

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi**

**Departamentul Inginerie Mecanică**

**Admis la susținere  
Șef departament Inginerie Mecanică:  
Mihail Balan conf. univ., dr.**

**„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025**

**PROBLEMELE UTILIZĂRII MAȘINILOR  
FRIGORIFICE CU ABSORBȚIE ȘI  
PERSPECTIVELE IMPLEMENTĂRII**

**Teză de master**

**Student: Budurin Nicolae,  
gr. IM-231**

**Conducător: Cartofeanu Vasile, conf.  
univ., dr.**

Chișinău, 2025

## ADNOTARE

la teza de master cu titlul „*Problemele utilizării mașinilor frigorifice cu absorbție și perspectivele implementării*”

înaintată de competitorul **Budurin Nicolae**,

pentru conferirea titlului de *master* la programul *Inginerie Mecanică*.

**Structura tezei:** constă din introducere, două capitole, concluzii și recomandări, bibliografie cu 66 de titluri, 52 pagini de bază, 18 figuri, 1 tabel.

**Cuvinte cheie:** *mașini frigorifice, eficiență energetică, energie termică, pompă de căldură.*

**Obiectivul tezei:** *analiza constructiv-funcțională a mașinilor frigorifice cu absorbție și perspectivele implementării.*

În lucrare au fost propuse și dezvoltate soluții schematică pentru complexul de mașini frigorifice cu absorbție cu pompă de căldură încorporată și colectoare solare.

Au fost efectuate calcule ale circuitelor AHM-TNU-SolKol și comparații ale unor astfel de scheme cu AHM cu apă caldă într-o singură etapă și în două trepte.

A fost proiectat și dezvoltat un banc de testare experimental AHM-TNU în scopuri de cogenerare pentru a studia caracteristicile energetice și termice ale echipamentelor de alimentare cu căldură și răcire.

A fost efectuat un studiu al modurilor de funcționare ale complexului AHM-TNU și a fost efectuată o analiză a eficienței energetice a acestora. S-a confirmat empiric că, odată cu implementarea soluțiilor tehnice propuse, coeficientul de refrigerare al ACM atinge valorile de 0,831 (cu încălzirea electrică tradițională a generatorului său - 0,3).

## SUMMARY

to the master's thesis entitled "Problems of utilization of absorption refrigeration machines and perspectives of implementation"

submitted by the competitor Budurin Nicolae,

for the award of the master degree in the Mechanical Engineering program.

Thesis structure: consists of introduction, two chapters, conclusions and recommendations, bibliography with 66 titles, 52 basic pages, 18 figures, 1 table.

Keywords: *refrigerating machines, energy efficiency, thermal energy, heat pump.*

The objective of the thesis: *the constructive-functional analysis of absorption refrigerating machines and the prospects of implementation.*

In the work schematic solutions for the complex of absorption chillers with built-in heat pump and solar collectors were proposed and developed.

Calculations of the AHM-TNU-SolKol-SolKol circuits and comparisons of such schemes with single-stage and two-stage hot water AHMs were carried out.

An experimental AHM-TNU experimental AHM-TNU test bench for cogeneration purposes was designed and developed to study the energy and thermal characteristics of heat supply and cooling equipment.

A study of the operating modes of the AHM-TNU complex was carried out and an analysis of their energy efficiency was performed. It was empirically confirmed that, with the implementation of the proposed technical solutions, the cooling coefficient of the ACM reaches the values of 0.831 (with traditional electric heating of its generator - 0.3).

## CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	8
<b>1 PROBLEMELE ȘI PERSPECTIVELE DE IMPLIMENTARE A MAȘINILOR FRIGORIFICE CU ABSORBȚIE CAPITOLUL 1</b> .....	9
1.1 Dezvoltarea și nomenclatura modernă .....	9
1.2 Utilizarea și pricipalele lor avantaje .....	10
1.3 Varietate .....	12
1.3.1 Diagrama structurală cu apă caldă într-o singură treaptă.....	12
1.3.2 Diagrama structurală cu apă caldă în două trepte.....	15
1.3.3 Diagrama structurală într-o singură treaptă pe abur.....	17
1.3.4 Diagrama structurală în două etape pe abur.....	19
1.3.5 Schema structurală (gaz natural) cu ardere directă în două etape.....	21
1.4 Diagrama schematică și parametrii săi principali.....	23
1.5 Principalele sisteme de alimentare cu căldură ale generatorului, avantajele și dezavantajele acestora.....	26
1.6 Concluzii privind capitolul 1.....	26
<b>2 ANALIZA EFICIENȚEI ENERGETICE A INCLUDERII POMPEI DE CĂLDURĂ ȘI A COLECTOARELOR SOLARE ÎN COMPOZIȚIA MAȘINILOR FRIGORIFICE CU ABSORBȚIE ÎN SISTEMELE CENTRALIZATE DE AER CONDIȚIONAT CAPITOLUL 2.....</b>	<b>28</b>
2.1 Enunțarea problemei.....	28
2.2 Analiza soluției circuitului folosind apă caldă cu o singură treaptă.....	28
2.3 Analiza soluției de circuit folosind un ACM de apă caldă în două etape.....	31
2.4 Comparatie tehnică și economică a mașinilor frigorifice.....	34
2.5 Concluzii privind capitolul 2.....	35
<b>3 STUDIUL EFICIENȚEI TERMODINAMICE ȘI SELECTAREA SUBSTANȚEI DE LUCRU ÎN COMPOZIȚIE CAPITOLUL 3.....</b>	<b>37</b>
3.1 Caracteristici ale temperaturii ridicate.....	37
3.2 Algoritmul metodei de comparare a eficienței ciclului pompei de căldură la diferite reactoare.....	38
3.3 Pompele de căldură și metodele lor de calcul.....	39
3.4 Cerințe de bază pentru substanța de lucru din pompele de căldură.....	41
3.5 Rezultatele calcului.....	41
3.6 Concluzii privind capitolul 3.....	47
3.7 Rezultatele testelor de inginerie termică ale standului experimental al acestora.....	47
<b>CONCLUZIE</b> .....	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	<b>52</b>

## INTRODUCERE

O parte semnificativă din toată energia generată în lume este utilizată în scopuri de răcire, atât pentru depozitarea diferitelor tipuri de produse, cât și pentru crearea condițiilor confortabile în spațiile de locuit și de lucru. Nevoia de sisteme de aer condiționat cu putere suficientă devine cea mai acută în locurile cu un climat mai cald și, mai ales, vara, când activitatea solară este la maxim. Temperatura ambiantă ridicată înrăutățește condițiile de funcționare ale sistemelor de tip compresie, reduce semnificativ eficiența energetică și fiabilitatea acestora.

În aceste condiții, utilizarea diferitelor tipuri de unități frigorifice autonome, de exemplu, cum ar fi mașinile frigorifice cu absorbție, devine relevantă.

Unitățile frigorifice autonome cu absorbție au o serie de avantaje, cum ar fi simplitatea, costul redus, siguranța mediului, capacitatea de a utiliza diverse surse de origine artificială sau naturală ca sursă de căldură (pentru a alimenta generatorul).

Alegerea mașinilor frigorifice cu absorbție cu pompă de căldură încorporată și colectoare solare ca obiect de cercetare se datorează necesității de a rezolva o serie de probleme tehnice, economice și termofizice în dezvoltarea sistemelor de refrigerare și aer condiționat.

