | 18.22 | % Объем |
| Длина = | 7.420 | |

Официал. измер.
 Серий. номер: КАРТЕК SET 2000
 Научный центр безопасности движения
 Фискальный код
 Аккредитация № 00005 С ИД
 Киев № 2002 Нумантское шоссе 271а
 тел/факс 55 84 42 с8:00 до 17:00
 Пост 1 Экологический контроль,
 Контролёр Дмитрий Олег
 Дубликат не выдётся (с/б/з повтор контр)

Дата: 07.10.09
 Время: 10:08

Измеренные знач.:

Число обор.: 2100 Обор./мин
 Темп. масла: 0 Град.С.

Газ.знач.при хол.ходе:

| | | |
|---------|-------|-----------|
| CO = | 0.04 | % Объем |
| CO2 = | 2.06 | % Объем |
| HC = | 19.00 | ppm Объем |
| O2 = | 17.94 | % Объем |
| Длина = | 6.846 | |

Anexa 7. Rezultatele cercetărilor experimentale

Tabelul A7.1. Influența compoziției biocombustibilului și a parametrilor de funcționare MAC asupra emisiilor de substanțe nocive în gaze de eșapament

| Nr crt. | Factorii de influență | | | Valorile funcțiilor de replică | | |
|---------|--|--|--|---|-------------------------------|-----------------------|
| | Frația biodieselului în amestec C_B , [%vol.] (x_1) | Turațiile arborelui cotit n , [min^{-1}] (x_2) | Sarcina motorului N_i/N_e , [%] (x_3) | Compoziția gazelor de eșapament la motorul D-241L | | |
| | | | | CO, [%vol.] (y_1) | C_nH_m , [ppm] (y_2) | Fum, [%] (y_3) |
| 1 | 0 (-1) | 1500 (-1) | 75 (0) | 0,08 | 27 | 68 |
| 2 | 40 (1) | 1500 (-1) | 75 (0) | 0,05 | 24 | 63 |
| 3 | 0 (-1) | 2100 (1) | 75 (0) | 0,02 | 24 | 64 |
| 4 | 40 (1) | 2100 (1) | 75 (0) | 0,03 | 22 | 63 |
| 5 | 0 (-1) | 1800 (0) | 50 (-1) | 0,04 | 25 | 63 |
| 6 | 40 (1) | 1800 (0) | 50 (-1) | 0,02 | 25 | 61 |
| 7 | 0 (-1) | 1800 (0) | 100 (1) | 0,03 | 28 | 69 |
| 8 | 40 (1) | 1800 (0) | 100 (1) | 0,01 | 23 | 63 |
| 9 | 20 (0) | 1500 (-1) | 50 (-1) | 0,03 | 26 | 60 |
| 10 | 20 (0) | 2100 (1) | 50 (-1) | 0,01 | 23 | 60 |
| 11 | 20 (0) | 1500 (-1) | 100 (1) | 0,02 | 27 | 63 |
| 12 | 20 (0) | 2100 (1) | 100 (1) | 0,01 | 25 | 64 |
| 13 | 20 (0) | 1800 (0) | 75 (0) | 0,03 | 25 | 61 |
| 14 | 20 (0) | 1800 (0) | 75 (0) | 0,03 | 25 | 61 |
| 15 | 20 (0) | 1800 (0) | 75 (0) | 0,03 | 25 | 61 |

Tabelul A7.2. Valorile optime ale rezultatelor experimentelor pentru fracția CO, [%vol.]

Scop: minimizarea CO, [%vol.]
Valoarea optimă = 0,0024 %vol.

| Factorii | Inferior | Superior | Optimal |
|--------------------------------|----------|----------|-----------|
| Biodiesel, [%vol.] | -1,0 | 1,0 | -0,111276 |
| Turații, [min^{-1}] | -1,0 | 1,0 | 0,999998 |
| Sarcina motorului Ni/Ne, [%] | -1,0 | 1,0 | 1,0 |

Tabelul A7.3. Valorile optime ale rezultatelor experimentelor pentru fracția C_nH_m , [ppm]

Scop: minimizarea C_nH_m , [ppm]
Valoarea optimă = 21,9 ppm

| Factorii | Inferior | Superior | Optimal |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Biodiesel, [%vol.] | -1,0 | 1,0 | 0,999998 |
| Turații, [min^{-1}] | -1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Sarcina motorului Ni/Ne, [%] | -1,0 | 1,0 | 0,399125 |

Tabelul A7.4. Valorile optime ale rezultatelor experimentelor pentru fracția fum, [%]

Scop: minimizarea Fum, [%]

Valoarea optimă = 59,08 %

| Factorii | Inferior | Superior | Optimal |
|-------------------------------|----------|----------|-----------|
| Biodiesel, [%vol.] | -1,0 | 1,0 | 0,049915 |
| Turații, [min ⁻¹] | -1,0 | 1,0 | 0,45998 |
| Sarcina motorului Ni/Ne, [%] | -1,0 | 1,0 | -0,999999 |

Tabelul A7.5. Analiza variației pentru CO

| Sursă | Suma pătratelor | Df | Pătrat mediu | Raportul-F | Valoarea-P |
|----------------------------------|-----------------|----|--------------|------------|------------|
| A: Biodiesel, [%vol.] | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 6,00 | 0,0580 |
| B: Turații, [min ⁻¹] | 0,0015125 | 1 | 0,0015125 | 20,17 | 0,0065 |
| C: Sarcina motorului Ni/Ne, [%] | 0,0001125 | 1 | 0,0001125 | 1,50 | 0,2752 |
| AA | 0,000467308 | 1 | 0,000467308 | 6,23 | 0,0547 |
| AB | 0,0004 | 1 | 0,0004 | 5,33 | 0,0690 |
| AC | 0,0 | 1 | 0,0 | 0,00 | 1,0000 |
| BB | 0,0000519231 | 1 | 0,0000519231 | 0,69 | 0,4433 |
| BC | 0,000025 | 1 | 0,000025 | 0,33 | 0,5887 |
| CC | 0,000975 | 1 | 0,000975 | 13,00 | 0,0155 |
| Total error | 0,000375 | 5 | 0,000075 | | |
| Total (corr.) | 0,00449333 | 14 | | | |

 $R^2 = 91,6543 \%$

Eroare standard = 0,00866025

Eroare medie absolută = 0,004

Statistica Durbin-Watson = 1,6 (P=0,1885)

Autocorelația reziduală Lag 1 = 0,179167

Tabelul A7.6. Analiza variației pentru C_nH_m

| Sursă | Suma pătratelor | Df | Pătrat mediu | Raportul-F | Valoarea-P |
|----------------------------------|-----------------|----|--------------|------------|------------|
| A: Biodiesel, [%vol.] | 12,5 | 1 | 12,5 | 125,00 | 0,0001 |
| B: Turații, [min ⁻¹] | 12,5 | 1 | 12,5 | 125,00 | 0,0001 |
| C: Sarcina motorului Ni/Ne, [%] | 2,0 | 1 | 2,0 | 20,00 | 0,0066 |
| AA | 0,519231 | 1 | 0,519231 | 5,19 | 0,0717 |
| AB | 0,25 | 1 | 0,25 | 2,50 | 0,1747 |
| AC | 6,25 | 1 | 6,25 | 62,50 | 0,0005 |
| BB | 0,519231 | 1 | 0,519231 | 5,19 | 0,0717 |
| BC | 0,25 | 1 | 0,25 | 2,50 | 0,1747 |
| CC | 1,44231 | 1 | 1,44231 | 14,42 | 0,0127 |
| Total error | 0,5 | 5 | 0,1 | | |
| Total (corr.) | 36,9333 | 14 | | | |

