

**MINISTERUL EDUCATIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**  
**Universitatea Tehnica a Moldovei**  
**Inginerie Mecanica Industriala si Transport**  
**Departamentul Inginerie Mecanica**

**Admis la susținere**

**Șef departament:**

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025

**ELABORAREA MODELULUI TERMONECONOMIC  
AL INSTALATIEI FRIGORIFICE**

**Teza de Master**

**Student:**

**Florea Dorin, IM-231**

**Coordonator:**

**Ivanov Leonid, conf.univ., dr.**

**Chișinău, 2025**

## **Adnotare**

### Elaborarea Modelului Termoeconomic al Instalatiei Frigorifice

Lucrarea este efectuata in scopul studierii si analizei metodei termoeconomice a instalatiilor frigorifice si pompelor de caldura

In perioada de realizare a proiectului am obtinut cunostinte in elaborarea modelului termoeconomic al instalatiilor frigorifice, am studiat aparatul de analiza tehnica si economica care are un rol deosebit de important in proiectarea si constructia instalatiilor frigorifice moderne reiesind din conditiile economiei globale si cerintele asupra calitatii instalatiilor, determinind astfel si costul final al instalatiilor frigorifice. Am studiant notiunea de termoeconomie care prezinta atat teoria economica cit si metoda termodinamica a teoriei exergetice, unde exergia este legatura din termodinamica si economie

Au fost analizate metodele moderne de analiza si optimizare a instalatiilor frigorifice si pompelor de caldura, acestea fiind ca „metoda de sine statatoare”; „ metoda structural- varianta” ; „ teoria valorii exergetice”

Am elaborat si am studiat modelul termoeconomic al instalatiei frigorifice cu o treapta unde problema luata in consideratie fiind studierea si analizarea costurilor minime si actuale pentru a fi creata o instalatie frigorifica cu capacitatea anumita .

In final lucrarea executata este argumentata de necesitatea metodei termoeconomice in constructia si dezvoltarea echipamentului si utilajului frigorific obtinid un pret cit mai scăzut.

## **Annotation**

### **Development of the Thermoeconomic Model of the Refrigeration Installation**

The work is carried out in order to study and analyze the thermoeconomic method of refrigeration installations and heat pumps

During the realization of the project, I obtained knowledge in the elaboration of the thermoeconomic model of refrigeration installations, I studied the technical and economic analysis apparatus that has a particularly important role in the design and construction of modern refrigeration installations arising from the conditions of the global economy and the requirements on the quality of installations, thus determining the final cost of the refrigeration installations. I am studying the notion of thermoeconomics, which presents both the economic theory and the thermodynamic method of the exergetic theory, where exergy is the connection between thermodynamics and economics

The modern methods of analyzing and oppressing the refrigeration installations and heat pumps were analyzed, these being the "stand-alone method"; "structural-variant method"; "exergetic value theory"

I developed and studied the thermoeconomic model of the refrigeration installation with one step, where the problem taken into consideration is the study and analysis of the minimum and current costs to create a refrigeration installation with a certain capacity.

In the end, the executed work is argued by the necessity of the thermoeconomic method in the construction and development of the refrigeration equipment and machinery, obtaining the lowest possible price but with a high quality.

## Cuprins

<b>Introducere.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITOLUL I. Metode moderne de analiza termoeconomica si optimizare a masinilor frigorifice si pompe de caldura.....</b>	<b>6</b>
1.1 Metoda de sine-stătătoare.....	9
1.2 Metoda structurală-variantă.....	11
1.3 Teoria valorii exergetice.....	13
1.4 Aparat grafoanalitic de optimizare termoeconomică multifactorială.....	16
<b>CAPITOLUL II. Diagnosticarea termoeconomica si analiza functionala a instalatiilor frigorifice si pompelor de caldura.....</b>	<b>21</b>
2.1 Diagnosticarea termoeconomică a unei mașini frigorifice bazată pe teoria costului exergetic.....	22
2.2. Analiza comparativă a modelelor termoeconomice de formare a costului exergetic al frigului.....	28
2.3. Analiza comparativă a modelelor termoeconomice ale unei pompe de căldură cu compresie de vapori.....	34
<b>CAPITOLUL III. Fundamentarea termoeconomica a proiectarii rationale si modernizarii MF .....</b>	<b>37</b>
3.1. Principalele obiective și câteva caracteristici metodologice generale ale modernizării echipamentelor frigorifice.....	38
3.1.1. Modelul termoeconomic al instalatiei frigorifice cu o treapta.....	40
3.2. Aplicarea aparatului grafic cu curba C pentru analiza și optimizarea ciclurilor supercritice ale MF.....	45
3.2.1. Analiza și optimizarea ciclurilor supercritice ale mașinilor frigorifice.....	45
3.3. Metoda autonoma de optimizare termoeconomica.....	48
3.3.1. Optimizarea termoeconomică a unei mașini frigorifice.....	50
<b>Concluzie.....</b>	<b>54</b>
<b>Bibliografie.....</b>	<b>55</b>