Următoarele sunt prezentate pentru protecție: 1. Soluții schematică ale complexului de mașini frigorifice cu absorbție cu o pompă de căldură încorporată și un colector solar și dovada calculată a eficienței energetice ridicate a acestora. 2. Rezultatele comparării substanțelor de lucru pentru pompele de căldură de înaltă temperatură în condiția unor încărcătoare de temperatură egală între purtătorii de căldură. 3. Soluția schematică și de proiectare a bancului de testare cu designul original al condensatorului cu suprafețe de lucru realizate folosind tehnologia de tăiere deformantă. 4. Rezultatele testelor de inginerie termică ale standului experimental pe agenții frigorifici R22 și RV R407c.

## BIBLIOGRAFIE

1. Патент на полезную модель «Аппарат для производства холода и охлаждения жидкостей» / Якоб Перкинс № 6662 от 1834г.
2. Patent «Manufacturing- ice»/ C. Twining US 10221 A, 8 -11- 1853.
3. Leslie, J. A Short Account of Experiments and Instruments, Depending of the Relations of the Air, Heat and Moisture/ John. Leslie- London, 1813.
4. Patent «Improvement in apparatus for freezing liquids»/ F. P. E Carre US 30201 A 02-10-1860.
5. Patent « Improvement in the manufacture of-ice»/ F. P. E Carre USRE5288 E 18-02-1873.
6. Patent « Refrigeration» / Einstein Albert, Szilard Leo, US1781541 A, 11-11-1930.
7. Einstein A., Szilard L. Refrigeration, US Patent №1.781.541. 1930.
8. Einstein A., Szilard L. Accompanying notes and remarks, US Patent № 1.781.541.1930.
9. Einstein A., Szilard L. Improvements Relating to Refrigerating Apparatus, UK Patent № 282.428. 1928.
10. Patent « Refrigeration» / Einstein Albert, Szilard Leo, US1781541 A, 11-11-1930.
11. Бараненко А. В., Тимофеевский Л. С., Долотов А. Г., Попов А. В. Абсорбционные преобразователи теплоты // СПб, 2005. - 337с.
12. Корольков А. Г., Попов А. В. Абсорбционные бромистолитиевые водоохлаждающие и водонагревательные трансформаторы теплоты // Проблемы энергосбережения. 2003. 1(14). С.13-17.
13. Волкова О. В. Повышение надежности абсорбционных бромистолитиевых преобразователей теплоты путем применения ингибиторов коррозии // Холодильная техника. 2001. №8.
14. Бараненко А. В., Попов А. В., Тимофеевский Л. С. 123 Энергосберегающие абсорбционные бромистолитиевые водоохлаждающие и водонагревательные преобразователи теплоты и инженерные системы // АВОК – северо-запад. 2001. №4.
15. Попов А. В. Абсорбционные бромистолитиевые машины для охлаждения и нагрева // Энергосбережение №7 2007. С. 52-55.
16. Кошкин Н. Н., Сакун И. А., Бамбушек Е. Н. Холодильные машины и установки // Издательство «Машиностроение», 1985.
17. Техничко- коммерческое предложение фирмы «Lessar», AXM LUC-HWAR-L.
18. Авторское свидетельство СССР №974067, кл. F 25 B 29/00, 1982.
19. Авторское свидетельство РФ №2304725, кл. F 25 B 11/00, 2006.
20. Авторское свидетельство РФ №2304725, кл. F 25 B 15/00, 2009.
21. Авторское свидетельство СССР №187278, кл. 36e, 7/01, 1966.
22. Авторское свидетельство СССР №334451, кл. F 25 B 15/02, 1972.
23. Авторское свидетельство СССР №890037, кл. F 25 B 15/06, 1981.

