

**CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND
ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚEI MAI CU
UTILIZAREA RĂCIRII DUBLE A
TURBINELOR AUTO**

Student:

Rebeja Andrei

Conducător:

**Banari Eduard
Dr., în șt. ing.
Lector universitar**

Chișinău, 2025

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII
MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi
Departamentul Transporturi**

**Admis la susținere
Șef departament:
Ceban Victor, conferențiar universitar, dr.**

„_____” _____ 2025

**CERCETĂRI TEORETICE
PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚEI
MAI CU UTILIZAREA RĂCIRII DUBLE A
TURBINELOR AUTO**

Teză de master

Student:

**Rebeja Andrei,
grupa STAITA 231 M**

Conducător:

**Banari Eduard,
lector universitar, dr.**

Chișinău, 2025

ADNOTARE

Rebeja Andrei. „Cercetări teoretice privind îmbunătățirea performanței MAI cu utilizarea răcirii duble a turbinelor auto”. Teză de master. UTM, Chișinău, 2025.

Structura tezei: introducere, trei capitole, concluzii generale, bibliografie din 75 pagini de text A4, 16 figuri și 4 tabele.

Cuvinte-cheie: turbosuflantă; motor cu aprindere prin comprimare; calculul termic.

Scopul tezei: constă investigarea și propunerea soluțiilor teoretice pentru îmbunătățirea performanței turbinelor auto prin utilizarea sistemelor de răcire dublă. Aceasta urmărește să analizeze impactul acestei tehnologii asupra eficienței motorului, a consumului de combustibil, a reducerii emisiilor de CO₂ și a prelungirii duratei de viață a componentelor turbinelor.

Obiectivele tezei de master: În prezenta teză de master au fost formulate următoarele obiective, și anume: analiza teoretică a procesului de răcire a turbinelor auto; realizarea calcului termic al motorului privind performanța energetică a MAI pentru cazul implementării turbosuflantei cu răcire dublă în raport cu turbosuflanta simplă; stabilirea parametrilor efectivi și indicați ai motorului pentru turbosuflantei cu răcire dublă și simplă; evaluarea parametrilor principali pentru evaluarea comparativă a MAI.

Metodele aplicate la realizarea cercetării: Studiul și revizuirea literaturii de specialitate pentru a înțelege modelele existente de răcire a turbinelor auto și a identifica cele mai relevante tehnologii utilizate pentru îmbunătățirea performanței acestora.

Rezultatele obținute: În urma efectuării tezei de master s-a efectuat un studiu teoretic privind implementarea turbosuflantei cu răcire dublă. Prin urmare, s-a realizat calcului termic al motorului cu aprindere prin comprimare (DC6 106x136) unde s-a obținut următoarele rezultate:

- valoarea puterii efective a motorului N_e s-a majorat cu 15,82 kW sau cu 13,5 % pentru cazul turbosuflantei cu răcire dublă față de turbosuflanta cu răcire simplă.

- valoarea momentului efectiv al motorului M_e de asemenea a crescut, de exemplu: pentru cazul turbosuflantei cu răcire dublă s-a obținut 578,7 Nm, iar pentru turbosuflanta simplă a alcătuit 510 Nm.

- valoarea consumului specific efectiv de combustibil g_e pentru cazul turbosuflantei cu răcire dublă s-a micșorat cu 19 g/kWh (sau cu 8%) comparativ cu turbosuflanta simplă.

- valoarea randamentului efectiv η_e și mecanic η_m a crescut neesențial pentru cazul motorului echipat cu turbosuflantă cu răcirea dublă în raport cu turbosuflanta simplă. Majorarea randamentului efectiv și mecanic a alcătuit 2,5 % și respectiv cu 8,6 % pentru turbosuflanta cu răcirea dublă comparativ cu cazul turbosuflantei simple.

