



Universitatea Tehnică a Moldovei

Proiectarea camerei de ardere pe carbune

Teză de master

Ingineria Produsului și a procesului în Construcții de Mașini

Student:

GUȚANU Daniel

Coordonator:

**MAZURU Sergiu,
prof. univ., dr. hab.**

Chișinău, 2026

Rezumat

Guțanu Daniel. Proiectarea camerei de ardere pe carbune. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricatiei; 2025. Teză de master: pag. 57, desene – 22, tabele – 10, relații – 51, surse bibliografice – 80.

În lucrarea dată este analizată problematica managementului schimbării. Sunt definite cauzele și factorii ce influențează necesitatea schimbării. Printre ele sunt menționate Revoluțiile Industriale și succesele tehnologice. Obiectivismul schimbării nu exclude necesitatea managementului schimbării, din contra, managementul schimbării este o cale eficientă de răspuns adecvat la necesitatea schimbării prin utilizarea diferitelor modele de management și procese bine structurate. Se arată că succesele în tehnologiile comunicative și informaționale fac diferitele domenii cum sunt producția și serviciile, în special de transport, asemănătoare în procesele schimbării și managementului schimbării.

Cuvinte-cheie: cameră de ardere, cărbune pulverizat, cazan, Amestec carburant, combinația de combustibil schimbătorului de căldură.

Summary

Guțanu Daniel. Design of a coal-fired combustion chamber. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical, Industrial and Transport Engineering; Department of Manufacturing Engineering; 2025. Master's thesis: 57 pages, 22 figures, 10 tables, 51 equations, 80 bibliographic sources.

In this paper, the issue of change management is analyzed. The causes and factors influencing the need for change are defined, among which the industrial revolutions and technological advances are mentioned. The objectivity of change does not exclude the need for change management; on the contrary, change management is an effective way to respond appropriately to the need for change through the use of various management models and well-structured processes. It is shown that advances in communication and information technologies make different fields, such as production and services—especially transportation—similar in terms of change processes and change management.

Keywords: combustion chamber, pulverized coal, boiler, fuel mixture, fuel combination heat exchanger.

CUPRINS

INTRODUCERE.....	9
1. INTRODUCERE ÎN TEMA DE STUDIU	11
1.1. Contextul temei de studiu.....	11
1.2. Scopul temei analizate.....	12
1.3. Analiza problemei studiate.....	13
2. BAZELE TEORETICE ALE CAMERELOR DE ARDERE PE CĂRBUNE	15
2.1. Bazele procesului de combustie a cărbunelui	15
2.2. Procesele de pregătire a cărbunelui și de alimentare a camerei	16
2.3. Tipuri de camere de ardere și dispunerea acestora.....	18
2.4. Componentele principale ale sistemului de tip boiler	21
2.5. Avantajele și dezavantajele sistemelor de tip boiler pe cărbune pulverizat	23
2.6. Considerări ecologice și de mediu	24
3. DATE INIȚIALE ȘI PARAMETRI DE INTRARE.....	26
3.1. Proprietățile energetice a cărbunelui	26
3.2. Puterea de ieșire a cazanului (debit de abur, presiune, temperatura)	28
3.3. Constrângeri de proiectare și condiții limită	28
3.4. Selectarea parametrilor operaționali	29
3.5. Calcule preliminare	30
3.5.1. Amestec carburant (aer stohimetric și aer în exces)	30
3.5.2. Transferul de căldură. Balanța termică	31
3.5.3. Eficiența estimată a cazanului	31
3.5.4. Rata de consum a carburantului (cărbune pulverizat).....	32
4. ETAPA DE PROTOTIPARE ȘI PROIECTARE PRELIMINARĂ.....	33
4.1. Conceptul de proiectare a camerei de ardere. Geometria camerei de ardere.	33
4.2. Configurația arzătoarelor. Admisia și distribuția aerului	34
4.3. Suprafețele și camerele schimbătorului de căldură	38
4.3.1. Superîncălzitorul	38