$$R^2 = 98,6462 \%$$

$$\text{Eroare standard} = 0,316228$$

$$\text{Eroare medie absolută} = 0,133333$$

$$\text{Statistica Durbin-Watson} = 1,875 \text{ (P=0,4027)}$$

$$\text{Autocorelația reziduală Lag 1} = -1,06581\text{E-14}$$

Tabelul A7.7. Analiza variației pentru Fum

| Sursă | Suma pătratelor | Df | Pătrat mediu | Raportul-F | Valoarea-P |
|----------------------------------|-----------------|----|--------------|------------|------------|
| A: Biodiesel, [%vol.] | 24,5 | 1 | 24,5 | 32,67 | 0,0023 |
| B: Turații, [min ⁻¹] | 1,125 | 1 | 1,125 | 1,50 | 0,2752 |
| C: Sarcina motorului Ni/Ne, [%] | 28,125 | 1 | 28,125 | 37,50 | 0,0017 |
| AA | 30,5192 | 1 | 30,5192 | 40,69 | 0,0014 |
| AB | 4,0 | 1 | 4,0 | 5,33 | 0,0690 |
| AC | 4,0 | 1 | 4,0 | 5,33 | 0,0690 |
| BB | 1,44231 | 1 | 1,44231 | 1,92 | 0,2242 |
| BC | 0,25 | 1 | 0,25 | 0,33 | 0,5887 |
| CC | 0,0576923 | 1 | 0,0576923 | 0,08 | 0,7926 |
| Total error | 3,75 | 5 | 0,75 | | |
| Total (corr.) | 96,9333 | 14 | | | |

$$R^2 = 96,1314 \%$$

$$\text{Eroare standard} = 0,866025$$

$$\text{Eroare medie absolută} = 0,4$$

$$\text{Statistica Durbin-Watson} = 1,35 \text{ (P=0,0686)}$$

$$\text{Autocorelația reziduală Lag 1} = 0,2875$$

**Anexa 8. Proprietățile fizico-chimice și de exploatare
ale uleiului de motor în acțiune a încercărilor de stand**

Tabelul A8.1 Valorile viscozității cinematice a uleiului de motor la 100 °C μ , [mm²/s]

| Tipul combustibilului | Durata de funcționare a motorului DC4 11,0/12,5 pe stand, [moto-ore] | | | | |
|-----------------------|--|------------|------------|------------|------------|
| | 0 | 30 | 50 | 70 | 100 |
| Motorină | 10,88±0,05 | 11,12±0,04 | 11,29±0,03 | 11,41±0,03 | 11,5±0,02 |
| B 20 | 10,92±0,04 | 11,23±0,05 | 11,32±0,05 | 11,42±0,04 | 11,55±0,05 |
| B50 | 10,91±0,02 | 11,28±0,03 | 11,37±0,04 | 11,48±0,05 | 11,6±0,03 |
| B 100 | 10,92±0,04 | 11,32±0,05 | 11,46±0,02 | 11,59±0,05 | 11,74±0,06 |

Tabelul A8.2 Valorile alcalinității uleiului de motor în acțiune, [mg KOH/1g ulei]

| Tipul combustibilului | Durata de funcționare a motorului DC4 11,0/12,5 pe stand, [moto-ore] | | | | |
|-----------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 30 | 50 | 70 | 100 |
| Motorină | 6,38±0,04 | 6,11±0,02 | 6,01±0,04 | 5,94±0,05 | 5,86±0,02 |
| B 20 | 6,38±0,03 | 6,22±0,05 | 6,16±0,03 | 6,13±0,04 | 6,09±0,04 |
| B50 | 6,38±0,03 | 6,24±0,03 | 6,19±0,03 | 6,17±0,05 | 6,13±0,04 |
| B 100 | 6,38±0,02 | 6,27±0,04 | 6,23±0,02 | 6,2±0,03 | 6,16±0,03 |

Tabelul A8.3 Valorile conținutului de cenușă a uleiului de motor, [%mas.]

| Tipul combustibilului | Durata de funcționare a motorului DC4 11,0/12,5 pe stand, [moto-ore] | | | | |
|-----------------------|--|------------|------------|------------|-----------|
| | 0 | 30 | 50 | 70 | 100 |
| Motorină | 1,13±0,04 | 1,14±0,02 | 1,15±0,04 | 1,18±0,03 | 1,19±0,02 |
| B 20 | 1,13±0,02 | 1,138±0,01 | 1,146±0,03 | 1,17±0,02 | 1,18±0,05 |
| B50 | 1,13±0,02 | 1,136±0,03 | 1,138±0,04 | 1,165±0,04 | 1,14±0,04 |
| B 100 | 1,13±0,03 | 1,13±0,02 | 1,14±0,02 | 1,16±0,03 | 1,16±0,03 |

**Anexa 9. Proprietățile fizico-chimice și de exploatare
ale uleiului de motor în acțiune a încercărilor de exploatare**

Tabelul A9.1 Valorile viscozității cinematice a uleiului de motor la 100 °C μ , [mm²/s]

| Grupa de tractoare | Perioada de funcționare a tractoarelor în condiții de exploatare, [moto-ore] | | | | | |
|---|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| | 0 | 125 | 250 | 375 | 500 | 625 |
| Alimentate cu motorină | 11,37±0,05 | 11,74±0,04 | 12±0,06 | 12,25±0,03 | 12,85±0,04 | 13,47±0,05 |
| Alimentate cu amestec de biodiesel-motorină (B20) | 11,37±0,03 | 12,6±0,05 | 13,3±0,04 | 13,95±0,05 | 14,8±0,02 | 14,36±0,03 |

Tabelul A9.2 Valorile alcalinității uleiului de motor în acțiune, [mg KOH/1g ulei]

| Grupa de tractoare | Perioada de funcționare a tractoarelor în condiții de exploatare, [moto-ore] | | | | | |
|---|---|-----------|----------|-----------|----------|----------|
| | 0 | 125 | 250 | 375 | 500 | 625 |
| Alimentate cu motorină | 6,38±0,03 | 6,07±0,05 | 5,1±0,04 | 4,05±0,02 | 2,5±0,06 | 2,2±0,04 |
| Alimentate cu amestec de biodiesel-motorină (B20) | 6,38±0,06 | 6,1±0,04 | 5,8±0,06 | 5,4±0,05 | 4,9±0,05 | 4,5±0,04 |

Tabelul A9.3 Valorile conținutului de cenușă sulfată a uleiului de motor, [%mas.]

| Grupa de tractoare | Perioada de funcționare a tractoarelor în condiții de exploatare, [moto-ore] | | | | | |
|---|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 125 | 250 | 375 | 500 | 625 |
| Alimentate cu motorină | 1,4±0,05 | 1,48±0,04 | 1,58±0,03 | 1,63±0,05 | 1,65±0,04 | 1,67±0,04 |
| Alimentate cu amestec de biodiesel-motorină (B20) | 1,4±0,04 | 1,42±0,03 | 1,45±0,05 | 1,51±0,06 | 1,55±0,07 | 1,6±0,05 |

Anexa 10. Veridicitatea datelor experimentale

Tabelul A10.1 Veridicitatea datelor a cercetărilor de stand ale performanțelor MAC (Fig. 3.16)

| Denumirea parametrilor | Tipul combustibilului | | | |
|---|---|--|---|---|
| | Motorină | B20 | B50 | B100 |
| Consumul specific de combustibil g_c , [g/kW·h] | $y = 0,0001x^2 - 0,4347x + 564,7$ $R^2 = 0,8751$ | $y = 0,0002x^2 - 0,5195x + 650,73$ $R^2 = 0,8639$ | $y = 0,0002x^2 - 0,5919x + 725,7$ $R^2 = 0,8569$ | $y = 0,0001x^2 - 0,4467x + 602,9$ $R^2 = 0,8591$ |

Tabelul A10.2 Veridicitatea datelor a cercetărilor monofactoriale ale substanțelor emise în gaze de eșapament (Fig. 4.1-4.4)

| Denumirea parametrilor | Tipul combustibilului | | | |
|--|--|--|---|--|
| | Motorină | B20 | B50 | B100 |
| Oxidul de carbon (CO), [%vol.] | $y = 0,005x^2 - 0,035x + 0,08$ $R^2 = 1$ | $y = 0,0013x^2 - 0,0148x + 0,0538$ $R^2 = 0,9966$ | $y = 0,005x^2 - 0,035x + 0,07$ $R^2 = 1$ | $y = 0,005x^2 - 0,035x + 0,07$ $R^2 = 1$ |
| Bioxidul de carbon (CO ₂), [%vol.] | $y = 1,672x + 0,215$ $R^2 = 0,986$ | $y = 1,749x + 0,2$ $R^2 = 0,9971$ | $y = 1,977x - 0,315$ $R^2 = 0,9869$ | $y = 1,972x - 0,22$ $R^2 = 0,9939$ |
| Hidrocarburi (C _n H _m), [ppm] | $y = 0,5x^2 - 0,5x + 18,5$ $R^2 = 0,8077$ | $y = -0,5x^2 + 3,9x + 15,5$ $R^2 = 0,9818$ | $y = -0,5x^2 + 4,1x + 14$ $R^2 = 0,8118$ | $y = 0,5x^3 - 3,5x^2 + 7x + 11$ $R^2 = 1$ |
| Oxygen (O ₂), [%vol.] | $y = -0,115x^2 - 1,767x + 20,07$ $R^2 = 0,9572$ | $y = -2,309x + 20,035$ $R^2 = 0,9784$ | $y = -2,556x + 20,7$ $R^2 = 0,9918$ | $y = -2,598x + 20,865$ $R^2 = 0,9945$ |