## Introducere

În condițiile unei economii globale care se dezvoltă rapid cerințele pentru calitatea echipamentelor fabricate sunt în creștere semnificativă. Sistemele de transformare termică nu fac excepție în acest sens. Mai mult, industria frigorifică este una dintre puținele industrii pentru care problema evaluării calității proiectării echipamentelor este deosebit de relevantă, întrucât are legătură directă cu costul instalării produse, dar fezabilitatea funcționării unuia sau altuia sistemul de refrigerare poate fi făcut direct dependent de costul produsului pe care îl produce. Această problemă devine și mai urgentă în întrebarea determinării costului produsului instalațiilor care produc atât căldură, cât și frig.

Aparatul de analiză tehnică și economică, cunoscut încă de la sfârșitul secolului al XX optimizarea sistemelor de conversie a energiei singură nu este capabilă să ofere evaluarea corectă a eficienței economice a instalației, ținând cont de aceasta perfecțiunea termodinamică, din moment ce problemele termodinamice și optimizările tehnice și economice sunt rezolvate aici separat una de cealaltă. În analiza termodinamică, cercetarea se concentrează în general pe descrierea proceselor, determinarea efectului dimensiunii instalației create, a caracteristicilor sale de consum asupra modificării substanței de lucru și a energiei cheltuite pentru acționare. În același timp, ei operează cu concepte pur termodinamice precum eficiența, ireversibilitatea, eficiența, apariția entropiei și pierderea muncii. Considerentele economice necesită o echilibrare atentă a valorilor termodinamice adecvate și a cheltuielilor de capital pentru a minimiza costul unitar al produsului final. Termoeconomia combină atât metoda termodinamică a analizei exergetice, cât și teoria economică. Prin urmare, face posibilă rezolvarea problemelor de proiectare optimă, în primul rând a sistemelor în care au loc procese de conversie a energiei, cu eficiență ridicată. Legătura dintre termodinamică și economie este energia. Posibilitățile de utilizare a exergei în economie provin din faptul că exergia, ca și valoarea, este atât crescută, cât și consumată în diferite procese. Prin urmare, toate fluxurile exergetice pot fi exprimate în termeni de cost și pierderile ireversibile din elementele instalației care însoțesc procesele de conversie a energiei pot fi evaluate din punct de vedere economic. În ciuda posibilităților largi ale termoeconomiei ca disciplină științifică, nu și-a găsit încă locul demn printre inginerii termici practicanți și în literatura educațională și metodologică internă.