4.3.2. Reîncălzitor	39
4.3.3. Economizor	40
4.3.4. Preîncălzitorul aerului admis	40
4.4. Diagrama de flux (combustibil, aer, abur, gaz de ardere, apă).....	41
4.5. Considerații privind siguranța și controlul cazanului.....	42
4.6. Performanța preconizată a proiectului prototip	43
4.7. Rentabilitatea proiectului. Considerații ecologice.	44
5. ANALIZA PROTOTIPULUI ÎN COMPARAȚIE CU PROIECTE EXISTENTE..	47
5.1. Evaluare rezultatelor	47
5.2. Comparație cu proiecte existente	48
5.3. Limitări tehnice, economice și ecologice	49
5.4. Sensibilitatea parametrilor cheie	50
CONCLUZII	51
BIBLIOGRAFIE	54

INTRODUCERE

Industria energetică pe bază de cărbune continuă deține un rol important în generarea și furnizarea de energie electrică stabilă și accesibilă. În special, în zonele din apropierea zăcămintelor abundente și în zonele în care securitatea energetică este prioritară. Conform statisticii anului 2024 din totalul de 30 850 000 000 MWh centralelor pe cărbune le revin aproximativ 34,4%, sau echivalentul a 10 587 000 000 MWh. Dintre tehnologiile destinate arderii cărbunelui, cazanale cu cărbune pulverizat rămân soluția predominantă pentru generarea de abur de mare capacitate, datorită capacității sale de a realiza o ardere rapidă a combustibilului, rate ridicate de eliberarea a căldurii din camera de ardere și compatibilitatea cu cilurile de abur supercritice și ultrasupercritice. Deși au aceeași putere calorică egală cu 24-30 MJ/kg cărbunele pulverizat are un randament mult mai ridicat. Eficiența combustiei are valori între 92-95% pe când pentru cărbunele simplu aceste valori ating un maxim de 80%. Indiferent de normelor economice stricte și reglementărilor din ultimii ani, cazanul pe bază de cărbune pulverizat rămâne relevant din punct de vedere tehnic datorită dezvoltării continue în aerodinamica combustiei, optimizarea arzătoarelor, sistemelor de aer etapizate și îmbunătățirea camelor de schimb de căldură, menite să reducă emisiile și să îmbunătățească eficiența termică.

Drept combustibil pentru cazanele de tip PC (pulverized coal) se utilizează cărbune sub formă de suspensie. Cărbunele brut este uscat și măcinat într-o pulbere foarte fină cu dimensiunea particulelor sub 200 μm și transportat spre camera de ardere sub formă de amestec carburant împreună cu aerul preîncălzit. Aceste particule, datorită dimensiunilor foarte mici, se încălzesc rapid, eliberând substanțe volatile. Amestecul fin de combustibil și aer intră în camera de ardere (cuptor) prin arzătoare dispuse în configurații diverse. Arderea are loc la temperaturi cuprinse între 1 350 - 1 700 $^{\circ}\text{C}$ (temperatura de ardere a cărbunelui simplu < 900 $^{\circ}\text{C}$) în mai puțin de 3 secunde, în dependență de tipul de cărbune și de aerodinamica arzătorului. Căldura radiantă din flacără este absorbită în principal de pereții răciți cu apă din camera de ardere. Transferul de căldură convectiv domină în supraîncălzitor, reîncălzitor, economizor și preîncălzitor de aer situate mai în aval. Un cazan trebuie să susțină o geometrie stabilă a flăcării, o distribuție uniformă a fluxului de căldură, un comportament controlat al gazelor de evacuare, și cel mai important ca aburul produs să își îndeplinească cerințele de presiune și temperatură ale ciclului de putere.

