



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
A MOLDOVEI

**ÎMBUNĂTĂȚIREA PARAMETRILOR
ECOLOGICI ȘI DE PERFORMANȚĂ A
MOTOARELOR ROTATIVE TIP. WANKEL
PRIN ADAOS DE HIDROGEN LA
COMBUSTIBILUL DE BAZĂ**

Masterand:

Coșleț Ion

Coordonator:

conf. univ., dr. Goian Vladimir

Chișinău, 2024

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Inginerie Mecanică Industrială și Transporturi
Departamentul Transporturi
Programul „Securitatea și Ecologizarea Transportului Rutier”

Admis la susținere

Șef departament „Transporturi“

conf., univ. Victor CEBAN

„_____” _____ 2024

ÎMBUNĂȚIREA PARAMETRILOR ECOLOGICI ȘI DE PERFORMANȚĂ A MOTOARELOR ROTATIVE TIP. WANKEL PRIN ADAOS DE HIDROGEN LA COMBUSTIBILUL DE BAZĂ

Teză de master

Masterand: _____ **Coșleț Ion, gr. SETR-221M**

Coordonator: _____ **conf. univ., dr. Goian Vladimir**

Chișinău, 2024

REZUMATUL

La lucrarea de master cu tema „*Îmbunătățirea parametrilor ecologici și de performanță a motoarelor rotative tip Wankel prin adaos de hidrogen la combustibilul de bază*”.

Obiectivul elaborării acestei lucrări este efectuarea studiului privind îmbunătățirea parametrilor ecologici și de performanță a motoarelor rotative tip Wankel prin adaos de hidrogen, sub formă de aditivi, cu concentrație diferită, la combustibilul de bază. Pentru a atinge acest obiectiv, a fost efectuată o analiză aprofundată a cauzelor arderii incomplete a combustibilului în camerele motoarelor rotative, caracteristicile funcționării motoarelor cu piston și cu piston rotativ pe hidrogen, efectul aditivilor liberi de hidrogen asupra arderii amestecurilor de hidrocarburi-aer în motoarele cu piston și camerele de ardere cu volum constant. Rezultatele cercetărilor privind îmbunătățirea organizării procesului de ardere în motorul rotativ (MR) tip. Wankel au fost revizuite critic. Metodele de luare în considerare a influenței aditivilor de hidrogen la amestecul principal combustibil-aer asupra procesului de propagare a flăcării, inclusiv în condițiile distribuției inegale a hidrogenului în amestecul combustibil-aer, au fost fundamentate și implementate în cadrul și baza standului elaborat în cadrul „VolgSTU”, Rusia. Cu ajutorul modelului matematic creat, a fost efectuat un studiu teoretic al efectului aditivilor liberi de hidrogen asupra completitudinii arderii combustibilului și s-au obținut estimări cantitative ale cantității de aditivi de hidrogen care asigură acoperirea completă a flăcării spațiului camerei de lucru a motorului. În acest caz, s-au utilizat valorile vitezelor normale de propagare a flăcării laminare în amestecurile combustibil-aer cu aditivi de hidrogen obținute în timpul experimentelor special efectuate pe o instalație cu o cameră de ardere cu volum constant. Oportunitatea distribuției inegale a aditivului de hidrogen pe volumul camerei de lucru a MR este justificată teoretic. Au fost efectuate experimente pe MR tip. Wankel VAZ-311, care au confirmat rezultatele studiilor teoretice și au făcut posibilă evaluarea gradului de influență a aditivilor liberi de hidrogen asupra consumului specific de combustibil și a conținutului de hidrocarburi nearse în gazele de eșapament la diferite moduri de funcționare ale acestui MR și cu diferite ajustări ale compoziției amestecului combustibil-aer.