Cercetările teoretice realizate în această teză de master ne-a permis să menționăm că, turbosuflanta cu răcire dublă reprezintă o soluție avansată și eficientă pentru îmbunătățirea performanței și fiabilității motoarelor, oferind un control mai bun al temperaturilor, o eficiență termică sporită și o durabilitate crescută a componentelor.

ANNOTATION

Rebeja Andrei. " Theoretical research on improving the performance of ICE with the use of double cooling of automotive turbines". Master's thesis. UTM, Chisinau, 2025.

Thesis structure: introduction, three chapters, general conclusions, bibliography of 75 pages of A4 text, 16 figures and 4 tables.

Keywords: turbocharger; compression ignition engine; thermal calculation.

The purpose of the thesis: consists of investigating and proposing theoretical solutions for improving the performance of automotive turbines by using double cooling systems. It aims to analyze the impact of this technology on engine efficiency, fuel consumption, CO₂ emissions reduction and turbine component life extension.

Master's thesis objectives: In this master's thesis, the following objectives were formulated, namely: theoretical analysis of the automotive turbine cooling process; performing the thermal calculation of the engine regarding the energy performance of the ICE for the case of implementing the dual-cooled turbocharger compared to the single-cooled turbocharger; establishing the effective and indicated engine parameters for the dual-cooled and single-cooled turbocharger; evaluating the main parameters for the comparative evaluation of the ICE.

Methods applied to the research: Study and review of the specialized literature to understand the existing models of cooling of automotive turbines and identify the most relevant technologies used to improve their performance.

Results obtained: Following the completion of the master's thesis, a theoretical study was carried out regarding the implementation of the dual-cooled turbocharger. Therefore, the thermal calculation of the compression ignition engine (DC6 106x136) was carried out where the following results were obtained:

- the value of the effective engine power N_e increased by 15,82 kW or 13,5% for the case of the dual-cooled turbocharger compared to the single-cooled turbocharger.
- the value of the effective engine torque M_e also increased, for example: for the case of the double-cooled turbocharger it was 578,7 Nm, and for the single turbocharger it was 510 Nm.
- the value of the effective specific fuel consumption g_e for the case of the double-cooled turbocharger decreased by 19 g/kWh (or by 8%) compared to the single turbocharger.
- the value of the effective efficiency η_e and mechanical η_m increased insignificantly for the case of the engine equipped with the double-cooled turbocharger in relation to the single turbocharger. The increase in effective and mechanical efficiency was 2,5% and 8,6% respectively for the double-cooled turbocharger compared to the single turbocharger.

The theoretical research conducted in this master's thesis allowed us to mention that the dual-cooled turbocharger represents an advanced and effective solution for improving engine performance and reliability, offering better temperature control, increased thermal efficiency and increased component durability.

CUPRINS

LISTA ABREVIERILOR	5
LISTA TABELELOR.....	6
ADNOTARE	7
ANNOTATION	8
INTRODUCERE.....	11
1. STADIUL ACTUAL AL UTILIZĂRII TURBINELOR AUTO	13
1.1 Istoria turbocompresorului.....	13
1.2 Variante constructive ale turbinelor auto	15
1.3 Tipuri de intercoolere.....	22
1.4 Particularitățile răcirii turbinei.....	23
1.5 Concluzii la capitolul 1	26
2. ASPECTE TEORETICE PRIVIND RĂCIREA DUBLĂ A TURBINELOR AUTO	27
2.1 Considerații generale	27
2.2 Răcirea fluidului proaspăt la admisie în MAI.....	28
2.3 Creșterea presiunii de comprimare prin răcirea volutei turbinei auto	29
2.4 Influența răcirii duble a fluidului proaspăt asupra fiabilității turbinei auto	33
2.5 Concluzii la capitolul 2	34
3. CALCULUL TERMIC AL UTILIZĂRII RĂCIRII DUBLE A TURBINELOR AUTO	
ÎN MAC 35	
3.1 Generalități.....	35
3.2 Cicluri reale ale motorului cu ardere internă	36
3.3 Determinarea parametrilor fluidului proaspăt.....	39
3.4 Stabilirea parametrilor de mediu.....	40
3.5 Calculul procesului de admisie	43
3.5.1 Determinarea presiunii la sfârșitul procesului de admisie.....	43
3.5.2 Determinarea temperaturii gazelor la sfârșitul admisiei.....	44
3.5.3 Determinarea coeficientului de umplere a cilindrilor.....	45
3.6 Calculul procesului de comprimare	47
3.7 Calculul procesului de ardere	49
3.7.1 Determinarea conținutului și compoziției produselor de gaze	50
3.7.2 Determinăm cantitatea de produse până și după ardere	51
3.8 Căldura specifică a gazelor	52