Proiectarea unui cazan de tip PC este o sarcină destul de complicată. Un număr foarte mare de parametri cheie interacționează între ei, des în moduri care nu sunt evidente la prima vedere. Tipul de cărbune utilizat afectează arderea, temperatura de ieșire, cantitatea de aer necesară pentru ardere timpul de ardere completă și aerodinamica arzătorului. Produsul de ardere, cenușa la fel, are un rol important deoarece influențează tendințele de formare a zgurei, depunerile pe pereții camerei de ardere și pe suprafețele convective care influențează direct eficiența cazanului. În același timp gradul cărbunelui

pulverizat determină energia necesă pentru aprinderea acestuia, dar și timpul de ardere și produsul de ardere.

Scopul principal al acestei lucrări este de a dezvolta un proiect de tip prototip preliminar al unui cazan de tip PC, dar în mare parte al camerei de ardere al acestui cazan. Ulterior se va justifica fiecare decizie luată din punct de vedere tehnic, economic dar și ecologic. Obiectivul este de a crea o metodologie inginerescă structurată care să integreze caracterizarea combustibilului, calcule termice și proiectare conceptuală a cuptorului. Teza își propune să enumere secvența de pași urmați de autor pentru dimensionarea preliminară a camerei de ardere și a cazanului, inclusiv determinarea cerințelor stoechiometrice și de exces de aer, volumele teoretice și reale ale gazelor de ardere, estimările temperaturii de ardere, construirea bilanțului termic și evaluarea eficienței cazanului utilizând corelații industriale standardizate. Metodologia se extinde și la stabilirea dimensiunilor camerei de ardere pe baza constrângerilor de eliberare a căldurii, estimarea suprafețelor de schimb de căldură și definirea dispunerii inițiale a supraîncălzitorului, reîncălzitorului, economizorului și preîncălzitorului de aer.

Problema principală analizată în această teză este modul de prototipare a proiectului care va respecta cerințele de eficiență termică, funcționare stabilă și compatibilitatea cu cărbunele selectat. În practică cazanele se confruntă cu multe probleme menționate în cadrul acestei lucrări. Unele dintre aceste probleme sunt: flăcări instabile, formarea excesivă a noxelor, acumulări de zgură și temperaturi neuniforme în volumul de schimb de căldură.

Structura tezei reflectă metodologia de prototipare pas cu pas:

- Capitolul 1 – Analizează tema abordată și dezvoltă contextul prototipării enumerând cauzele și ideile care au stat la baza acestei lucrări.
- Capitolul 2 – Menționează principiile de bază ale arderii cărbunelui și funcțiile principale ale cazanului.
- Capitolul 3 – Prezintă datele de intrare: cărbunele selectat, proprietățile aburului și alte constrângeri de proiectare.
- Capitolul 4 – Conține partea centrală a lucrării – proiectarea conceptuală a cazanului: dimensionarea camerei de ardere, poziționarea arzătoarelor, estimarea suprafețelor necesare pentru schimbul de căldură și propune dispunerea generală a componentelor principale
- Capitolul 5 – Evaluează rezultatele, discută așteptările în materie de performanță și compară proiectul cu altele existente deja funcționale.

Deși produsul final este doar un proiect preliminar, obiectivul este de a demonstra un flux de lucru ingineresc realist pentru dezvoltarea de la 0. Teza își propune să arate cât de complexă și interconectată poate fi ingineria cazanelor, chiar și la nivel conceptual.