Tabelul A10.3 Veridicitatea datelor a cercetărilor pe stand a proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale uleiului de motor în acțiune (Fig. 4.18-4.20)

| Denumirea parametrilor | Tipul combustibilului | | | |
|--|--|---|--|--|
| | Motorină | B20 | B50 | B100 |
| Viscozitatea cinematică la 100 °C μ , [mm ² /s] | $y = -4E-05x^2 + 0,0101x + 10,872$ $R^2 = 0,9966$ | $y = -4E-05x^2 + 0,01x + 10,932$ $R^2 = 0,9914$ | $y = -5E-05x^2 + 0,0119x + 10,925$ $R^2 = 0,9886$ | $y = -6E-05x^2 + 0,0136x + 10,931$ $R^2 = 0,9958$ |
| Alcalinitatea, [mg KOH/1g ulei] | $y = 4E-05x^2 - 0,0095x + 6,3733$ $R^2 = 0,9961$ | $y = 3E-05x^2 - 0,0057x + 6,3757$ $R^2 = 0,9942$ | $y = 2E-05x^2 - 0,0049x + 6,3751$ $R^2 = 0,9892$ | $y = 2E-05x^2 - 0,0038x + 6,3768$ $R^2 = 0,995$ |
| Conținutul de cenușă, [%mas.] | $y = 2E-06x^2 + 0,0005x + 1,1278$ $R^2 = 0,9372$ | $y = 1E-06x^2 + 0,0004x + 1,1281$ $R^2 = 0,9604$ | $y = 1E-06x^2 + 0,0003x + 1,1282$ $R^2 = 0,9159$ | $y = 1E-06x^2 + 0,0003x + 1,1272$ $R^2 = 0,8325$ |

Tabelul A10.4 Veridicitatea datelor a încercărilor de exploatare ale motoarelor alimentate cu biocombustibil (Fig. 4.22-4.24)

| Denumirea parametrilor | Tipul combustibilului | |
|--|--|--|
| | Motorină | B20 |
| Viscozitatea cinematică la 100 °C μ , [mm ² /s] | $y = 3E-06x^2 + 0,0014x + 11,43$ $R^2 = 0,9909$ | $y = -9E-06x^2 + 0,0106x + 11,35$ $R^2 = 0,9749$ |
| Alcalinitatea, [mg KOH/1g ulei] | $y = -3E-06x^2 - 0,0058x + 6,5811$ $R^2 = 0,9702$ | $y = -2E-06x^2 - 0,0021x + 6,3871$ $R^2 = 0,9981$ |
| Conținutul de cenușă, [%mas.] | $y = -8E-07x^2 + 0,0009x + 1,3939$ $R^2 = 0,9934$ | $y = 2E-07x^2 + 0,0002x + 1,3961$ $R^2 = 0,9929$ |

Aprob
Prorector SDE UASM,
conf. univ. Efin Renița



ACT



de testare în exploatare și implementarea combustibilului B 20

la alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare ale tractoarelor agricole

Comisia în componența: Inginerul șef al Stațiunii Didactice Experimentale "Chetrosu" r - nul

Arteni Noi d-nul Streghe Mihail, președintele comisiei; membrii comisiei: maistrul (brigadierul) brigăzii de tractoare d-nul Cerenciuc Grigore, tractoriștii d-nii Catan Nicolae și Nagarciuc Vladimir, colaboratorii catedrei „Ingineria Transportului Auto și Tractoare” a Universității Agrare de Stat din Moldova: profesor universitar, d-nul Ion Lăcustă, lectorii superiori universitari, d-nii Igor Beșleagă și Eduard Banari au întocmit prezentul act de testare în producție și implementarea a combustibilului B20 pentru alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare (MAC) ale tractoarelor agricole MTZ – 80/82.

Pentru încercările în exploatare au fost acceptate tractoarele agricole MTZ – 80/82 utilizate cu motoare diesel alimentate cu motorină și amestec motorină – biocombustibil.

Tractoarele au fost grupate în 2 grupe:

1 grupă de tractoare cu nr. de înmatriculare AN-A 406; AN-A 409, alimentate cu motorină marca L – 0,2 – 60 FOCT 305 – 82;

2 grupă de tractoare cu nr. de înmatriculare AN-A 931; AN-A 932, alimentate cu amestec de combustibili: 80% motorină marca L – 0,2 – 60 FOCT 305 – 82 și 20% biocombustibil produs prin transesterificarea uleiului de rapiță cu metanol și catalizatorul KOH. În calitate de ulei de motor s-a folosit uleiul M10 Γ₂ (SAE -30; API CC) după FOCT 10541-86 recomandat de producător pentru acestea motoare.

Etapa pregătitoare a tractoarelor a inclus; operațiile de întreținere tehnică nr. 2, verificarea funcționării impecabile a aparatelor de control a tractorului;

Rezultatele testărilor sau înregistrat în “Registrul încercărilor în exploatare ale tractoarelor agricole”. Încercările în exploatare ale tractoarelor agricole s-au petrecut într-un singur schimb, durata zilei de lucru 8-10 motoare. Perioada de funcționare a tractoarelor în sarcină a constituit 70 - 80% din timpul schimbului. Consumul mediu de combustibil a variat între 9,4 - 10,8 kg / h, consumul mediu la arderea uleiului de motor alcătuia 112-137g/h sau 1,09-1,43% din volumul de combustibil consumat. În timpul încercărilor experimentale tractoare au fost folosite la diferite

lucrări agricole: cultivarea totală, semănatul culturilor agricole, aratul, cultivarea între rânduri, stropitul livezilor și a culturilor cerealiere, lucrări de transport. Volumul lucrărilor au constituit 615-710 motoore, sarcina motorului constituia 55-75% de la capacitatea nominală de funcționare a MAC.

În timpul încercărilor în exploatare ale tractoarelor agricole alimentate cu combustibil B20 defecțiuni tehnice și abateri de la funcționarea normală nu s-au observat. Parametrii funcționali care caracterizează starea tehnică a grupului piston – cilindru - segment a motorului: consumul de ulei la ardere, debitul de gaze scăpate în carter, presiunea de compresie în timpul încercărilor experimentale sau schimbat ne esențial, ce confirmă faptul despre o stare tehnică stabilă a motorului.

Calculule prezentate confirmă eficacitatea economică de la producerea și utilizarea combustibilului B20 pentru alimentarea motoarelor diesel ale tractoarelor agricole. Economia anuală cu costul producției suplimentare în gospodărie va constitui 159,02 mii lei, investiții capitale în instalația de producere a biocombustibilului se vor răscumpăra în timp de 1,88 ani.

Concluzii:

- încercările experimentale au demonstrat buna funcționare fără defecțiuni tehnice a MAC ale tractoarelor agricole alimentate cu combustibil B20 și se recomandă pentru implementarea în practică a acestui combustibil.
- folosirea combustibilului B20 reprezintă o nouă cale de economie a combustibilului de origine petrolieră și de acoperire a necesarului de motorină.
- pe plan aplicativ este necesar de-a realiza unele încercări experimentale de-o lungă durată, care să fie obiectul unor studii mai complexe în condiții de exploatare.

