



Universitatea Tehnică a Moldovei

OPTIMIZAREA METODELOR DE CURĂȚARE USCATĂ A AERULUI INDUSTRIAL PRIN CREȘTEREA EFICIENȚEI SEPARĂRII PARTICULELOR FINE

Student:

Ciubuc Igor

Conducător:

**Begleț Natalia
conf. univ. dr.**

Consultant:

**Colomieț Tatiana
asist. univ.**

Chișinău, 2026

Rezumat

Ciubuc Igor. Optimizarea metodelor de curățare uscată a aerului industrial prin creșterea eficienței separării particulelor fine.

Teza pentru obținerea titlului de master în inginerie, Chișinău 2026.

Teza include: rezumat în două limbi, introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, 27 surse bibliografice, 68 de pagini text de bază, 28 figuri, 1 diagrame și 5 tabele.

Cuvinte-cheie: poluarea aerului, praf, filtrare, eficacitatea, ciclon, filtru cu saci, eficiența instalației, randament, principiu de funcționare, pagubă economică, întreprinderea industrială, parametrii de bază.

Domeniul de studiu: Tema: Cercetarea metodelor de curățare uscată a aerului la întreprinderi industriale. Teza de master abordează un subiect de o certă importanță și actualitate, care pe deplin se înscrie în contextul obiectivelor prioritare a conceptului dezvoltării durabile implementat la nivel mondial și național, și anume acela de prevenire și combatere a poluării mediului interior, exigențe necesare pentru asigurarea condițiilor de lucru la întreprinderi industriale, crearea condițiilor necesare pentru procesul tehnologic.

Teza de master include introducerea, patru capitole intercorelate și concepute astfel încât să prezinte într - o manieră unitară stadiul actual al problemei studiate, conceptul instalațiilor propuse de curățare, aspectele fizice și teoretice a mecanismului procedului mecanic de depoluare, rezultatele investigațiilor experimentale și teoretice obținute cu ajutorul dispozitivelor propuse de depoluare la aplicarea în acest scop de randamentul înalt. În introducere se argumentează actualitatea lucrării, motivația și metodologia cercetării, este identificat scopul și obiectivele lucrării, justificată noutatea științifică a subiectului abordat precum și valoarea aplicativă și practică a acestuia. În primul capitol se descriu potențialii poluanți din interiorul clădirilor industriale, caracteristicile fizico-chimice și concentrațiile maxime admisibile, impactul lor asupra organismului uman și procesul tehnologic. În baza unui studiu bibliografic aprofundat s-au identificat principalele procedee clasice de depoluare și instalațiile pentru realizare lor. Ca subiect aparte se evidențiază tehnologiile moderne de purificare a aerului și performanțele care pot fi atinse la aplicare lor. Capitolul se finalizează cu descrierea particularităților și aspectului fizic al procedeelor mecanice de purificare. Capitolul doi include problemele asociate cu calculul, alegerea și analiza comparativă a metodelor de calcul fin utilizate în mod obișnuit pentru instalația de măcinare cu flux constant de aer, prezintă constatările și recomandările pentru îmbunătățirea situației ecologice din Moldova. Într-o analiză comparativă au fost luate în considerare caracteristicile tehnice ale filtrelor,

echipamentul și întreținerea acestora. Capitolul trei a inclus calcule economice și analiză comparativă a tipurilor de filtre utilizate în mod obișnuit în industria alimentară: ciclon, filtru cu saci și filtru ciclonic. Calculele au fost efectuate pentru o companie de măcinare cu un flux de aer constant. O analiză a luat în considerare caracteristicile ecologice ale filtrelor investigate, precum și efectul lor asupra mediului și asupra persoanelor care lucrează la acea întreprindere. Capitolul patru prezintă rezultatele calculelor zonelor de umbră (de siaj) cauzate de vânt pentru clădirile industriale atunci când sursa de poluare cauzată de ciclon este situată în incinta fabricii și prezintă concluziile corespunzătoare în ceea ce privește protecția bazinului atmosferic. Teza se finalizează cu concluziile și recomandările intervenite ca rezultat al cercetărilor teoretice și calculelor efectuate.

Abstract

Ciubuc Igor. Optimization of industrial dry air cleaning methods by increasing fine particle separation efficiency.

Thesis for the degree of Master of Engineering, Chisinau 2026.

Thesis includes: abstract in two languages, introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, 27 bibliographic sources, 68 pages of basic text, 28 figures, 1 diagram and 5 tables.

Keywords: air pollution, dust, filtration, effectiveness, cyclone, bag filter, plant efficiency, efficiency, operating principle, economic damage, industrial enterprise, basic parameters.