BIBLIOGRAFIE

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section I – Rules for Construction of Power Boilers.
2. EN 12952 – Water-tube Boilers and Auxiliary Installations.
3. ISO 540:2008 – Hard coal and coke — Determination of ash fusibility.
4. ISO 1928:2020 – Solid mineral fuels — Determination of gross calorific value (bomb calorimeter method).
5. https://en.wikipedia.org/wiki/electricity_generation
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/charcoal>
7. <https://www.iea.org/world/energy-mix>
8. „Efficiency of a Coal Fired Boiler in a Typical Thermal Power Plant” - American Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 03th, January 2017
9. <https://coalbiomassboiler.com/power-plant-boiler-efficiency/>
10. <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v217y2021ics0360544220325469.html>
11. <https://coalbiomassboiler.com/environmental-emission-regulations-industrial-power-plant-boiler/>
12. <https://www.iea.org/reports/coal-2023>
13. <https://www.istockphoto.com/vector/a-pulverized-coal-fired-boiler-gm666907580-121766057>
14. https://www.researchgate.net/figure/combustion-processes-of-a-coal-particle-6_fig3_237542693
15. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1378/3/032070/pdf>
16. <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128243275000053>
17. “The Coal Handbook (Second Edition)” - Lindsay Juniper, Glenn Schumacher
18. https://en.wikipedia.org/wiki/pulverized_coal-fired_boiler
19. <https://www.coalhandlingplants.com/bowl-mill-coal-pulverizer/>
20. Basu, P. (2015). *Combustion and Gasification in Fluidized Beds* (2nd ed.). CRC Press.
21. *Steam: Its Generation and Use* (42nd ed.). (2015). The Babcock & Wilcox Company.
→ Authoritative reference on PC boiler design, heat transfer surfaces, furnace sizing, emission controls.
22. Miller, B. G. (2016). *Clean Coal Engineering Technology* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
23. Raask, E. (1985). *Mineral Impurities in Coal Combustion: Behavior, Problems, and Remedial Measures*. Hemisphere Publishing.
24. Boyce, M. P. (2011). *Power Plant Engineering*. Gulf Publishing.
25. Speight, J. G. (2020). *The Chemistry and Technology of Coal* (4th ed.). CRC Press.

26. Volodymyr KUKHAR, Elena BALALAYEVA, Hlib KHLIESTOV, Olha KHLIESTOVA. Analysis of technological regimes of open-die forging with model development for digital systems of metallurgical production. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, Vol. 88, Iss. 2, 2026. Pp. 227-240. ISSN 1454-2358.
27. Volodymyr V. Kukhar, Khrystyna V. Malii, Natalia S. Hrudkina and Eleonora O. Butenko. Identification of Early Degradation Mechanisms in Zinc Coating on Cold-Formed Steel Sections Through Analysis of the Production–Storage Chain. *The International Conference on Advanced Mechanical and Power Engineering (CAMPE 2025)*, October 20–21, 2025, Kharkiv, Ukraine. pp. 179-189. ISSN 2195-4364. <https://doi.org/10.1007/978-3-032-16381-3>.
28. Volodymyr Kukhar, Andrii Kostryzhev, Oleksandr Dykha, Oleg Makovkin, Ihor Kuziev, Roman Vakulenko, Viktoriia Kulynych, Khrystyna Malii, Eleonora Butenko, Natalia Hrudkina, Oleksandr Shapoval, and Oleksandr Hrushko. Technological and Chemical Drivers of Zinc Coating Degradation in DX51d+Z140 Cold-Formed Steel Sections. *Journals Metals*, Volume 16, issue 2, 37 p., 2026. <https://doi.org/10.3390/met16020146>.
29. Mihail BÎCIOC, Sergiu MAZURU. Practical aspects regarding optimization of three axis CNC machining. *Materials Research Proceedings*. Volume 61. Pages 58-66. <https://doi.org/10.21741/9781644903995-8>.
30. Valeriu Dulgheru, Radu Ciobanu, Oleg Ciobanu, Iulian Malcoci, Sergiu Mazuru, Nicolae Trifan, Dumitru Vengher. Planetary Precessional Transmission: Geometry and Contact Bearing Capacity. *Jurnal Countering Hybrid Threats Against Critical Infrastructures*. 2025.
31. Ion Bostan, Viorel Bostan, Maxim Vaculenco, Ion Bodnariuc, Sergiu Mazuru, Valeriu Dulgheru, Radu Ciobanu, Oleg Ciobanu, Iulian Malcoci, Nicolae Trifan, Dumitru Vengher, Alina Bregnova. Planetary precessional transmission: geometry and contact bearing capacity, kinematics and profile generation. Book *The International Conference on Strategic Innovative Marketing and Tourism*. Springer Netherlands. Pp. 275-355.. 2024.
32. Mazuru Sergiu. *Metode și procedee de fabricare aditivă*. Editura Tehnica-UTM, ISBN: 978-9975-45-741-5, 2021, 144 p.
33. BOSTAN Viorel, BOSTAN Ion, MAZURU Sergiu, VACULENCO Maxim, LEALIN Stanislav, BREGNOVA Alina. Precessional planetary transmissions. Brevet de invenție B.I. 4910. BOPI nr. 12/2024.
34. BOSTAN Viorel, BOSTAN Ion, MAZURU Sergiu, VACULENCO Maxim. Precessional planetary transmissions. Brevet de invenție B.I. 4911. BOPI nr. 12/2024.
35. Musser, J., & Wendt, J. O. L. (2014). "Mechanisms of SO₃ Formation in Coal-Fired Boilers." *Energy & Fuels*, 28(3), 1983–1993.