Președintele comisiei:

Inginerul șef SDE „Chetrosu”:

Streghe Mihail

Membrii comisiei:

Reprezentanții SDE „Chetrosu”:

Maistrul (brigadierul)
brigăzii de tractoare:

Cerenciuc Grigore

Tractoriștii:

Catan Nicolae
Nagarcuic Vladimir

Reprezentanții UASM:

profesor universitar
lectorii superiori
universitari

Lacustă Ion
Beșleagă Igor
Banari Eduard



ACT
de implementare noilor teme ale activităților didactice

Comisia în următoarea componență:

Președintele comisiei – **Victor CEBAN**, conf. univ., doctor în științe tehnice, șef Departament Transporturi; membrii comisiei, colaboratorii Departamentului Transporturi: **Dumitru NOVOROJDIN**, conf. univ., doctor în științe tehnice; **Igor BEȘLEAGĂ**, conf. univ., doctor în științe tehnice, a întocmit prezentul act privind faptul, că în cadrul Departamentului Transporturi în procesul activităților de cercetare-inovare au fost elaborate și implementate de către asistentul univ. **Eduard BANARI** noi teme ale activităților didactice pentru instituțiile de învățământ superior în conformitate cu curriculumul disciplinelor: „*Motoare cu ardere internă*”, „*Materiale de exploatare*” și „*Materiale de exploatare pentru autovehicule*” la specialitățile *0716.1 Ingineria Transportului Auto* și *0716.4 Ingineria Agrară*.

Temele noi sunt direcționate pentru eficientizarea activităților didactice:

1. În procesul de realizare a seminarelor s-au inclus următoarele teme:
 - 1.1. Argumentarea teoretică a compoziției biocombustibilului pentru MAC;
 - 1.2. Elaborarea diagramei indicate de funcționare MAC alimentat cu motorină, biodiesel și amestec biodiesel-motorină;
2. Pentru efectuarea lucrărilor de laborator s-au introdus următoarele lucrări:
 - 2.1. Evaluarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare ale combustibililor alternativi;
 - 2.2. Evaluarea performanțelor ecologice MAC alimentat cu amestec biodiesel- motorină;
 - 2.3. Evaluarea performanțelor MAC alimentat cu motorină, amestec biodiesel- motorină și biodiesel.

Temele implementate în procesul didactic sunt destinate studenților care își fac studiile în domeniul „Autovehicule, nave și aeronave”. Scopul activităților didactice elaborate și implementate de către d-l BANARI constă în valorificarea potențialului de producție și utilizare a combustibililor alternativi pentru alimentarea MAC, obținerea unor deprinderi teoretice și practice în domeniul de perspectivă care se referă la implementarea biodieselului transesterificat din uleiurile vegetale pentru alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare, precum și, importanța ameliorării situației ecologice și dezvoltării surselor regenerabile de energie în corespundere cu prevederile documentelor de politici de nivel internațional și cel național din Republica Moldova: *Strategia de dezvoltare cu emisiile reduse a Republicii Moldova până în anul 2030, Anexa nr.1 la Hotărârea Guvernului nr. 1470 din 30 decembrie 2016; Strategia de mediu pentru anii 2014-2023 aprobată prin Hotărârea Guvernului Nr. 301 din 24 aprilie 2014.*

Președintele comisiei:
Șef Departament Transporturi,
dr., conf. univ.

Membrii comisiei:
dr., conf. univ.
dr., conf. univ.
Autor: asis. univ.

Victor CEBAN

Dumitru NOVOROJDIN
Igor BEȘLEAGĂ
Eduard BANARI

Anexa 13. Contract de colaborare

mun. Chișinău
25 decembrie 2008

Contract de colaborare

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, catedra „Ingineria Transportului Auto și Tractoare” cu sediul în mun. Chișinău str. Mircești, 44.

SA „ Alimentarmaș”, cu sediul în mun. Chișinău, str. Meșterul Manole, 12, au încheiat prezentul contract privind următoarele:

1. Scopul contractului

Perfecționarea procesului de cercetări științifice în baza cooperării și sprijinului reciproc.

2. Obiectivele contractului

2.1. Efectuarea cercetărilor pe teme de interes reciproc:

- Studiul performanțelor energetice și ecologice ale motorului diesel (pe stand) alimentat cu biocombustibil;
- Încercările la stand a motorului diesel se va efectua în laboratorul catedrei „Ingineria Transportului Auto și Tractoare” a UASM. Responsabili : Beșleaga Igori, lect.univ., și Banari Eduard, lect.univ.;
- Studiul parametrilor de calitate ale biocombustibilului și ale uleiului de motor în acțiune. Responsabili : Lacusta Ion, prof.univ., și Todosoi Olga, inginer;
- Biocombustibilul pentru cercetări la stand a motorului diesel va fi căpătat după tehnologia și utilajul elaborat de SA „ Alimentarmaș” și transmis pentru încercări Universității Agrare. Responsabil : Slusarenco Valentin, inginer șef;
- Consultația științifică a cercetărilor se va realiza de către Lăcusta Ion, prof.univ. și Novorojdin Dumitru, conf.univ.

2.2. Asigurarea pe baza de reciprocitate a stagiunilor de reciclare, perfecționare metodico – didactică și cercetare științifică.

2.3. Rezultatele argumentate vor fi folosite în comun la prezentarea dărilor de seamă respective și la publicarea lucrărilor științifice.

3. Condiții speciale

3.1 Contractul este valabil pe un termen de 5 ani și intră în vigoare din ziua semnării lui de către ambele părți.

3.2. Condițiile acestui contract pot fi modificate doar cu acordul ambelor părți.

3.3. După expirarea termenului contractului el poate fi prelungit cu acordul ambelor părți.

3.4. Contractul este întocmit în două exemplare.

Prorectorul Universității Agrare
de Stat din Moldova, conf.univ.

V. Starodub



Directorul General
SA „ Alimentarmaș”
Iu. Contievschii

CTSIC

"CENTRUL TEHNIC PENTRU SECURITATE INDUSTRIALĂ ȘI CERTIFICARE" SRL
 "ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И СЕРТИФИКАЦИИ" ООО
 MD 2001, mun. Chișinău, str. Melestiu, nr. 22A,
 tel. (022) 208151, fax (022) 208166,
 www.ctsic.md, e-mail: agentia@mdl.net, office@ctsic.md



RAPORT DE INSPECȚIE

Nr. **OI IPP-1012-2022** din **19 ianuarie 2022**

ORGANISMUL DE INSPECȚIE din cadrul SRL "CTSIC", certificat de acreditare OI-009

PRODUSUL:

Motorină, SUPER DIESEL EURO 5

PRODUCĂTORUL:

"ROMPETROL RAFINARE" S.A., Năvodari, Constanța, România

CLIENTUL:

ÎM "ROMPETROL MOLDOVA" SA, RM, mun. Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 73/1, tel. 022 95-55-59

DATELE PRIVIND INSPECȚIA:

Inspecția a fost efectuată la punctul de trecere a frontierei vamale: Leușeni.

Data inspecției: 05.01.2022, condițiile de mediu: +6 °C.

Echipamente utilizate: tijă metrică MȘI-3,5; areometru ANT-1; dispozitiv pentru prelevarea probelor PV-1,0.

Documente de referință utilizate în cadrul inspecției:

- Hotărârea Guvernului RM nr. 476 din 17.04.2002 pentru aprobarea Regulamentului privind modul de transportare a produselor petroliere importate;
- Hotărârea Guvernului RM nr. 1116 din 22.08.2002 despre aprobarea Regulamentului cu privire la depozitarea și comercializarea cu ridicata, prin sistem automatizat, a produselor petroliere identificate;
- SM EN 590+A1:2017 "Carburanți pentru automobile. Motorină. Cerințe și metode de încercare";
- SM SR EN ISO 3170:2012 "Produse petroliere lichide. Eșantionare manuală";
- Standarde pentru metode de încercări, indicate în tabel pe verso;
- Procedura "Inspecția produselor petroliere" PL-47.

Lotul inspectat - 156,804 tone (cantitatea declarată - 5000 tone, cantitatea rămasă de inspectat - 4843,196 tone)

Data fabricației produsului - nu este indicată, termen de valabilitate/garanție - 3 luni / 1 lună de la data livrării, conform documentelor de însoțire.

Produsul este ambalat în autocisterne și livrat conform contractului RR nr. 2 din 03.01.2022.

Raportul de inspecție este eliberat în baza:

Raportului de identificare a produsului și prelevare a probei nr. 0021 din 05.01.2022;

Raportului de încercări nr. 0039 din 18.01.2022, eliberat de către LI "CTSIC", certificat de acreditare nr. LI-096 (rezultatele încercărilor sunt indicate în tabel pe verso);

Raportului sumar de evaluare nr. OI IPP-1012 din 19.01.2022.