3.8.1	Determinarea căldurii specifice molare a încărcăturii proaspete	52
3.8.2	Determinarea căldurii specifice molare a gazelor de eșapament.....	52
3.8.3	Determinarea temperaturii gazelor la sfârșitul arderii.....	53
3.8.4	Determinarea presiunii gazelor la sfârșitul arderii	54
3.8.5	Determinarea gradului de destindere prealabilă	55
3.6.	Calculul procesului de destindere	55
3.9	Calculul parametrilor indicați ai ciclului de lucru ai motorului.....	57
3.9.1	Evaluarea parametrilor indicați	57
3.9.2	Evaluarea presiunii medii indicate reale.....	58
3.9.3	Evaluarea randamentului indicat	59
3.9.4	Elaborarea consumului specific indicat de combustibil	60
3.10.	Calculul parametrilor efectivi ai ciclului de lucru ai motorului.....	61
3.10.1	Calculul pierderilor mecanice.....	62
3.10.2	Calculul presiunii medii efective.....	63
3.10.3	Calculul randamentului mecanic	63
3.10.4	Calculul randamentului efectiv al motorului	64
3.10.5	Calculul consumul specific efectiv de combustibil	65
3.10.6	Calculul puterii indicate a motorului	67
3.10.7	Calculul puterii pierderilor mecanice	67
3.10.8	Calculul puterii efective a motorului	67
3.10.9	Calculul momentului efectiv al MAC	69
3.11	Parametri principali pentru evaluarea comparativă a MAI.....	69
3.12	Concluzii la capitolul 3	71
	CONCLUZII.....	72
	BIBLIOGRAFIE	73

INTRODUCERE

Motorul cu ardere internă este o sursă de energie importantă în construcția se autovehicule. Lucrul mecanic efectuat influențează foarte mult asupra performanțele de exploatare și asupra parametrilor tehnico-economice ale vehiculelor. În acest sens, dobândirea de cunoștințe profunde cu privire la procesele de combustie care au loc în motoare este una dintre cele mai importante sarcini ale viitorilor ingineri care au selectat proiectarea, producția sau exploatarea tehnică a mașinilor ca domeniu de aplicare a eforturilor acestora.

Tehnologiile auto au evoluat semnificativ în ultimele decenii, iar unul dintre cele mai importante progrese a fost în domeniul supraalimentării. Supraalimentarea este un sistem esențiale ce permite motoarelor cu ardere internă să își crească puterea și eficiența, prin comprimarea aerului care intră în cilindri. Acest proces ajută la maximizarea performanței motorului, dar totodată generează și o cantitate considerabilă de căldură, care poate afecta performanțele și fiabilitatea sistemului pe termen lung. În acest context, îmbunătățirea sistemului de răcire al turbinelor joacă un rol crucial în optimizarea performanței motoarelor supraalimentate, iar răcirea dublă a turbinelor reprezintă o soluție inovatoare care promite îmbunătățiri semnificative.