24. Авторское свидетельство СССР №1211540А, кл. F 25 В 15/06, 1976.
25. Мереуца Е. В., Сухих А. А. Основные системы теплоснабжения генератора абсорбционных холодильных машин, их преимущества и недостатки // Вестник современных исследований. 2017. №5-1(8). С.148-155.
26. Агабабов В. С., Сухих А. А., Кузнецов К. И., Рогова А. А., Коршикова А. А. Экспериментальные исследования режимов работы теплонасосной установки при совместной выработке теплоты и холода // Новое в российской электроэнергетике. 2012. №9. С. 26-38.
27. Антаненкова И. С., Сухих А. А. Методика сравнения термодинамической эффективности циклов холодильных и теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4. С.21-25.
28. Антаненкова И. С., Сухих А. А. Термодинамическая эффективность теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2013. № 1. С. 21-26.
29. Антаненкова И. С., Сухих А. А., Сычев В. В. Экспериментальное исследование энергетической эффективности теплонасосных установок на новых рабочих веществах // Холодильная техника. 2014. №10. С.44-48. №11. С.34-39.
30. REFPROP 9.0: Reference Fluid Thermodynamic and Transport properties: Copyright 2007 by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the USA.
31. Мереуца Е. В., Сухих А. А. Анализ энергетической эффективности включения теплонасосной установки и солнечных коллекторов в состав абсорбционных холодильных машин в системах централизованного кондиционирования // Вестник МАХ. 2017. №2. С.43-50.
32. Сухих А. А., Мереуца Е. В., Ветренко А.А. Анализ энергетической эффективности комплекса централизованного кондиционирования на основе абсорбционной холодильной машины, теплонасосной установки и солнечных коллекторов // Новое в Российской электроэнергетике. 2017. №6. С.6-15.
33. Селиверстов Ю. М., Ефремов В. В. Экономика систем кондиционирования воздуха с аккумулятором холода // «АВОК» №1. 2013. С.30-35.
34. Мереуца Е. В., Сухих А. А. Патент на изобретение: «Абсорбционная холодильная машина со встроенной теплонасосной установкой». №2625073 от 11.07.2017г.
35. Aivars C., Турлайс Д.П., Zeltinsh N. Recovery of the waste heat by large capacity heat pumps for Riga city district heating system. Modern science: researches, ideas, results, technologies, 2(13), 2013.
36. Kubo, Y. and Sakuma, S., High Temperature Heat Pump Research and Development // International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 30. 1986.

37. Xing-Qi Cao, Weiwei Yang, Fu Zhou, Ya-Ling He Performance analysis of different high-temperature heat pump systems for low-grade waste heat 125 recovery // *Applied Thermal Engineering* 71(1). 2014. p.291–300.
38. Султангузин И.А. Высокотемпературные тепловые насосы большой мощности для теплоснабжения / И.А. Султангузин, А.А. Потапова // Журнал "Новости теплоснабжения" №10 (122), 2010г.
39. Антаненкова И. С., Сухих А. А. Методика сравнения термодинамической эффективности циклов холодильных и теплонасосных установок // *Вестник Международной академии холода*. 2012.
40. Цветков О. Б. Холодильные агенты: монография. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2004.
41. Heat Pumps: Technology and Environmental Impact. Report of the Swedish Heat Pump Association - Member of the European Heat Pump Association EHPA. Part 1 and 2, July 2005.
42. Joaquín Navarro-Esbrí, Bernardo Peris Theoretical optimization of high temperature heat pumps (HTHP) using low GWP working fluids // Poster · May 2016.
43. Refrigerant report. Bitzer International. Germany.
44. Lisheng Pan, Huaixin Wang, Qingying Chen Theoretical and experimental study on several refrigerants of moderately high temperature heat pump // *Applied Thermal Engineering* 31 (11), 2011, pp.1886-1893.
45. Цветков О.Б. Теплофизические аспекты экологических проблем современной холодильной техники / О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев // *Химия и компьютерное моделирование. Материалы X Российской конференции по теплофизическим свойствам веществ: Бутлеровские сообщения. Приложение к спецвыпуску № 10. Теплофизические аспекты экологических проблем современной холодильной техники.* – Казань. – 2002. – с. 54-57.
46. Tsvetkov O.B., Baranenko A.V. Laptev YU.A., Sapozhnikov S.Z., Khovalyg D.M., Pjatakov G.L. Ozone layer-safe refrigerants. *Scientific Journal of St Petersburg State University of Low Temperature and Food Technologies: Refrigeration and Air Conditioning*, 3, 2014. pp. 98-111.
47. Arti refrigerant database. Primary and recently-added citations / 126 prepared by James M. Calm for the Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute. USA, 323p.
48. Трубаев П.А. Тепловые насосы: Учеб. пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 142 с.
49. Сухих А. А. Исследование термодинамических свойств и теплотехнических характеристик фторорганических рабочих веществ: автореф. дисс. докт. техн. наук. — М., 2012.