Prin urmare, efectul aditivilor de hidrogen liber în amestecul principal combustibil-aer asupra indicatorilor MR tip. Wankel în timpul funcționării sale sub sarcină parțială și moduri de ralanti a fost studiat teoretic și experimental. A fost determinată cantitatea minimă necesară de aditiv de hidrogen pentru arderea completă a combustibilului în MR la diferite moduri de funcționare. Se propune și se implementează o metodă de stratificare a încărcăturii combustibil-aer de-a lungul camerei de ardere MR pentru a reduce cantitatea de adaos de hidrogen necesară pentru arderea completă a combustibilului principal. Se determină caracteristicile influenței aditivilor de hidrogen de diferite dimensiuni asupra conținutului produselor de ardere incomplete din gazele de eșapament ale MR în timpul sărăcirii amestecului combustibil-aer.

Prezenta lucrare conține 4 capitole; 103 pagini; 107 figuri; 4 tabele și 89 surse bibliografice.

SUMMARY

To the master's work on the topic "Improving the ecological and performance parameters of rotary engines type Wankel by adding hydrogen to the base fuel".

The objective of this paper is to carry out the study on improving the ecological and performance parameters of rotary engines type Wankel by adding hydrogen, in the form of additives, with different concentration, to the base fuel. To achieve this goal, a thorough analysis was carried out of the causes of incomplete combustion of fuel in the chambers of rotary engines, features of the operation of PISTON and rotary piston engines on hydrogen, the effect of free hydrogen additives on the combustion of hydrocarbon-air mixtures in piston engines and combustion chambers of constant volume. Research results on improving the organization of the combustion process in the rotary engine (MR) type. Wankel were critically reviewed. The methods for taking into account the influence of hydrogen additives to the main fuel-air mixture on the flame propagation process, including in the conditions of uneven distribution of hydrogen in the fuel-air mixture, were substantiated and implemented in the framework and basis of the stand developed in the framework of "VolgSTU", Russia. With the help of the created mathematical model, a theoretical study of the effect of free hydrogen additives on the completeness of fuel combustion was carried out, and quantitative estimates of the amount of hydrogen additives that ensure the full coverage of the flame of the space of the engine working chamber were obtained. The expediency of uneven distribution of the hydrogen additive on the volume of the working Chamber of the MR is theoretically justified. Experiments were conducted on Mr tip. Wankel VAZ-311, which confirmed the results of theoretical studies and made it possible to assess the degree of influence of free hydrogen additives on specific fuel consumption and the content of unburned hydrocarbons in exhaust gases at different operating modes of this MR and with various adjustments in the composition of the fuel-air mixture.

Hence the effect of free hydrogen additives in the main fuel-air mixture on Mr type indicators. Wankel during its operation under partial load and idle modes has been studied theoretically and experimentally. The minimum required amount of hydrogen additive for complete combustion of fuel in MR at various operating modes was determined. A method of layering the fuel-air charge along the Mr combustion chamber is proposed and implemented in order to reduce the amount of hydrogen addition required for the complete combustion of the main fuel. The features of the influence of hydrogen additives of various sizes on the content of incomplete combustion products in the exhaust gases of MR during the impoverishment of the fuel-air mixture are determined.

This work contains 4 chapters; 107 Figures; 4 tables; 98 pages and 89 bibliographic sources.

CUPRINS:

INTRODUCERE.....	4
1. CONSIDERAȚII ASUPRA CONCEPȚIEI UNUI MOTOR ROTATIV TIP WANKEL(MOTOR ÎN PATRU TIMPI CU MECANISM DE DISTRIBUȚIE FĂRĂ SUPAPE).PARTICULARITĂȚI CONSTRUCTIVE ȘI FUNCȚIONALE	5
<i>1.1. Aspecte generale privind funcționarea motorului cu piston rotativ tip Wankel.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.1. Conceptul de motor rotativ.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2. Comparații între motorul cu ardere internă cu piston rotative și motorul cu piston cu mișcare roto-translație.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2. Utilizarea practică a motoarelor cu piston rotativ tip Wankel.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.1. Aplicații generale.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.2. Aplicații în industria automobilelor.....</i>	<i>12</i>
<i>1.2.3. Modul de funcționare al MR. Timpii și fazele funcționării MR.....</i>	<i>29</i>
<i>1.2.4. Sincronizarea portului de admisie și evacuare.....</i>	<i>32</i>
<i>1.2.5. Prezentarea elementelor componente ale motorului rotativ. Structura de bază a unui motor rotativ planetar.....</i>	<i>ANEXĂ</i>
2. IMPACTUL NEGATIV AL MOTOARELOR ROTATIVE TIP.WANKEL ASUPRA MEDIULUI AMBIANT ȘI SĂNĂTĂȚII OMULUI.....	35
<i>2.1. Geneza noxelor produse de motoarele rotative tip.Wankel.....</i>	<i>35</i>
<i>2.2. Impactul motoarelor rotative asupra standardelor de emisii.....</i>	<i>36</i>
<i>2.3. Caracteristica componentelor gazelor de evacuare a motoarelor rotative tip. Wankel.....</i>	<i>39</i>
3. HIDROGENUL. PARTICULARITĂȚI ȘI CERINȚE DE EXPLOATARE DREPT COMBUSTIBIL PENTRU MOTOARELE CU ARDERE INTERNĂ CU MIȘCARE LINIARĂ ȘI ROTATIVE TIP. WANKEL.....	45
<i>3.1. Argumente și provocări în privința economiei bazate pe hidrogen și combaterea emisiilor....</i>	<i>45</i>
<i>3.2. Perspectivele tehnologice ale hidrogenului în transport. Analiza utilizării în motoarele cu ardere internă și pilele de combustie.....</i>	<i>47</i>
<i>3.3. Proprietăți relevante ale hidrogenului.....</i>	<i>48</i>
<i>3.4. Arderea anormală.....</i>	<i>49</i>
<i>3.5. Formarea amestecului.....</i>	<i>50</i>
<i>3.6. Strategii de control al sarcinii.....</i>	<i>51</i>
<i>3.7. Producția de hidrogen.....</i>	<i>51</i>
<i>3.7.1. Conversia cu abur a hidrocarburilor.....</i>	<i>52</i>
<i>3.7.2. Electroliza.....</i>	<i>53</i>

3.8.	<i>Caracteristici de utilizare ca combustibil pentru autovehicule.....</i>	54
3.9.	<i>Depozitarea hidrogenului la bordul vehiculului.....</i>	55
4.	PROBLEMA ORGANIZĂRII PROCESULUI DE LUCRU ALE MOTOARELOR CU PISTON ROTATIV TIP.WANKEL ȘI MODALITĂȚILE DE REZOLVARE ALE ACESTORA.....	59
4.1.	<i>Caracteristicile de propagare a flăcării în procesul de lucru al motoarelor cu piston rotativ tip Wankel.....</i>	59
4.2.	<i>Modalități de creștere a completitudinii arderii combustibilului în motoarele cu piston rotativ tip Wankel.....</i>	61
4.3.	<i>Experiența utilizării hidrogenului în motoarele cu ardere internă.....</i>	62
4.3.1.	<i>Proprietățile termofizice ale hidrogenului.....</i>	62
4.3.2.	<i>Funcționarea MAI cu piston rotativ și alternativ pe hidrogen.....</i>	63
4.4.	<i>Determinarea pe cale experimentală a influenței aditivilor de hidrogen liber asupra motoarelor cu ardere internă cu piston rotativ.....</i>	64
4.5.	<i>Cantitatea minimă necesară de hidrogen în diferite moduri de funcționare a motorului rotativ tip. Wankel.....</i>	69
4.6.	<i>Determinarea pe cale experimentală a influenței aditivilor de hidrogen liber asupra indicatorilor de economicitate a motorului rotativ tip. Wankel.....</i>	72
4.7.	<i>Influența aditivilor de hidrogen liber asupra indicatorilor ecologici a motorului rotativ tip Wankel.....</i>	74
4.7.1.	<i>Regimul mers în gol (ralanti) a motorului rotativ.....</i>	74
4.7.2.	<i>Regimul sarcină a motorului rotativ.....</i>	76
	CONCLUZIE	89
	BIBLIOGRAFIE	91