36. Niksa, S. (2017). "NO_x, SO_x, and Mercury Emissions from Coal-Fired Boilers." *Energy & Fuels*, 31(5), 5109–5120.
37. Wall, T. F. (1990). *Combustion of Pulverised Coal: Modeling, Characterisation, and Practical Applications*. CRC Press.
38. Raask, E. (1985). *Ash Fouling of Boilers*. Hemisphere Publishing.
39. Srinivasachar, S., Helble, J. J., & Boni, A. A. (1990). "Ash Formation and Deposition." *Progress in Energy and Combustion Science*, 16(4), 293–312.
40. Vassilev, S. V., et al. (2010). "An Overview of the Chemical Composition of Coal Ash." *Fuel*, 89(5), 913–933.
41. Babu, S. (2013). "CO and Unburned Carbon Formation in Utility Boilers." *Fuel Processing Technology*, 110, 59–67.
42. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
43. U.S. Energy Information Administration (EIA). (2022). *CO₂ Emission Factors for Coal*.
44. Spath, P. L., & Mann, M. K. (2000). *Life Cycle Assessment of Coal-Fired Power Production*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
45. ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC). (2023). Section I – Rules for Construction of Power Boilers. American Society of Mechanical Engineers.
46. European Standard EN 12952 (Water-Tube Boilers and Auxiliary Installations).
47. International Energy Agency (IEA). (2020). *Operating Experience with Advanced Ultra-Supercritical Coal-Fired Boilers*.
48. Babcock & Wilcox. (2018). *Low-NO_x Burner and Advanced Boiler Design Manuals* (Technical papers).
49. Yin, C., Rosendahl, L., & Kær, S. K. (2008). "CFD Modelling of a Tangentially Fired Pulverized Coal Boiler." *Energy & Fuels*, 22(1), 138–148.
50. Cai, R., et al. (2017). "Impact of Burner Arrangement on Combustion and NO_x Emissions in a Utility Boiler." *Fuel*, 193, 176–186.
51. Bulatov, M. M., & Golubev, V. G. (2013). *Boiler Furnaces: Heat Transfer, Burner Systems, Combustion Engineering*. Springer.
52. Austin, L. G., Luckie, P. T., & Klimpel, R. R. (1984). *Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling*. SME.
53. Rees, N. W., & Fan, L.-S. (2020). *Pneumatic Conveying of Solids* (3rd ed.). Springer.
54. Fuerstenau, D. W., & Han, K. N. (2003). *Principles of Mineral Processing*. SME. (Includes grinding, pulverization).
55. Nag, P. K. (2014). *Power Plant Engineering* (4th ed.). McGraw-Hill.
56. El-Wakil, M. M. (2011). *Power Plant Technology*. McGraw-Hill.