REZULTATELE INSPECȚIEI:

Produsul inspectat **CORESPUNDE** cerințelor obligatorii stabilite în:

HG RM nr. 1116 din 22.08.2002, p.22;

SM EN 590+A1:2017, p.5.5.1, tab.1, ind. 2-3, 5, 7-12, 14-17; p.5.6.1, tab.2, ind.1 (gradul F)

INFORMAȚII SUPPLEMENTARĂ:

Schema de inspecție: inspecția calitativă a produsului livrat în baza contractului de lungă durată.

Tipul inspecției: inspecția inițială. Categoria (faza) inspecției: furnizare (import).

Sunt stabilite 21 inspecții periodice.



Inspeția inspecția
 produselor petroliere

Inspector

Valentina JURAVLIOVA
Olga GODOROJA

Valentina JURAVLIOVA

Olga GODOROJA



Tabel: Rezultatele încercărilor de laborator conform Rapoartelor de încercări nr.0039 din 18.01.2022

Condiții de mediu în laboratorul de încercări : temperatura: (22±3) °C , presiunea: (100±2) kPa

| Nr. | Descrierea caracteristicii | Indicele DN al metodei de încercare | Limite | | Valori efective | Echipamente | | | | |
|-----|--|-------------------------------------|-----------------|---------|-----------------|--|--------|--------|-----|---|
| | | | Minimum | Maximum | | | | | | |
| 1 | Indice cetanic | EM EN ISO 4264:2019 | 46,0 | - | 51,3 | Calcul | | | | |
| 2 | Densitate la 15°C, kg/m ³ | SM SR EN ISO 12185:2011 | 820,0 | 845,0 | 837,8 | Anton PAAR DMA 4102 M, N 8200421 | | | | |
| 3 | Sulf, mg/kg | SM EN ISO 20846:2002 | - | 10,0 | 6,4 | Termo Electro 75 1020 N 2126 1120 | | | | |
| 4 | Punct de inflamabilitate în vas închis, °C | SM EN ISO 2719:2017(A1:2021) | 55,0 | - | 59,0 | Scanape SETA PM-93 N 1040241 | | | | |
| 5 | Reziduu de carbon, % (m/m) | SM EN ISO 10370:2016 | - | 0,20 | 0,01 | Scanape SETA 31450-J N 1040041 | | | | |
| 6 | Cenușă, % (m/m) | SM SR EN ISO 6243:2011 | - | 0,010 | 0,001 | Cuptor de calcinare Nabertherm model LT W1/B410 N 317612 | | | | |
| 7 | Apă, % (m/m) | SM SR EN ISO 12937:2011 | - | 0,020 | 0,004 | GB Scientific Karl Fisher Aquasave KF Plus N 311823 | | | | |
| 8 | Contaminare totală, mg/kg | SM EN 12562:2016 | - | 24 | 8,5 | Kiit de Sarsco N 1041551 | | | | |
| 9 | Coroziune pe lamă de cupru (3 ore la 50°C) | SM SR EN ISO 2160:2012 | clasa I | | 1a | STANHOPE SETA N 1036031 | | | | |
| 10 | Stabilitate la oxidare, g/m ³ | SM SR EN ISO 12291:2011 | - | 25 | 10 | Scanape SETA 1650-17 N 1041624 | | | | |
| 11 | Puterea de lubrifiere, diametrul urmei de azură (wad) la 60°C, μm | SM EN ISO 12154-1:2019 | - | 450 | 383 | PCS Instrumente Sp 19BK N D 1524 | | | | |
| 12 | Viscozitate cinematică la 40°C, mm ² /s | SM EN ISO 3124:2021 | 2,000 | 4,500 | 2,553 | Subinger Viscometer™ SVM™ 1001 | | | | |
| 13 | Distilare: % (V/V) evaporat la 150°C % (V/V) % (V/V) evaporat la 150°C % (V/V) 95% (V/V) evaporat la °C | SM EN ISO 3405:2019 | - | 65 | 33,0 | Aparat APJIC-13 nr. 3125 | | | | |
| | | | 85 | - | >95,0 | | | | | |
| | | | - | 360 | 336,0 | | | | | |
| 14 | Temperatura limită de filtrabilitate, °C, max | SM EN 116:2017 | climă temperată | | | | | | -29 | Cameră frigorifică tip „L7RBG-54002-M” LINEARONIC TECCINOL OIL S N 11041579 |
| | | | grad A | grad B | grad C | grad D | grad E | grad F | | |
| | | | +5 | 0 | -3 | -10 | -15 | -20 | | |

Șef secția inspecția produse petroliere

Valentina JURAVLIOVA

Inspector

Olga GODOROJA

TOI CTSIC DUCE RESPONSABILITATEA PENTRU REZULTATELE INSPECȚIEI DOAR LA DATA EFECTUĂRII INSPECȚIEI.
PREZENTUL RAPORT DE INSPECȚIE NU POATE FI REPRODUS ȘI MULTIPLICAT FĂRĂ PERMISIUNEA OI CTSIC.

Anexa 15. Facturi de expediție

2 ex. – la destinatar
экз. – получателю

Formular tipizat
Титуляр форма
Aprobat prin ordinul comun al Departamentului Statistic al Republicii Moldova și Ministerului Finanțelor al Republicii Moldova nr. 24/36 din 25 martie 1998
Утвержден совместным приказом Департамента статистики и Министерства финансов Республики Молдова № 24/36 от 25 марта 1998 г.

FACTURĂ DE EXPEDIȚIE
ТОВАРОТРАНСПОРТНАЯ НАКЛАДНАЯ Seria **DT** Nr. **166966**

| | | | |
|--|---------------------------|-------------|---------------|
| 27 Ianuarie 2009 | LA FOAIA DE PARCURS SERIA | Nr. | data |
| TRANSPORTATOR Alimentarmas SA | К ПУТЕВОМУ ЛИСТУ | Nr. | |
| PEREHOACIILE | SOFER | | |
| AUTOVEHICUL remorca(semiremorca) | ВОДИТЕЛЬ | | |
| АВТОСРЕДСТВО марка | | | |
| 1 EXPEDITOR: SA "Alimentarmas", Chisinau, str. M. Manole 12, 47-41-32, c/d 2224314132, cod VICBMD2X446 | | Cod fiscal: | 1002600049280 |
| 2 DESTINATAR: Universitatea Agrara de Stat, . . . c/d . . . | | Cod fiscal: | 1007600001710 |
| 3 LOC INCARCARE: | 4 LOC DESCARCARE: | | |
| 5 DOCUMENTE ANEXATE: | 6 REDIRIJARI: | | |

INFORMATII PRIVIND INCARCATURA
СВЕДЕНИЯ О ГРУЗЕ

| Cod clasificator Номенклатурный код | Descrierea incarcaturii Наименование груза | Un. de masura Ед. изм. | Cantitatea incarcaturii Количество груза | Pret unitar, lei Цена единицы, лева | Valoarea incarcaturii, lei Стоимость груза, лева | TVA, lei НДС, лева | Acord, lei Акорд, лева | Suma, lei Сумма, лева | Numar loturi, mase лоты, массы | Masa bruta, mase brute брутто |
|--|--|------------------------------|--|--|---|-----------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | populaie birocraie для проведения испытаний | | 300 | 0.00 | 0.00 | | | 0.00 | | |

Total valoarea in valoare de: **Zero lei 00 bani** 300 0.00
Всего отпущено на сумму

Primitii si-bucatarea Director Konteviski Nat Comitate-se-Primitii incarcaturii, expeditor: Primitii incarcaturii, sofer: *[Signature]*
Отпущено разрешен Фирма, должность Груз в перевозке сдан, отправителем Груз сдан водителем *[Signature]*

Sentiaza-act Primitii incarcaturii, sofer: Primitii incarcaturii, destinatar: *[Signature]*
Главный бухгалтер Груз в перевозке принят, водителем Груз принят, получателем *[Signature]*

2 ex. – la destinatar
ЭКЗ. – получателю

Formular tipizat
Tencues Forum
Aprobati prin ordinul consilierii Departamentului Statistica al Republicii Moldova
si Ministerului Transportelor al Republicii Moldova nr 24/36 din 25 martie 1998
Утверждено совместным приказом Департамента статистики и
Министерства транспорта Республики Молдова № 24-36 от 25 марта 1998 г