## Bibliografie

1. Харлампида Д.Х. Термoeкономический подход к диагностике холодильных машин и тепловых насосов/ Д.Х. Харлампида, Э. Г. Братута, В.А. Тарасова, А. В. Шерстюк // Холодильная техника и технология.–2013.
2. Kotas T. J. The Exergy Method of thermal plant analysis/ T. J. Kotas. – Butterworths, London, UK, 1985.
3. Системно - структурный анализ парокompрессорных термотрансформаторов/ Ю. М. Мацевитый, Э. Г. Братута, Д. Х. Харлампида, В. А. Тарасова.– НАН Украины, Институт проблем машиностроения. - Харьков, 2014.
4. Горленко А. М. Термoeкономический анализ и оптимизация многоцелевых энерготехнологических систем/ А. М. Горленко // Промышленная энергетика. – 1986.
5. Оносовский В. В. Оптимизация холодильной установки с обратным водоснабжением/ В. В. Оносовский // Холодильная техника. – 1987.
6. Оносовский В. В. Проектирование Холодильных установок на основе динамической оптимизации/ В. В. Оносовский, В.Ф. Лещенко // Холодильная техника. –1987.
7. Wall G. Optimization of Refrigeration Machinery/ G. Wall // International Journal of Refrigeration. – 1991.
8. Wall G. Thermoeconomic Optimization of a Heat pump System/ G. Wall //Energy Journal. 1986. Vol. 11.
9. Марьямов А. Н. К решению задач оптимизации в холодильном машиностроении / Марьямов А.Н., Бродянский В.М. // Холодильная техника.– 1983.
10. Бродянский В. М. Эксергетический метод и его приложения/ В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
11. Харлампида Д.Х. Модернизация холодильной машины на основе термoeкономического подхода/ Д.Х. Харлампида, В. А. Тарасова А. В. Шерстюк // Вісник НТУ «ХП» 2013,
12. Boer D. Exergy and Structural Analysis of an Absorption Cooling Cycle and the Effect of Efficiency Parameters/ D. Boer // Int. Journal of Thermodynamics. – Vol. 8 (4). – 2005.
13. D'Accadia M. D. Thermoeconomic Optimization of the Condenser in Vapor Compression Heat pump/ M. D. D'Accadia, L. Vanoli // Int. Journal of Refrigeration. –2004.
14. Dingec H. Thermoeconomic optimization of simple refrigerators / H. Dingec, A. Ileri // Int. Journal Energy Resech. – 1999.
15. Seyydi S. M. New Approach for Optimization of Thermal Power Based on Exergoeconomic Analysis and Structural Optimization Method: Application to the CGAM Problem/ S. M. Seyydi, H. Ajam, S. Farahat // Energy Conversion and Management. – 2010.
16. D'Accadia M.D. Thermoeconomic Optimization of Refrigeration Plant/ M.D. D'Accadia, F. De Rossi //Int. Journal of Refrigeration. –1998.
17. Харлампида Д.Х. Термoeкономическая диагностика парокompрессорной холодильной машины/ Д.Х. Харлампида. В.А. Тарасова// Технические газы. – 2013.
18. Lozano M. A. Theory of Exergetic Cost/ M. A. Lozano, A. Valero // Energy. – 1993.
19. Torres C. On the Cost Formation Pprocess of the Residues/ C. Torres // In Proceedings of the 19th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Enviromental Impact of Energy Systems. Crete (Greece), July 12-14. – 2006.
20. Янтовский Е. И. Потоки энергии и эксергии / Е. И. Янтовский. – Наука, 1988.
21. Морозюк Т. В. Водоаммиачные термотрансформаторы (теория, анализ, синтез, оптимизация): дис....доктора техн. наук: 05.14.06/ Т.В. Морозюк, Одесса. – 2001.
22. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы/ Дж. Тсатсаронис. – Одесса: Негоциант. – 2002.
23. Ломцов П.Б. Діагностика енергетичної ефективності холодильних і тепло насосних систем: Автореф. на здоб. канд. тех. наук. 05.05.14, Одеса, 2003.

24. Харлампики Д. Х. Современные методы термоэкономического анализа и оптимизации холодильных установок/ Д. Х. Харлампики, В.А. Тарасова, М. А. Кузнецов // Технические газы. – 2015.
25. Torres C. Structural Theory and Thermo-economic Diagnosis Part 1. On Malfunction and Dysfunction Analysis/ C. Torres, A. Valero, L. Serra, J. Royo // Energy Conversion and Management. – 2002.
26. Valero A. On the Thermo-economic Approach to the Diagnosis of Energy System Malfunctions. Part 2. Malfunction Definitions and Assessment/ A. Valero, L. Correas, A. Zaleta, A. Lazzaretto, V. Verda, M. Reini, V. Rangel // Energy International Journal. – 2004.
27. Frangopoulos C. A. Thermo-economic Functional Analysis and Optimization/ C. A. Frangopoulos // Energy. – 1987.
28. Morosuk T. Advanced exergoeconomic analysis of refrigeration machine: Part 1. Methodology and first evaluation/ T. Morosuk, G. Tsatsaronis // Proc. 2011 Int. Mech. Eng. Congress at Denver (USA), 2011.
29. Santos J. On the Negentropy Application in Thermo-economics: A Fictitious or an Exergy Component Flow? / J. Santos, M. Nascimento, E. Lora, A.M. Reyes // International Journal of Thermodynamics. – 2009.
30. Бродянский В.М. Доступная энергия Земли и устойчивое развитие систем жизнеобеспечения. 2. Ресурсы Земли/ В.М. Бродянский // Технические газы. –2011.
31. Morosuk T. Elements of exergoeconomics for the analysis of compressor heat pump / T. Morosuk // Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources: VI Minsk International Seminar, 12–15 September 2005. – Minsk, Belarus, 2005.
32. Мартыновский В. С. Циклы, схемы и характеристики трансформаторов/ В. С. Мартыновский. – М.: Энергия, 1979.
33. Оносовский В. В. Моделирование и оптимизация холодильных установок / В. В. Оносовский. – Л.: Ленинград. технолог. ин-т холодиль. пром-ости, 1990. – 205 с.
34. Эль-Саид И. М. Термоэкономика и проектирование тепловых систем / И. М. Эль Саид, Р. Б. Эванс // Труды американского общества инженеров механиков. Энергетические машины. – 1970.
35. Mansour M. K. Thermo-economic Optimization for a Finned-tube Evaporator Configuration of a Roof Top Bus Air-conditioning System/ M. K. Mansour, M. N. Musa, W. Hassan // International Journal of Energy Research. – 2008.
36. Оносовский В. В. Выбор оптимального режима работы холодильных машин и установок с использованием метода термоэкономического анализа/ В. В. Оносовский, А. А. Крайнев // Холодильная техника. – 1978.
37. Вычужанин В. В. Техно-экономическая оптимизация судовой центральной системы комфортного кондиционирования/ В. В. Вычужанин // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2008.
38. Вычужанин В. В. Эксергетическая техно-экономическая модель абсорбционной холодильной машины / В. В. Вычужанин // Холодильна техніка і технологія. – 2011.
39. Kizilkan O. Investigation of Subcooling and Superheating Effects in Refrigeration Systems in Term of Thermo-economics/ O. Kizilkan, R. Selbas, A. Sencan // Journal Faculty Architecture Gazi University. – 2006.
40. Selbas R. Thermo-economic Optimization of Subcooled and Superheated Vapor Compression Refrigeration Cycle / R. Selbas, O. Kizilkan, A. Sencan // Energy. – 2006.
41. Быков А.В. Холодильные машины и тепловые насосы/ А.В. Быков, И. М. Калнинь. – М.: Агропромиздат. – 1988.
42. Братута Э. Г. Оптимальные условия реализации сверхкритических циклов холодильных машин и тепловых насосов / Э. Г. Братута, А. В. Шерстюк, Д. Х. Харлампики // Технические газы. – 2011.
43. Sarkar J. Simulation of a Transcritical CO<sub>2</sub> Heat pump Cycle for Simultaneous Cooling and Heating Applications / J. Sarkar, S. Bhattacharyya, M. Ram Gopal / Int. J. of Refrigeration. – 2006