57. Kumar, S., & Singh, R. (2013). "Overview of Power Generation from Pulverized Coal." *International Journal of Energy Research*, 37(4), 432–455.
58. Basu, P., Cen, K., & Jestin, L. (2013). *Boilers and Burners: Design and Theory*. Springer.
59. Ghosh, D. N. (2021). *Power Plant Engineering*. McGraw-Hill.
60. Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th ed.). McGraw-Hill.
61. Boyce, M. P. (2012). *Power Plant Modeling and Optimization*. CRC Press.
62. Miller, B. (2016). *Advanced Pulverized Coal Combustion*. Elsevier.
63. Kitto, J. B., & Stultz, S. C. (2018). "Steam/Water Circulation Design in Modern Boilers." *Babcock & Wilcox Technical Paper Series*.
64. Kawasaki Heavy Industries – "Kushiro Coal-Fired Boiler Design Data Sheet." Technical Documentation, 2022.
65. Nolan, P. (2017). "Optimization of Pulverized Coal Boilers Using Operational Data." *Energy Conversion and Management*, 144, pp. 130–142.
66. Basu, P. (2013). *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Academic Press.
67. Babcock & Wilcox. (2018). *Steam: Its Generation and Use*. 42nd Edition.
68. Miller, B. G. (2016). *Clean Coal Engineering Technology*. Elsevier.
69. Raask, E. (1985). *Mineral Impurities in Coal Combustion*. Hemisphere Publishing.
70. Coifu, Iu., Nițulenco, T., Bolunduț, I.-L., Toca, A. *Studiul și Ingineria Materialelor (materiale nemetalice)*. Sticla. Chisinau, Editura UTM, 2014, 256 pag. ISBN 978-9975-45-301-1.
<http://repository.utm.md/handle/5014/23651>
71. Coifu, Iu., Nițulenco, T., Bolunduț, I.-L., Toca, A. *Studiul și Ingineria Materialelor (materiale metalice)*. Chișinău U.T.M., 2012. -467 p. ISBN 978-9975-45-261-8.
<http://repository.utm.md/handle/5014/15857>
72. Coifu, Iu., Nițulenco, T., Bolunduț, I.-L., Toca, A. *Simbolizarea materialelor metalice în sistemele de standarde GOST (Rusia), STAS (România) și EN (Uniunea Europeană)*. Editura TEHNICA UTM, Chișinău, 2013. - 256 p. ISBN 978-9975-45-261-8.
<http://repository.utm.md/handle/5014/15775>
73. Toca, A., Nițulenco T., Ciuperca R. *Analiza sistemică și funcțională*. Chișinău U.T.M., 2022. - 280 p. ISBN 978-9975-45-767-5. <http://repository.utm.md/handle/5014/19384>
74. Slatineanu, L., Coteata, M., Dodun, O., Toca, A. Ideas diagram in creative design. *In proceedings of the First International Conference on Axiomatic Design (ICAD 2009)*. At: Campus de Caparica – Portugal, , pp. 79 – 84. ISBN 978-989-20-1535-4

75. JAVGUREANU, Vasile, GORDELENCO, Pavel. Some elastoplastically deformation and failure composite iron - nickel coatings. In: Meridian Ingineresc. 2013, nr. 4, pp. 78-81. ISSN 1683-853X. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/29743
76. JAVGUREANU, Vasile, GORDELENCO, Pavel. Study of physical and mechanical properties of iron-nickel composite coatings macro indentation. In: Meridian Ingineresc. 2013, nr. 4, pp. 41-45. ISSN 1683-853X. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/29745
77. EN 12952-1 (2015). Water-tube boilers and auxiliary installations.
78. ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section I (2021).
79. ISO 9931:1991. Coal sampling for pulverized fuel.
80. <https://www.octalsteel.com/resources/astm-a213-tubing/>