INTRODUCERE

Motoarele cu piston rotativ (MPR) tip Wankel au avantaje față de motoarele cu mișcare liniară a pistonului în ceea ce privește puterea specifică, echilibrul, complexitatea fabricației, cu toate acestea, pierd oarecum în ceea ce privește consumul de combustibil și conținutul de componente toxice din gazele de eșapament. Acesta din urmă, în special, explică faptul că MPR nu este practic utilizat pe mașini, deși o gamă largă de motoare de acest tip de putere diferită sunt produse pentru alte aplicații din lume.

Indicatorii MPR pot fi îmbunătățiți prin creșterea vitezei de propagare a flăcării în timpul arderii combustibilului. Din experiența acumulată în principal pentru motoarele cu piston, se cunoaște efectul pozitiv al aditivilor liberi de hidrogen asupra vitezei și completitudinii arderii combustibililor cu hidrocarburi. Din păcate, practic nu există date privind gradul de influență al aditivilor liberi de hidrogen asupra procesului de ardere a combustibililor hidrocarburi în raport cu MPR tip Wankel. În același timp, MPR-urile tip Wankel, datorită caracteristicilor lor, sunt mai adaptate pentru a lucra pe hidrogen decât MAI cu mișcarea liniară a pistonului. Absența unei supape de evacuare în constructivul MPR și amplasarea bujiei în pre-camere speciale reduce dramatic probabilitatea aprinderii premature și a exploziei amestecului hidrogen-aer. Posibilitatea funcționării eficiente a MPR tip Wankel pe hidrogen este confirmată de experiența concernului japonez Mazda, care a creat Renesis Hydrogen. Prin urmare, se poate presupune că aditivii de hidrogen pot fi chiar mai eficienți la MPR decât la MAI cu mișcarea rectilinie a pistonului și vor elimina în mod semnificativ unul dintre dezavantajele acestuia, și anume arderea incompletă amestecului combustibil-aer datorită particularităților procesului de propagare a flăcării în camerele de ardere ale motoarelor de acest tip. Dacă, în același timp, adăugarea de hidrogen este relativ mică, atunci puterea MPR aproape că nu se va schimba. Cantități mici de hidrogen pot fi generate direct pe motor folosind, în special, căldura produselor de ardere.

Îmbunătățirea eficienței consumului de combustibil și a performanței de mediu a MPR tip Wankel datorită adăugării de hidrogen la combustibilul principal poate face acest tip de motor mai competitiv nu numai ca unități de putere pentru nave mici și aeronave ușoare, ci și pentru vehicule terestre mobile. Aceste perspective de îmbunătățire a MPR tip Wankel determină relevanța cercetării prezentate în această lucrare.