Răcirea turbinelor este un aspect esențial pentru menținerea eficienței motorului și prevenirea supraîncălzirii componentelor critice ale sistemului turbo. Temperaturile ridicate generate în cadrul procesului de supraalimentare pot afecta negativ performanța motorului, ducând la scăderea puterii și a eficienței combustiei, dar și la riscuri de avarii ale componentelor. În plus, supraîncălzirea gazelor de evacuare poate duce la deteriorarea pieselor motorului, precum turbina și alte componente ale sistemului de admisie sau evacuare. Astfel, este necesară implementarea unor soluții de răcire eficiente, care să minimizeze aceste riscuri și să maximizeze performanțele vehiculului.

Răcirea dublă a turbinelor este o tehnologie care combină două metode de răcire pentru a asigura o gestionare optimă a căldurii generate de turbine. Aceasta presupune utilizarea simultană a răcirii prin lichid și a răcirii prin aer, pentru a asigura temperaturi mai scăzute în cadrul supraalimentării. Răcirea prin lichid presupune circulația unui fluid de răcire, precum apa sau antigetul, printr-un sistem de țevi sau radiatoare care sunt integrate în apropierea turbinelor. Această metodă este eficientă pentru a menține o temperatură constantă, chiar și în condiții de utilizare intensă. Pe de altă parte, răcirea prin aer presupune utilizarea unui sistem de ventilatoare sau canale de aer care direcționează aer rece către turbina și alte componente înconjurătoare, ajutând la scăderea temperaturilor generate în timpul funcționării.

Această combinație de tehnologii are multiple avantaje, printre care creșterea puterii și a eficienței motorului, reducerea riscurilor de supraîncălzire și uzură prematură, dar și îmbunătățirea

performanței generale a vehiculului. Răcirea dublă a turbinelor nu doar că ajută la menținerea temperaturilor optime, dar contribuie și la prevenirea fenomenelor negative, precum detonațiile sau preîncălzirea gazelor de evacuare, care pot duce la pierderi de performanță și pot afecta fiabilitatea motorului pe termen lung.

În contextul în care tehnologiile de supraalimentare sunt din ce în ce mai utilizate în industria auto, în special în cazul motoarelor cu performanțe ridicate sau al celor destinate vehiculelor de performanță, implementarea unor soluții avansate de răcire devine esențială pentru maximizarea potențialului acestor motoare. Răcirea dublă a turbinelor reprezintă o metodă inovatoare și eficientă de a îmbunătăți performanța motoarelor supraalimentate, oferind un răspuns tehnologic la provocările legate de gestionarea căldurii și de menținerea unui nivel înalt de eficiență în funcționarea motorului.

Astfel, în această lucrare, vom analiza detaliat principiile de funcționare ale răcirii duble a turbinelor, avantajele și beneficiile acestei tehnologii, precum și impactul său asupra performanței motorului. De asemenea, vom explora modul în care acest sistem de răcire influențează nu doar puterea și eficiența motoarelor, dar și fiabilitatea pe termen lung a vehiculului. Implementarea unor soluții avansate de răcire, precum răcirea dublă a turbinelor, va contribui în mod semnificativ la dezvoltarea și perfecționarea tehnologiilor auto, oferind atât un avantaj competitiv pe piață, cât și o experiență îmbunătățită de conducere.