FACTURĂ DE EXPEDIȚIE
ТОВАРОТРАНСПОРТНАЯ НАКЛАДНАЯ Seria DT Nr. 166944

| | | | | |
|--|--|---|--------------------------------------|---------------|
| Un de | 26 Noiembrie 2008 | LA FOAIA DE PARCURS SERIA «ПУТЕВОМУ ЛИСТУ» | Nr. № | data |
| TRANSPORTATOR ПЕРЕВОЗЧИК | Алиментармаш АО | SOFER ВОДИТЕЛЬ | | |
| AUTOVEHICUL АВТОМОБИЛЬ марка | remorca(semiremorca) прицеп (полуприцеп) | | | |
| 1 EXPEDITOR: ОТПРАВИТЕЛЬ | SA "Alimentarmas", Chisinau, str. M.Manoie 12, 47-41-32, u/d 2224314132, cod VICBMD2X446 | | Cod fiscal: Идентификационный код | 1002600049280 |
| 2 DESTINATAR: ПОЛУЧАТЕЛЬ | Universitatea Agrara RM | | Cod fiscal: Идентификационный код | |
| 3 LOC INCARCARE: ПУНКТ ПОЗРУЗИ | Кишинев | 4 LOC DESCARCARE: ПУНКТ РАЗГРУЗИ | | Кишинев |
| 5 DOCUMENTE ANEXATE: ПРИЛОЖИМЫЕ ДОКУМЕНТЫ | | 6 REDIRIJARI ПЕРЕАДРЕСОВАНО | | |

DELEGATIE: № от.ч/з Кротевица Валерия Ф

INFORMATII PRIVIND INCARCATURA
СВЕДЕНИЯ О ГРУЗЕ

| Cod nominator Номинальный код | Descrierea incarcaturii Наименование груза | Un. de masura Ед. изм. | Cantitatea incarcaturii Кол-во груза | Prez unitar, lei Цена единицы, лева | Valoarea incarcaturii, lei Стоимость груза, лева | TVA, lei НДС, лева | Accize, lei Акциз, лева | Suma, lei Сумма, лева | Numar locuri, metri | Masa bruta, masa bruta | |
|----------------------------------|--|------------------------------|--|--|---|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|----|
| 7 | Опшная партия биодизеля проведение стендовых испытаний | лмтр | 300 | 11 | 0.00 | 0.00 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |

Total eliberat in valoare de
Освобождено на сумму

Zero lei 00 bani 300 0.00

Permis eliberarea
Отпуск разрешения

Director Contabil
Генеральный бухгалтер

Contabil-se
Главный бухгалтер

Prezinta incarcatura, expeditor
Груз в перевозке صادر, отправитель

Prezinta incarcatura, sofer
Груз в перевозке принят водителем

Prezinta incarcatura, destinatar
Груз принят, получен получателем, ватмана, ватмана

Stampa
Подпись

Stampa
Подпись

Stampa
Подпись

2 ex. – la destinatar
экз. – получателю

Formular tipizat
Типовая форма
Agrobiznășul este înalt al Departamentului Statistică al Republicii Moldova
și Ministerului Finanțelor al Republicii Moldova nr 20/96 din 25 martie 1998
Утверждена совместным приказом Департамента статистики и
Министерства финансов Республики Молдова № 24/96 от 25 марта 1998 г.

FACTURĂ DE EXPEDIȚIE
ТОВАРОТРАНСПОРТНАЯ НАКЛАДНАЯ

Seria DT Nr. 166984

| | | | | |
|--|--|--|--|-------------------------------|
| Dn dt 10 Martie 2009 | | LA FOAIA DE PARCURS SERIA К ПУТЕВОМУ ЛИСТУ | | Nr. № BP 723184 data . . . |
| TRANSPORTATOR ПЕРЕВОЗЧИК Alimentarmas SA | | SOFER ВОДИТЕЛЬ Gutu N.V. | | |
| AUTOVEHICUL АВТОСРЕДСТВО marca модель (наименование) rotorca(semiretorca) Gaz 51 CBM 724 | | | | |
| 1 EXPEDITOR: ОТПРАВИТЕЛЬ | SA "Alimentarmas", Chisinau, str. M.Mandru 12, 47-41-32, old 2224314132, cod VICBM02X448 | Cod fiscal: Идентификационный код 1002600049280 | | |
| 2 DESTINATAR: ПОЛУЧАТЕЛЬ | Universitatea Agrara de Stat, | Cod fiscal: Идентификационный код 1007600001710 | | |
| 3 LOC INCARCARE: пункт загрузки Chisinau | | 4 LOC DESCARCARE: пункт разгрузки | | |
| 5 DOCUMENTE ANEXATE: ПРИЛОЖАЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ | | 6 REDIRIJARI ПЕРЕАДРЕСОВАНО | | |
| DELEGATIE: Nr DT . . . | | | | |

INFORMAȚII PRIVIND INCARCATURA
СВЕДЕНИЯ О ГРУЗЕ

| Cod comercial Номенклатурный код | Descrierea incarcaturii Наименование груза | Un. de măsură Ед. изм. | Cantitatea Incercaturii Количество груза | Pret unitar, lei Цена единицы лева | Valoarea incarcaturii, lei Стоимость груза, лева | TVA, lei НДС, лева | Accize, lei Акцизы, лева | Suma, lei Сумма, лева | Numar locuri, meste Количество мест | Masa bruta, mese Брутто |
|-------------------------------------|---|------------------------------|--|---|---|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|---|-------------------------------|
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | polizna bioactiva | L | 300 | 0.00 | 0.00 | | | 0.00 | | |



Zero lei 00 bani

300

0.00

Comptabil
Главный бухгалтер

Contabil
Кассир

Produs incarcatura, sofer:
Груз и перевозчик/водитель

Produs incarcatura, sofer:
Груз и перевозчик/водитель

Produs incarcatura, destinatar:
Груз и получатель/получатель

2 ex. – la destinatar
ЭКЗ. – получателю

Formular tipizat
Товарная форма
Aprobata prin ordinul comun al Departamentului Statistic al Republicii Moldova si Ministerului Finanelor al Republicii Moldova nr 24/06 din 25 martie 1998
Утверждена совместным приказом Департамента статистики и Министерства финансов Республики Молдова № 24/06 от 25 марта 1998 г.

FACTURĂ DE EXPEDIȚIE
ТОВАРОТРАНСПОРТНАЯ НАКЛАДНАЯ Seria **EH** Nr. **587517**

| | | | | |
|---|--|---|----------|----------------------|
| On от | 16 Aprilie 2009 | LA FOAIA DE PARCURS SERIA к ПУТЕВОМУ ЛИСТУ | Nr. № | BP 723184 data . . . |
| TRANSPORTATOR ПЕРЕВОЗЧИК | SA "Alimentamas" | SOFER ВОДИТЕЛЬ | | |
| AUTOVEHICUL АВТОМОБИЛЬ/машина | remorca(semiremorca) прицеп (полуприцеп) | Gaz 51 CBM 724 | | |
| 1 EXPEDITOR: ОТПРАВИТЕЛЬ | SA "Alimentamas", Chisinau, str. M.Mancoie 12, 47-41-32, cld 2224314132, cod VICBMD2X448 | Cod fiscal: Фискальный код | | 1002600049280 |
| 2 DESTINATAR: ПОЛУЧАТЕЛЬ | Universitatea Agrara de Stat. . . c/d , cod | Cod fiscal: Фискальный код | | 1007600001710 |
| 3 LOC INCARCARE: ПУНКТ ПОГРУЗКИ | | 4 LOC DESCARCARE: ПУНКТ РАЗГРУЗКИ | | |
| 5 DOCUMENTE ANEXATE: ПРИЛОЖАЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ | | 6 REDIRIJARI: ПЕРЕАДРЕСОВАНО | | |
| DELEGATIE: Nr OT . . . | | | | |