BIBLIOGRAFIE

1. Abramchuk, F. I. *Influența aditivilor de hidrogen la gazele naturale asupra proprietăților combustibilului mixt* / F. I. Abramchuk, A. N. Kabanov, G. V. Maistrenko / Transportul Auto (Harkov, HNADU), 2009, №. 24;
2. https://www.der-wankelmotor.de/Motoren/Motoren_NSU/Motoren-NSU-2/motoren-nsu-2.html. Accesat: 01.12.2023;
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Mazda_Wankel_engine. Accesat: 01.12.2023;
4. <https://support.haltech.com/portal/en/kb/articles/tuning-rotary-engines>. Accesat: 01.12.2023;
5. BOBESCU, Gh., RADU, Gh.-A., CHIRU A., ș.a., *Motoare pentru automobile și tractoare, vol. III - Economie și ecologie. Surse energetice alternative*, Editura „Tehnică”, Chișinău, 2000;
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine. Accesat: 01.05.2023;
7. <https://takemebeyondthehorizon.wordpress.com/2009/03/28/mr-wankels-rotary-engine/>. Accesat: 01.12.2023;
8. *Internal Combustion Engine Handbook, Basics, Components, System, and Perspectives*, 2nd Edition, SAE International, 2016;
9. Husni Taher Izweik, *CFD investigations of mixture formation, flow and combustion for multi-fuel rotary engine*;
10. https://engineering.fandom.com/wiki/Wankel_engine. Accesat: 01.12.2023;
11. <https://www.aieuk.com/products/>. Accesat: 01.12.2023;
12. Yamamoto, K., *Rotary Engine*, Toyo Kogyo Co.LTD, 1971;
13. *ReGenesis rotary engine fundamentals*, Mazda Motor of America, Inc., 2003;
14. Yamamoto, K., *Rotary Engine*, Toyo Kogyo Co.LTD, 1981;
15. Munteanu, A., Buzbuchi, N., *Motoare rotative*, Buletinul AGIR nr. 4/2015, octombrie-decembrie;
16. M. V. Dulger, G. N. Zlotin, E. A. Fedyanov, V. A. Treplin, *Dinamica gazelor și unitățile de amplificare a motorului*, Manual, Volgograd: VolgPI, 1989, 330 pag;
17. Semenov, E. S. *Investigarea mișcării turbulente a gazului într-un cilindru a MAI* / E. S. Semenov // în culegerea *Combustie într-un flux turbulent* - Moscova: Editura Academiei de Științe a URSS, 1959, pag.141-167;
18. Hilliard, J.C. *Fuel Economy: In Road Vehicles Powered by Spark Ignition Engines*. Springer Science & Business Media, 2013, pag.454;
19. Andrews, G.E. *Turbulence and turbulent flame propagation—a critical appraisal* în culegerea *Combustion and Flame*, 1975. Vol.24., pag. 285-304;
20. Zinoviev, I. V. *Caracteristicile procesului de ardere într-un motor cu piston rotativ și modalități de îmbunătățire a acestuia*. Lucrare de disertație. Moscova, 1983;
21. Zinoviev, I. V. *Caracteristicile procesului de ardere și organizarea stratificării sarcinii în motoarele cu piston rotativ*. Industria Auto.1980.№ 12.Pag. 7-10;
22. Dulger, M. V. *Îmbunătățirea performanțelor economice și toxice ale motoarelor cu piston rotativ prin optimizarea parametrilor de proiectare*. Lucrare de disertație. Volgograd, 1984;
23. Zlotin, G. N. *Studiu analitic al fluxului de sarcină unidimensional în cavitatea de lucru a unui motor cu piston rotativ*; în cadrul "Motoare cu piston cu impuls ridicat și motoare cu piston rotativ".Tbilisi, 1981;
24. Zlotin, G. N. *Caracteristicile procesului de lucru și modalitățile de creștere a eficienței energetice a motoarelor cu piston rotativ tip Wankel*; monografie G. N. Zlotin, E. A. Fedyanov VolgSTU. Volgograd, 2010. 119 pag;