44. Cecchinato L. A critical approach to the determination of optimal heat pressure in transcritical systems / L. Cecchinato, M. Corradi, S. Minneto // *Applied Thermal Engineering*. – Vol. 30. –2010
45. Yang L. Minimization COP loss from optimal high pressure correlation for transcritical CO<sub>2</sub> cycle / L. Yang, H. Li, S. W. Cai, Ch. L. Zhang // *Applied Thermal Engineering*. – Vol. 89. 2015.
46. Fazelpour F. Exergoeconomic analysis of carbon dioxide transcritical refrigeration machines / F. Fazelpour, T. Morosuk // *Int.J. of Refrigeration*. – Vol. 30 – 2013
47. Rezayan O. Thermoeconomic optimization and exergy analysis of CO<sub>2</sub>/ NH<sub>3</sub> cascade refrigeration systems / O. Rezayan, A. Behbahaninia // *Energy*. – Vol. 36 – 2011.
48. Проценко В. П. Выбор оптимальных температурных напоров в теплообменниках теплонасосной установки / В. П. Проценко, Н. А. Ковылкин // *Холодильная техника*. – 1985.
49. Эксергетические расчеты технических систем: справ. пособие / В. М. Бродянский, Г. П. Вершивкер, Я. Я. Карчев и др.; под ред. А. А. Долинского и В. М. Бродянского. – Киев.: Наукова думка, 1991.
50. Дубковский В. А. Рациональные процессы, циклы и схемы энергоустановок / В. А. Дубковский. – Одесса: Наука и техника, 2003.
51. Оносовский В. В. Пути снижения затрат на эксплуатацию одноступенчатых холодильных установок / В. В. Оносовский, А. А. Крайнев // *Холодильная техника*. – 1980.
52. Оносовский В. В. Комплексная оптимизация судовых холодильных установок / В. В. Оносовский, С. В. Сергуткин // *Холодильная техника*. – 1986.
53. Марьямов А. Н. К решению задач оптимизации в холодильном машиностроении / А. Н. Марьямов, Б. М. Бородянский // *Холодильная техника*. – 1983.
54. Бородянский Б. М. Метод статистических испытаний при оптимизации холодильных систем / Б. М. Бородянский, А. А. Лебедев // *Труды ВНИИхолодмаша. Расчет и экспериментальное исследование холодильных компрессорных машин*. – М., ВНИИхолодмаш, 1982.
55. Краснощеков Е. А. Задачник по теплопередаче / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975.
56. Холодильные машины / Н. Н. Кошкин, И. А. Сакун, Е. М. Бамбушек и др.; под ред. И. А. Сакуна. – Л.: Машиностроение, 1985.