INFORMATII PRIVIND INCARCATURA
СВЕДЕНИЯ О ГРУЗЕ

| Cod nomenclator Номенклатурный код | Denumirea incarcaturii Наименование груза | Un. de мăsură Ед. изм. | Cantitatea incarcaturii Кол-во груза | Preț unitar, lei Цена единицы, лери | Valoarea incarcaturii, lei Стоимость груза, лери | TVA, lei НДС, лери | Accize, lei Акциз, лери | Suma, lei Сумма, лери | Numar locuri, met Количество мест | Masa brută, masă brută брутто |
|---------------------------------------|--|------------------------------|--|--|---|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|---|-------------------------------------|
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | tipulino Biodizela | L | 150 | 0.00 | 0.00 | | | 0.00 | | |

150

0.00

Total liberat in valoare de: **Zero lei 00 bani**

Всего освобождено в сумме: **Zero lei 00 bani**

Peștea de la incarcatura: Director Kontevski Iury
Отпускная печать: *[Signature]*
Stampa: *[Stamp]*

Primi incarcatura, expeditor: *[Signature]*
Груз к перевозке отдан отправителем: *[Stamp]*

Primi incarcatura, sofer: *[Signature]*
Груз к перевозке принят водителем: *[Stamp]*

Primi incarcatura, destinatar: *[Signature]*
Груз принят получателем: *[Stamp]*

Stampa: *[Stamp]*

2 ex. – la destinatar
экз. – получателю

Formular tipizat
Таблица форма
Aprobat prin ordinul-cadru al Departamentului Statisticii al Republicii Moldova
și Ministerului Finanțelor al Republicii Moldova nr.24/26 din 25 martie 1998
Утверждена совместным приказом Департамента статистики и
Министерства финансов Республики Молдова № 24/26 от 25 марта 1998 г.

FACTURĂ DE EXPEDIȚIE
ТОВАРОТРАНСПОРТНАЯ НАКЛАДНАЯ Seria **EH** Nr. **587541**

| | | | | | |
|--|---|---|---|------------------------------|---------------|
| Din от 27 Mai 2009 | | LA FOAIA DE PARCURS SERIA К ПУТЕВОМУ ЛИСТУ | | Nr. № | data дата |
| TRANSPORTATOR ПЕРЕВОЗЧИК SA "Alimentarmas" | | SOFER ВОДИТЕЛЬ E Banari | | | |
| AUTOVEHICUL Автомобиль-модель: camionca(semiremorca) прицеп (полуприцеп) | | Gaz 51 CBM 724 | | | |
| 1 | EXPEDITOR: СТРАХИТЕЛЬ SA "Alimentarmas", Chisinau, str. M.Mandru 12, 47-41-32, c/ă 2224314132, cod VICBMD2X446 | | | Cod fiscal: налоговый код | 1002600049280 |
| 2 | DESTINATAR: ПОЛУЧАТЕЛЬ Universitatea Agrara de Stat, , c/d , cod | | | Cod fiscal: налоговый код | 1007600001710 |
| 3 | LOC INCARCARE: ПУНКТ ПОГРУЗКИ CHISINAU | 4 | LOC DESCARCARE: ПУНКТ РАЗГРУЗКИ CHISINAU | | |
| 5 | DOCUMENTE ANEXATE: ПРИЛОГАЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ | 6 | REDIRIJARI: ПЕРЕАДРЕСОВАНО | | |
| DELEGATIE: Nr. OT. . . . | | | | | |

INFORMAȚII PRIVIND INCARCATURA
СВЕДЕНИЯ О ГРУЗЕ

| Cod nomenclator Номенклатурный код | Denumirea incarcaturii Наименование груза | Un. de маса Ед. изм. | Capacitatea incarcaturii Вол-но груза | Pret unitar, lei Цена единицы, лева | Valoarea incarcaturii, lei Стоимость груза, лева | TVA, lei НДС, лева | Accize, lei Акцизы, лева | Suma, lei Сумма, лева | Numar колич. шт. | Masa bruta, masa брутто |
|---------------------------------------|--|----------------------------|---|--|---|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | potonci bisericiosti | L | 350 | 0.00 | 0.00 | | | 0.00 | | |

Total lei/bani in valoare de: **Zero lei 00 bani** 350 0.00
Всего отпущено на сумму:

Permis elaborarea
Отпуск разрешен

Comptabil-ii
Главный бухгалтер

Printul incarcaturii, expeditor:
Груз к перевозке отдан, отправителем.

Printul incarcaturii, sofer:
Груз к перевозке принят, водителем.

Printul incarcaturii, sofer:
Груз принят, водителем.

Printul incarcaturii, destinatar:
Груз принят, получателем.

Printul incarcaturii, sofer:
Груз отпущен водителем.

Printul incarcaturii, destinatar:
Груз принят, получателем.



2 cx. – la destinatar
экз. – получателю

Formular tipizat
Товарная форма
Aprobat prin ordinul comun al Departamentului Statistici al Republicii Moldova
și Ministerului Transporturilor al Republicii Moldova nr.24/06 din 23 martie 1998
Утверждена совместным приказом Департамента статистики и
Министерства финансов Республики Молдова № 24/06 от 23 марта 1998 г.

FACTURĂ DE EXPEDIȚIE
ТОВАРОТРАНСПОРТНАЯ НАКЛАДНАЯ

Seria **EH** Nr. **587605**

| | | | |
|--|----------------------------|-------------|-------------------------|
| 13 August 2009 | LA FOAIA DE PARCURS SERIA | Nr. | BP 723448 data 13.08.09 |
| TRANSPORTATOR Университатея Аграра де Стат | SOFER Panaguta | | |
| AUTOVEHICUL remarca(semimarca) GAZ - 53 CEV 832 | | | |
| 1 EXPEDITOR SA "Alimentfarmas", Chisinau, str. M.Manole 12, 47-41-32, c/d 2224314132, cod VICBMD2X446 | | Cod fiscal: | 1002600049280 |
| 2 DESTINATAR: Universitatea Agrara de Stat, Mircesti 56 , c/d . cod | | Cod fiscal: | 1007600001710 |
| 3 LOC INCARCARE: CHISINAU | 4 LOC DESCARCARE: CHISINAU | | |
| 5 DOCUMENTE ANEXATE: - | 6 REDIRIJARI | | |

INFORMAȚII PRIVIND INCARCATURA
СРЕДСТВА О ГРУЗЕ

| Cod nomenclator Номенклатурный код | Denumirea incarcaturii Наименование груза | Un. de masura Ед. изм. | Cantitatea incarcaturii Кол-во груза | Unitatea de masura единица, мез | Valoarea incarcaturii Стоимость груза, леев | TVA, lei НДС, леев | Acizii, lei АКЦИЗ, леев | Suma lei Сумма, леев | Numar осад. мест | Masa bruta масса брутто |
|---------------------------------------|--|---------------------------|---|------------------------------------|--|-----------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| - | Итого всего: 100 | 1 | 170 | - | - | - | - | - | - | - |

170

Total elborat in valoare de: **Zero lei 00 bani**

Всего отгружено на сумму:

Permisia elboratorului
Отпуск разрешения



Permisia incarcaturii, expeditor
Груз в перевозке отпущен, отправитель

Permisia incarcaturii, sofer
Груз в перевозке отпущен, водитель

Contabilul cel
Главный бухгалтер

Permisia incarcaturii, destinatar
Груз в перевозке отпущен, получатель

Permisia incarcaturii, destinatar
Груз в перевозке отпущен, получатель



The National Conference with international participation

**„LIFE SCIENCES IN THE DIALOGUE OF GENERATIONS:
CONNECTIONS BETWEEN UNIVERSITIES, ACADEMIA AND
BUSINESS COMMUNITY“**

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

presented to

Banari Eduard

for participated during this conference.