Field of study: Topic: Research on dry air cleaning methods at industrial enterprises. The master's thesis addresses a subject of certain importance and topicality, which fully falls within the context of the priority objectives of the sustainable development concept implemented at the global and national level, namely that of preventing and combating indoor environmental pollution, necessary requirements for ensuring working conditions at industrial enterprises, creating the necessary conditions for the technological process. The master's thesis includes an introduction, four interrelated chapters designed to present in a unified manner the current state of the problem under study, the concept of the proposed cleaning installations, the physical and theoretical aspects of the mechanism of the mechanical decontamination process, the results of experimental and theoretical investigations obtained with the help of the proposed decontamination devices when applied for this purpose with high efficiency.

The introduction argues the topicality of the work, the motivation and methodology of the research, identifies the purpose and objectives of the work, justifies the scientific novelty of the subject addressed as well as its applicative and practical value. The first chapter describes the potential pollutants inside industrial buildings, their physicochemical characteristics and maximum permissible concentrations, their impact on the human body and the technological process. Based on an in-depth bibliographic study, the main classical decontamination processes and installations for their implementation were identified. As a separate topic, modern air purification technologies and the performances that can be achieved when applying them are highlighted. The chapter concludes with a description of the peculiarities and physical appearance of mechanical purification processes. The second chapter includes the problems associated with the calculation, selection and comparative analysis of commonly used fine calculation methods for grinding installations with constant air flow,

presents the findings and recommendations for improving the ecological situation in Moldova. In a comparative analysis, the technical characteristics of the filters, their equipment and maintenance were taken into account. The third chapter included economic calculations and comparative analysis of the types of filters commonly used in the food industry: cyclone, bag filter and cyclonic filter. The calculations were carried out for a grinding company with a constant air flow. An analysis took into account the ecological characteristics of the investigated filters, as well as their effect on the environment and on the people working at that enterprise. Chapter four presents the results of calculations of the shadow (wake) areas caused by the wind for industrial buildings when the source of pollution caused by the cyclone is located within the factory premises and presents the corresponding conclusions regarding the protection of the atmospheric basin.

The thesis is concluded with the conclusions and recommendations arising as a result of the theoretical research and calculations performed.

CUPRINS

Rezumat.....	7
Introducere.....	11
1. Studiul actual, formularea problemei de cercetare.....	14
1.1 Poluanții din interiorul clădirilor industriale, impactul lor asupra organismului uman.....	14
1.2. Procedee clasice de curățare a aerului poluat.....	21
1.2.1 Utilaje pentru separarea particulelor solide prin sedimentare.....	21
1.2.2. Camere de desprăfuire.....	21
1.2.3 Utilaje de separare prin impact.....	22
1.2.4. Utilaje de separare prin centrifugare.....	24
1.2.5 Cicloane.....	24
1.2.6 Multicicloane.....	26
1.3 Concluzii.....	29
2. Determinarea metodelor de curățare a emisiilor evacuate în atmosferă.....	30
2.1 Instalații de desprăfuire a gazelor de ardere.....	30
2.2 Alegerea și calculul bateriilor de cicloane.....	32
2.3 Utilaje pentru separarea particulelor solide prin procedeul umed.....	35
2.3.1 Ciclon cu pelicula de apă.....	35
2.3.2 Ciclon cu duze centrale de umezire.....	36
2.3.3 Epurarea cu tub Venturi.....	37
2.3.3.1 Variante constructive ale tuburilor Venturi.....	38
2.3.4 Separatoare cu jet.....	39
2.3.5 Hidrociclonul.....	40
2.3.6 Desprăfuitorul cu pulverizatoare rotative.....	41
2.4 Alegerea și calculul filtrelor cu saci.....	42
2.4.1 Utilaje pentru separarea particulelor solide prin filtrare.....	42
2.4.2 Avantajele cheie ale sistemelor de filtrare cu saci.....	44
2.4.3 Criterii de selecție și considerații.....	45
2.4.4 Filtre cu saci. Construcții.....	46
2.5 Scrubere.....	51

2.5.1 Concluzii.....	52
3. Analiza comparativă filtrelor cu saci și cicloanelor.....	54
3.1 Calculul comparativ a filtrelor cu saci și cicloanelor pentru întreprinderea industrială.....	57
3.2. Îmbunătățirea legislației pentru calculul amenzilor pentru poluarea aerului din surse staționare în Republica Moldova.....	60
3.3 Concluzii.....	62
4. Studierea influenței locului de montare a sursei de poluare în relație cu zonele de siaj asupra dispersiei emisiilor nocive în atmosferă.....	63
4.1 Concluzii.....	65
Concluzii și recomandări generale.....	66
BIBLIOGRAFIE.....	67
Anexe.....	69
Anexa1.....	69

Introducere

Actualitatea temei. În condițiile societății de astăzi protecția mediului înconjurător constituie o condiție fundamentală a dezvoltării durabile, un obiectiv prioritar de interes național. Protecția mediului are drept scop păstrarea echilibrului ecologic, menținerea și ameliorarea factorilor naturali, prevenirea și combaterea poluării, dezvoltarea valorilor naturale, asigurarea condițiilor de viață și de muncă tot mai bune pentru generațiile prezente și viitoare și se referă la totalitatea acțiunilor, mijloacelor și măsurilor întreprinse în acest scop.