25. Morcikhin, E. B. *Metoda de oprire a ciclului ca modalitate de creștere a eficienței operaționale a combustibilului motoarelor cu piston rotativ ale vehiculelor*; Lucrare de disertație; Volgograd, 2007. 114 pag.
26. D. N. Vyubov, A. S. Orlina, M. G. Kruglova. *Motoare cu ardere internă. Teoria motoarelor cu piston și combinate*; Ediția. 4 retipărită și suplimentată. Editura Inginerie Mecanică, 1983;
27. Boretti, A. *Modelling unmanned aerial vehicle jet ignition Wankel engines with CAE /CFD*; Advances in Aircraft and Spacecraft Science. 2015. №. 4, Pag. 445 – 467;
28. Burley, H. A *Sources of hydrocarbon emissions in rotary engines*. SAE Technical Paper. 1978. №. 780419;
29. Danieli, G. A. *Predicting the emissions and performance characteristics of a Wankel engine*. SAE Technical Paper, 1974. №. 740186;
30. Kenichi, Y., M. Takumi. *Development on Exhaust Emissions and Fuel Economy of the Rotary Engine at Toyo Kogyo*. Congress and Exposition Cobo Hall. Detroit. 1978;
31. R. Shimizu *The Characteristics of Fuel Consumption and Exhaust Emissions of the Side Exhaust Port Rotary Engine*. SAE Technical Paper. 1995. №. 950454;
32. *Optimizarea locației camerei de ardere în rotor și bujii, lățimea statorului, caracteristicile sistemului de aprindere digitală și compoziția amestecului pentru a crește eficiența consumului de combustibil al familiei de motoare rotative VAZ atunci când rulează pe benzină AI-93 și AI-76. Investigarea caracteristicilor operațiunii motoarelor rotative în moduri instabile: raport de cercetare*. VolgPI. № 0286.0042336. Volgograd, 1985;
33. Chernyak, B. Ya. *Fluxul de lucru și ecologia unui motor cu carburator de mare viteză la sarcini parțiale cu reglare optimă*. Rezumat. MADI. 1963. 22 pag;
34. B. W. Fan et al. *Effects of pocket shape and ignition slot locations on the combustion processes of a rotary engine filled with natural gas*. Applied Thermal Engineering. 2015. Pag.11-27;
35. B. W. Fan et al. *Experimental and numerical investigation of the fluid flow in a side-ported rotary engine*. Energy Conversion and Management. 2015. Pag. 385-397;
36. B. W. Fan et al. *Influence of combustion chamber configuration on combustion process of natural gas-fueled rotary engines*. Journal of Mechanical Engineering. 2015. Pag. 141-151;
37. Stone, R., *Introduction to internal combustion engines*. 3-rd edition Department of Engineering Science, University of Oxford, 1998;
38. N. Kawahara et al. *Cycle-resolved measurements of the fuel concentration near a spark plug in a rotary engine using an in situ laser absorption method*. Proceedings of the Combustion Institute. 2007. №. 2. Pag. 3033-3040;
39. M. Ohkubo et al. *Developed technologies of the new rotary engine (RENESIS)*. SAE Technical Paper. 2004. №. 2004-01-1790;
40. Okimoto, H. *The Renesis rotary engine*. MTZ worldwide. 2002. №. 10. Pag. 7-9;
41. Heller, D. A. *International Strategic Alliances and Technology Strategy: The Case of Rotary-Engine Development at Mazda*. Lucrare de disertație. Shinshu University Library. 2005. Pag. 31-56;
42. R. Kagawa et al. *A study of a direct-injection stratified-charge rotary engine for motor vehicle application*. SAE Technical Paper. 1993. №. 930677;
43. Jones, C. A. *Survey of Curtiss-Wright's 1958-1971 Rotating Combustion Engine Technological Developments*. SAE Technical Paper. 1972. №. 720468;
44. Loyd, R. *Curtiss-Wright Stratified Charge Rotary Engine Development*. Combustion Science and Technology. 1976. vol. 12, No 1 – 3. Pag. 47 – 61;