Academician Maria DUCA

Chair of the Organizing Committee

September 29-30, 2022, Chisinau, Republic of Moldova

активация Windows
Щоб активувати Windows

SCIENTIFIC ASSOCIATION OF
GENETICISTS AND BREEDERS
OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

MOLDOVA
STATE UNIVERSITY





DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul, Banari Eduard, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Banari Eduard

Semnătura

Data

CURRICULUM VITAE



Curriculum vitae Europass



Informații personale

Nume / Prenume **BANARI, Eduard, Pavel**
Adresă str. Mircești nr. 22/2, bl. B, ap. 246, Chișinău, cod poștal 2049 R. Moldova
Telefon(Fix (37322) 432903 Mobil: +373 78781968
E-mail(uri) eduard.banari@tran.utm.md, edu.banari@gmail.com
Naționalitate moldovean
Data nașterii 12.06.1978
Sex Masculin

Locul de muncă vizat / **Asistent universitar**
Domeniul ocupațional **Educațional**

Experiența profesională

| | |
|--|--|
| Perioada | 2022 - prezent |
| Funcția sau postul ocupat | Asistent universitar la Departamentul Transporturi |
| Activități și responsabilități principale | Profesor disciplini tehnice speciale |
| Numele și adresa angajatorului | Universitatea Tehnică a Moldovei, bd. Ștefan cel Mare, 168, Chișinău, Moldova, MD-2004 |
| Tipul activității sau sectorul de activitate | Pedagogia disciplinelor tehnice |
| Perioada | 2020 - 2022 |
| Funcția sau postul ocupat | Asistent universitar la Departamentul Inginerie în Agricultură și Transport Auto |
| Activități și responsabilități principale | Profesor disciplini tehnice speciale |
| Numele și adresa angajatorului | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |
| Tipul activității sau sectorul de activitate | Pedagogia disciplinelor tehnice |

| | |
|---|--|
| <i>Perioada</i> | 2009 - 2019 |
| <i>Funcția sau postul ocupat</i> | Lector superior universitar la catedra Ingineria Transportului Auto și Tractoare |
| <i>Activități și responsabilități principale</i> | Profesor disciplini tehnice speciale |
| <i>Numele și adresa angajatorului</i> | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |
| <i>Tipul activității sau sectorul de activitate</i> | Pedagogia disciplinelor tehnice |
| <i>Perioada</i> | 2005 – 2009 |
| <i>Funcția sau postul ocupat</i> | Lector universitar la catedra Ingineria Transportului Auto și Tractoare |
| <i>Activități și responsabilități principale</i> | Profesor disciplini tehnice speciale |
| <i>Numele și adresa angajatorului</i> | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |
| <i>Tipul activității sau sectorul de activitate</i> | Pedagogia disciplinelor tehnice |
| <i>Perioada</i> | 2003 – 2005 |
| <i>Funcția sau postul ocupat</i> | Asistent la catedra Tractoare și Automobile |
| <i>Activități și responsabilități principale</i> | Profesor disciplini tehnice speciale |
| <i>Numele și adresa angajatorului</i> | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |
| <i>Tipul activității sau sectorul de activitate</i> | Pedagogia disciplinelor tehnice |

Educație și formare

| | |
|---|--|
| <i>Perioada</i> | Noiembrie-Decembrie 2021 |
| <i>Calificarea / diploma obținută</i> | Certificat de participare |
| <i>Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite</i> | Utilizarea platformei MOODLE ca instrument de predare, învățare și evaluare. |
| <i>Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare</i> | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |
| <i>Perioada</i> | 2007 - 2010 |
| <i>Calificarea / diploma obținută</i> | Doctorand la specialitatea 05.20.03 - Exploatarea și mentenanța tehnicii agricole și celei din industria prelucrătoare |
| <i>Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite</i> | Studiul fiabilității utilajului agricol și celui similar din alte ramuri ale economiei naționale, realizat în scopul argumentării normativelor funcționării fără defecțiuni, durabilității, mentenabilității și disponibilității acestuia. |
| <i>Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare</i> | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |
| <i>Perioada</i> | 2007 |
| <i>Calificarea / diploma obținută</i> | Certificat de excelență în domeniul formării profesionale pedagogice |

| | |
|--|--|
| Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite | Psihopedagogia și perfecționarea pedagogică |
| Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |
| Perioada | 2002 - 2003 |
| Calificarea / diploma obținută | Magistru în Mecanică, Inginerie și management în agrotehservice / diploma de magistru seria AM nr. 0051 |
| Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite | Tehnici avansate în cercetări științifice; Tehnici avansate în exploatarea tehnicii agricole; Dirijarea calității în exploatare și mentenanța tehnicii din sectorul zootehnic; Tehnici avansate în mentenanța și fiabilitatea tehnicii agricole; metodologia instruirii și cercetări; Tehnici avansate în prelucrarea producției agricole. |
| Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |
| Perioada | 1997 - 2002 |
| Calificarea / diploma obținută | Inginer licențiat, profilul Mecanică, specialitatea Mecanizarea agriculturii./ diploma de licență seria AL nr. 0054889 |
| Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite | planificarea producției; mecanizarea și automatizarea proceselor de producție agricolă; transportarea și păstrarea producției; conceperea, elaborarea și proiectarea tehnologiilor și mijloacelor de exploatare și mentenanță; comercializarea mașinilor și echipamentelor utilizate; experimentarea și încercarea tehnicii agricole. |
| Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare | Universitatea Agrară de Stat din Moldova, str. Mircești nr. 42, mun. Chișinău, Republica Moldova |

Aptitudini și competențe personale

Limba maternă **Română**

Limbi străine cunoscute

Autoevaluare

Nivel european (*)

Rusă

| | Înțelegere | | | | Vorbire | | Scriere |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| | Ascultare | Citire | Participare la conversație | Discurs oral | Exprimare scrisă | | |
| Rusă | C1 Utilizator experimentat | C1 Utilizator experimentat | C1 Utilizator experimentat | C1 Utilizator experimentat | C1 Utilizator experimentat | C1 Utilizator experimentat | |
| Franceză | B2 Utilizator independent | B1 Utilizator independent | B1 Utilizator independent | A2 Utilizator elementar | B2 Utilizator independent | B2 Utilizator independent | |

(*) [Nivelul Cadrului European Comun de Referință Pentru Limbi Străine](#)

Competențe și abilități sociale

Abilități de lucru în echipă și spirit de echipă.

Competențe și aptitudini tehnice

Competente in domeniul transporturilor (inginer licențiat) dobândite prin absolvirea facultății de specialitate.

Competențe și aptitudini de utilizare a calculatorului

Utilizez calculatorul: MS Word, Excel, Power Point, Moodle, Microsoft Teams, Google Classroom, Cisco Webex, Kompas, Internet Explorer.

Alte competențe și aptitudini . *Responsabilitate, punctualitate, perseverență*

Permis de conducere . *Categoria A,B,C, H*

Publicații . *34 publicații, inclusiv 12 științifico-metodice și didactice*

MULȚUMIRI

Aduc sincere mulțumiri și profundă recunoștință conducătorului științific, doctor habilitat în științe tehnice Valerian CEREMPEI pentru tot sprijinul, îndrumarea și sfaturile oferite în activitatea mea științifică, precum și pentru aportul depus în realizarea acestei teze.

Mulțumesc colegilor din cadrul catedrei Ingineria Transportului Auto și Tractoare, facultatea Inginerie Agrară și Transport Auto, fosta UASM (actualmente UTM) și departamentului Transporturi, facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi, UTM, în special, șefului Departament, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar Victor CEBAN, șefului Catedră, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar Dumitru NOVOROJDIN, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar Igor BEȘLEAGĂ, asistentului universitar Alexandru DICHII – pentru ajutorul acordat la îndeplinirea cercetărilor experimentale de stand, laborantului superior Olga TODOSOI pentru asistență în măsurarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare a biocombustibililor și a uleiului de motor în acțiune.

Mulțumesc fostului inginer șef SA ALIMENTARMAȘ, or. Chișinău, doctor în științe tehnice Valentin SLIUSARENCO – pentru conlucrarea în elaborarea și exploatarea instalației pilot de producere a biodieselului.

Mulțumesc cercetătorului științific superior al Institutului de Fizică Aplicată, USM, doctor în științe tehnice Dumitru CROITORU – pentru îndrumare în realizarea cercetărilor tribologice.

Mulțumesc directorului general al Centrului Științific de Securitate a Circulației, mun. Chișinău, d-lui Andrei TOLSTENCO – pentru suportul acordat la măsurarea emisiilor poluante în gazele de eșapament MAC.

Mulțumesc colaboratorilor Stațiunii Didactice Experimentale „Chetrosu”, r-l Anenii Noi, fosta UASM, inginerului șef Mihail STREGHE, conducătorului brigăzii de tractoare Grigore CERENCIUC, tractoriștilor Nicolae CATAN și Vladimir NAGARCIUC – pentru ajutorul oferit în realizarea încercărilor de exploatare a tractoarelor alimentate cu biocombustibil.

În mod deosebit mulțumesc familiei mele pentru susținere, încurajare și răbdare.

Mulțumesc bunului **DUMNEZEU**.