50. Антаненкова И. С. Расчетно-экспериментальное исследование термодинамической эффективности теплонасосных установок на новых рабочих веществах: автореф. дис... канд. техн. наук. — Москва, 2013.
51. Антаненкова И. С., Сухих А. А., Сычев В. В. Экспериментальное исследование энергетической эффективности теплонасосных установок на новых рабочих веществах // Холодильная техника. 2014. № 10. С. 44–49.
52. Антаненкова И. С., Сухих А. А., Сычев В. В. Экспериментальное исследование энергетической эффективности теплонасосных установок на новых рабочих веществах // Холодильная техника. 2014. № 11. С. 34–39.
53. Антаненкова И. С. Новые рабочие вещества для систем кондиционирования воздуха // Задачи системного анализа, управления и обработки информации. Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 5. — М.: МТИ, 2015. С. 10–16.
54. Ветренко А.А., Антаненкова И.С. Влияние концентрации фторорганических рабочих веществ на термодинамическую эффективность цикла теплонасосной установки // Прикладные исследования и технологии. Сборник трудов Второй международной конференции ART2015. – М.: МТИ, 2015. С.37-40.
55. Рукавишников А. М. Реквием по хладагенту R22 // Холодильная техника. 2012. № 6. С. 7–9.
56. Б.С. Бабакин, В.А. Выгодин. Бытовые холодильники и морозильники. Справочник. Москва «КОЛОС», с.422- 425, 1998 г.
57. Д. А. Лепаев. Справочник слесаря по ремонту бытовых 127 электроприборов и машин. - Изд. 4-е, испр. И доп.- М.: Легпромбытиздат, 1986. - 264 с.
58. Сухих А.А., Антаненкова И.С. Патент РФ на полезную модель №75879 «Теплонасосная установка». Приоритет полезной модели 16.04.2008.
59. Сухих А.А., Антаненкова И.С. Патент РФ на полезную модель № 78295 «Теплообменный аппарат». Приоритет полезной модели 26.06.2008.
60. Архаров А.М., Сычев В.В. Основы энтропийно- статического анализа реальных энергетических потерь в низкотемпературных и высокотемпературных машинах и установках //Холодильная техника. 2005.№12.
61. Архаров А.М., Сычев В.В. Еще раз к вопросу о реальных величинах энергетических потерь // Холодильная техника. 2006. №11.
62. Архаров А.М., Сычев В.В. И еще раз об энтропии и о задаче определения реальных (действительных) величин энергетических потерь вследствие необратимости // Холодильная техника. 2007. №4. 63. Архаров А.М., Сычев В.В. Ответ оппоненту // Холодильная техника. 2007. №7. 64. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. - М.: Энергия, 1973. 65. A.A. Sukhikh, I.S. Antanenкова, V.N. Kuznetsov, E.V. Mereutsa. Experimental

and numerical investigations of heat regeneration process efficiency in a heat pump with a mixture of refrigerants // *International Journal of Energy for a Clean Environment* 17(2-4), 209-222 (2016).

66. Мереуца Е.В., Сухих А.А. Патент на изобретение: «Абсорбционнодиффузионный холодильник, работающий от теплонасосной установки». №2659836 от 04.07.2018г