45. Bortnikov, L. N. *Caracteristicile arderii unui amestec combustibil-hidrogen-aer în cilindrul unui motor cu ardere internă alternativă și determinarea raportului optim de benzină-hidrogen*. Fizica combustiei și Exploziei. 2007. №. 4. Pag. 8-14;
46. D. Yu. Hamburg, V. P. Semenov, N. F. Dubovkin, L. N. Smirnova. *Hidrogen. Proprietăți, primire, depozitare, transport, aplicație: Referință*. Chimie, 1989. 672 Pag.;
47. Gelfand, B. E. *Hidrogen: Parametrii de combustie și explozie*. Fizmatlit. 2008. Pag. 187;
48. Zakharov, E. A., Yu. I. Moiseev. *Echipamentul de alimentare cu gaz al mașinilor: Manual*. VolgSTU, Volgograd, 2015. 88 pag.;
49. Kavtaradze, R. Z. *Procese termofizice în motoarele diesel transformate în gaz natural și hidrogen*. Moscova: Editura Universității Tehnice de Stat din Moscova. N. E. Bauman. – 2011. 238 pag.;
50. G. H. Choi, S. B. Han, Y. J. Chung. *The effect of hydrogen enrichment on exhaust emissions and thermal efficiency in a LPG fueled*. KSME international journal. 2003. № 8. Pag. 1196 – 1202;
51. T. D'Andrea, P. F. Henshaw, DS-K. Ting. *The addition of hydrogen to a gasoline-fuelled SI engine*. International Journal of Hydrogen Energy. 2004. № 14. Pag. 1541 – 1552;
52. Y. Wang, M. Fanhua. *Study on the extension of lean operation limit through hydro-gen enrichment in a natural gas spark-ignition engine*. International Journal of Hydrogen Energy. 2008. № 4. Pag. 1416-1424;
53. White, R. R. Steeper, A. E. Lutz. *The hydrogen-fueled internal combustion engine: a technical review*. International Journal of Hydrogen Energy. 2006. №. 10. Pag. 1292-1305;
54. A. L. Gusev, Yu. P. Dyadyuchenko. *Siguranța și economia transportului de hidrogen*, Sarov, 2003. Pag. 11-13;
55. A. M. Levterov, V. D. Savitsky. *Eșantion experimental al unei mașini cu hidrogen bazat pe modelul GAZ-2705*. Transport Auto (Harkov, HNADU). 2008. №. 22;
56. Mishchenko, A. I. *Aplicarea hidrogenului pentru motoarele auto*. Kiev. 1984. 143 pag.;
57. Mishchenko, A. I. *Dezvoltarea metodelor de organizare a proceselor de lucru ale motoarelor cu ardere internă cu aprindere prin scânteie și a sistemelor pentru implementarea acestora atunci când se utilizează hidrogen ca combustibil*. Lucrare de disertație. Harkov. 1986;
58. A. S. Khachiyan, V. F. Vodeyko. *Utilizarea hidrogenului ca combustibil pentru motoare cu combustie internă pentru automobile*. Transport pe combustibil alternativ. 2008. № 3. Pag. 57-61;
59. E. Kahraman, S. C. Ozcanh, B. Ozerdem. *An experimental study on performance and emission characteristics of a hydrogen fuelled spark ignition engine*. International Journal of Hydrogen Energy. 2007. Pag. 2066 – 2072.
60. G. Cipriani et al. *Perspective on hydrogen energy carrier and its automotive applications*. International Journal of Hydrogen Energy. 2014. №. 16. Pag. 8482-8494;
61. S. Verhelst, T. Wallner. *Hydrogen-fueled internal combustion engines*. Progress in Energy and Combustion Science. 2009. №. 6. Pag. 490-527;
62. P. M. Kanilo. K. V. Kostenko. *Perspective pentru formarea energiei și transportului hidrogenului*. Transport Auto-2008. № 23. Pag. 107-113;
63. R. Rzazade. *Nr.1 în tabelul periodic*. EGO. 2008. Nr. 4. pag. 161-171;
64. R. A. Bakar, S. Semin, A. R. Ismail. *The Internal Combustion Engine Diversification Technology and Fuel Research for the Future: A Review*. In Proceeding of ASEAN Regional Symposium. 2007. Pag. 57-62;
65. N. Wakayama et al. *Development of hydrogen rotary engine vehicle*. 16th World Hydrogen Energy Conference (Lyon, France, 2006). 2006;
66. Jain, I. P. *Hydrogen the fuel for 21st century*. International journal of hydrogen energy. 2009. №. 17. Pag. 7368-7378.