BIBLIOGRAFIE

1. BOBESCU, Gh., COFARU, C., CHIRU, A., *Motoare pentru automobile și tractoare*. Manual pentru MAI/Teoria și caracteristici. Chișinău: Tehnica, 1996. 238 p.
2. NOVOROJDIN, D., BANARI, E., DICHII, A. Particularitățile asistenței tehnice a autovehiculelor dotate cu propulsii-MAI cu supraalimentare avansată. În: *Materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto”*, dedicat aniversării a 85 de ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. UASM, Chișinău, 2018, vol. 51, p. 277-279, ISBN 978-9975-64-300-9.
3. NOVOROJDIN, D. *Automobile*. Chișinău: Centrul Ed. al UASM, 2011. 220 p.
4. BANARI, E., MANCUȘ, N. Impactul ecologic al utilizării biocarburanților. În: *Ingineria Automobilului*, nr. 45 / decembrie, 2017, p. 14-16, România, ISSN 2457 – 5275.
5. 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.
6. BEȘLEAGĂ Ig., BANARI, E., JEMAN, V. Consecințele transportului auto asupra mediului ambiant. În: *Materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto”*, dedicat aniversării a 85 de ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. UASM, Chișinău, 2018, vol. 51, p. 340-345, ISBN 978-9975-64-300-9.
7. BEȘLEAGA, Igor. Particularitățile calculului termic al motorului diesel alimentat cu biocombustibil . În: *Știința Agricolă*, 2011, nr. 2, pp. 58-64. ISSN 1857-0003.
8. BEȘLEAGA, Igor, GOROBETȚ, Vladimir, MALAI, Leonid. Actualitatea și perspectivele folosirii combustibililor alternativi în motoarele cu aprindere prin comprimare. În: *Inginerie agrară și transport auto*, 4-5 octombrie 2018, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Universitatea Agrară de Stat din Moldova, 2018, Vol.51, pp. 392-402. ISBN 978-9975-64-300-9.
9. 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.
10. LACUSTA, I., BEȘLEAGĂ, Ig., BANARI, E. Performanțele energetice ale motorului diesel alimentat cu biodiesel. În: *Agricultura Moldovei*. Revistă de știință și practică. № 7-8, 2009, p. 26-28, ISSN 0582-5229.
11. LĂCUSTĂ, Ion, BEȘLEAGA, Igor, BÎTCA, V.. Utilizarea biocombustibilului la alimentarea motoarelor diesel. În: *Cadastru și drept*, 30 septembrie 2011, Chișinău. Chișinău: Universitatea Agrară de Stat din Moldova, 2011, Vol.30, pp. 237-243. ISBN 978-9975-64-125-8.
12. LĂCUSTĂ, Ion, BEȘLEAGA, Igor, TOLSTECO, A.. Impactul utilizării biocombustibilului asupra emisiilor poluante . În: *Știința Agricolă*, 2007, nr. 2, pp. 60-63. ISSN 1857-0003.

13. 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.
14. ХАК, Г. *Турбодвигатели и компрессоры*: Справ.пособие, Лангкабель. -М.: ООО Издательство Астрель, 2003. - 351 с.
15. 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.
16. ЗЕЙНЕТДИНОВ, Р. А. *Теоретические основы энтропийно-статистического анализ энерготехнологических процессов в поршневых двигателях*. СПб: СПбГАУ, 2011. - 155 с.
17. ЗЕЙНЕТДИНОВ, Р. А. *Влияние неравномерности термогазодинамических процессов систем воздухоснабжения двс на коэффициент наполнения*. Сб. научн. трудов научно- практической конференции «Научное обеспечение инновационного развития АПК», Ч.1. СПб.: СПбГАУ. 2014. – С. 340-345.
18. БАРСКИЙ, И. А., ШАТАЛОВ, И. К. Влияние охлаждения корпуса турбокомпрессора для наддува дизеля на его тепловой баланс. В: *Вестник РУДН*, серия Инженерные исследования, № 2 (9), 2004, стр. 50 – 54.
19. БАРСКИЙ, И. А. Особенности выбора параметров турбины с сопловым регулированием. – *Двигателестроение*, 2003, № 5, с. 14 -16.
20. ВОЗНИЦКИЙ, И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. /И.В.Возницкий, А.С.Пунда – М.:МОРКНИГА, 2010.- 382 с. Стр. 42-48.
21. <https://turbocom9.ru/>
22. <https://www.drive2.ru/>
23. <https://turbocentras.com/>
24. <https://rj-auto.ru/>
25. <https://studfile.net>