67. D. N. Vyubov, A. S. Orlina, M. G. Kruglova. *Motoare cu ardere internă. Teoria motoarelor cu piston și combinate*. Ed. 4, retipărită și suplimentată. Inginerie Mecanică, 1983;
68. Knoll, J., Coleman, C. R., Schock, H. J., Stumpf, R. P., *A dynamic analysis of rotary combustion engine seals*. Conference Paper for presentation at the Ann. Congress. and Exposition, Detroit, 27 Feb. - 2 Mar. 1984;
69. Nguyen, Hung Lee, *Performance and combustion characteristics of directinjection stratified-charge rotary engines*. Technical Report, NASA-TM-100134, E-3684, NAS 1.15:100134;
70. Roberts, J. M., *Heat release estimation and prediction of Wankel stratifiedcharge combustion engine*. B.S.M.E. University of Pittsburgh, 1983;
71. Verhelst S. *Onderzoek naar de verbranding in waterstofverbrandingsmotoren – A study of the Combustion in hydrogen-Fueled Internal Combustion Engines*. PhD thesis, Ghent University, 2005.
72. MacCarley C.A. *A study of factors influencing thermally induced back firing in hydrogen fuelled engines, and methods for backfire control*. 16th IECEC conference, Atlanta, USA, 1981.
73. Lucas G.G. and Morris L.E. *The back fire problem of the hydrogen engine*. Symposium organized by the university's internal combustion engine group, King's College, London, UK, 1980.
74. Șelmacov S.V. *Îmbunătățirea caracteristicilor energetico-ecologici ale automobilelor*. Ghid. MADI, Moscova, 2018. 232p.
75. Veneția S., Cofaru C. *Automotive Fuels*. Manual. București, 2008. 557p.
76. Braun, G., Wolters, P., *The Development Potentials of Gasoline Engines with Respect to Exhaust Emissions and Fuel Consumption*, EAEC Congress, Bratislava 2001
77. Radcenko R. V. *Hydrogen în energetică*. Ghid. Ekaterinburg, 2014. 229p.
78. *BMW Hydrogen 7 Emissions Well-below Super-ultra Low-emission Vehicle Standarts*. Government Test Confirm, 2008.
79. <https://lambdageeks.com/rotary-engine-emission-standarts/>. Accesat: 01.12.2023.
80. <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/greenhouse-gas-emissions-18-2019/ro/index.html>. Accesat: 01.12.2023.
81. <https://ww2.arb.ca.gov/>. Accesat: 01.12.2023.
82. <https://habr.com/ru/articles/387091/>. Accesat: 01.12.2023.
83. <https://ww2.arb.ca.gov/>. Accesat: 01.12.2023.
84. <https://www.liquidpiston.com/technical-papers>. Accesat: 01.12.2023.
85. A.Corpocean, I.Rotaru, V. Plămădeală. *Ecologizarea sistemului om – automobile – mediu*. Chișinău, Editura "Tehnica-UTM" 2016
86. Plămădeală, V., *Caracteristica cantitativă și calitativă a emisiilor toxice produse de transportul auto în Republica Moldova*. Meridian ingineresc. 2015, nr. 3, p. 124 – 127.
87. Plămădeală, V.; Voițehovschi, D.; Poroseatcovschi, V., *Influența regimurilor de funcționare ale motorului asupra toxicității gazelor de eșapament*. Conferința Științifică Internațională „Transport: economie, inginerie și management”. Chișinău, 29-30 octombrie 2010, UTM, p. 168-169
88. Plămădeală, V., *Influența emisiilor gazelor de eșapament a transportului auto asupra mediului ambient*. Conferința Tehnico – Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților. Volumul II. Chișinău, 15-17 noiembrie 2008, UTM, p. 253-256.
89. Plămădeală, V.; Poroseatcovschi, V., *Direcțiile principale de micșorare a toxicității gazelor de eșapament a transportului auto*. Conferința Tehnico – Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților. Volumul II. Chișinău, 15-17 noiembrie 2008, UTM, p. 257-260.