Obiectivele prevenirii și combaterii poluării precum și de asigurare a condițiilor de viață și de muncă tot mai bune, pot fi soluționate adecvat prin studierea exigentă a factorilor care le condiționează, analiza performanțelor atinse prin aplicarea metodelor și mijloacelor existente de depoluare, extinderea cercetărilor în acest domeniu.

O importanță deosebită în acest context revine problemei separării din aerul ventilat a impurităților mecanice.

Importanța separării din aer a acestor impurități și în deosebi a prafului este cauzată de faptul, că particulele de praf servesc ca potențiale centre de concentrare a microbilor, microorganismelor, virusurilor, ciupercilor, devenind astfel un transportor și promotor principal al diferitelor boli. Praful este de asemenea și un bun purtător al mirosurilor nocive și neplăcute atât în încăperi industriale cât și în mediul înconjurător, dat fiind că el migrează ușor sub acțiunea mișcării aerului ventilat din interior și a vântului extinzându-se la distanțe mari. Praful exercită o acțiune distrugătoare și asupra obiectelor înconjurătoare degradându-le generând în unele cazuri pierderii materiale esențiale.

S-a constatat că cel mai mare pericol pentru organismele vii îl prezintă praful cu o granulare de $0,2 \div 5 \mu\text{m}$ precum și microorganismele care ușor pot fi asimilate de organele respiratorii, provocând îmbolnăvirea lor. În condițiile majorării permanente a prețurilor la energie devine evidentă tendința actuală a consumatorilor de a-și reduce consumul de energie prin aplicarea diverselor soluții de reabilitare termică a clădirilor, în particular prin izolarea termică a locuințelor, etanșarea cât mai perfectă a ferestrelor. Însă trebuie de conștientizat, că eforturile depuse în acest sens conduc simultan nu numai la obținerea unor performanțe energetice dorite, dar și la un grad ridicat de etanșare a clădirilor față de mediul înconjurător. Acest lucru, datorită absenței introducerii de aer proaspăt, conduce la rândul său la sporirea acumulării în interior a mirosurilor neplăcute, umidității și

substanțelor nocive, factori care creează condiții favorabile pentru dezvoltarea unor serii de substanțelor nocive, ciuperci și acarieni, surse potențiale de îmbolnăvire și necorespondere de parametri de bază pentru efectuarea procesului tehnologic.

Poluarea atmosferică se datorează aproape în exclusivitate produșilor diverselor procese de combustie. Se apreciază că în prezent, 90% din substanțele poluante din aer provin din arderea combustibililor fosili. Din această cauză, înțelegerea mecanismelor de formare a substanțelor poluante constituie primul pas în elaborarea strategiilor de reducere și control ale acestora. Principalii poluanți produși prin ardere sunt oxizii de azot (NO), oxizii de sulf SO₂, produși ai arderii incomplete (CO) și particule solide în suspensie (funinginea). În principal, oxizii de azot sunt responsabili de smogul fotochimic, oxizii de sulf produc ploaia acidă, iar funinginea produce aerosoli care reduc transparența aerului. Principalele efecte produse de poluarea atmosferică rezultată din procesele de ardere sunt încălzirea globală, ploaia acidă, efectele asupra sănătății, reducerea vizibilității.

În această ordine de idei problema căutării soluțiilor adecvate de curățare a aerului interior în condițiile unor spații industriale cu grad ridicat de etanșare devine, în condițiile creșterii permanente a cerințelor față de confortul ambiental pentru viitor, o problemă nu numai că actuală dar și de o importanță vitală.

Scopul lucrării: Identificarea, cercetarea și elaborarea soluțiilor de eficientizare a procedeelor de curățare a aerului din clădiri industriale, prin valorificarea tehnologiilor moderne de depoluare. Elaborarea recomandărilor pentru proiectarea dispozitivelor de separare a prafului din aerul încăperilor cu destinație tehnologică, bazate pe aplicarea metodelor mecanice gravitaționale și centrifugale.

Scopul propus a fost atins prin soluționarea următoarelor **obiective:**

- efectuarea studiului bibliografic privind metode de curățare a aerului;
- stabilirea condițiilor de realizare a procedeelor de purificare la aplicarea metodelor mecanice în instalațiile de purificare bazate pe utilizarea forțelor gravitaționale și centrifugale;
- analiza comparativă a ciclonului, filtrului cu saci și filtrului-ciclonului;
- analiza comparativă a calculului economic pentru Republica Moldova și alte țări;
- analiza situațiilor la montarea cicloanelor reieșind din zona de siaj și direcția vântului;
- elaborarea recomandărilor pentru folosirea dispozitivelor de separare a prafului bazate pe aplicarea mecanice gravitaționale și centrifugale.

Motivația și metodologia cercetării. Cea mai mare parte a timpului, aproximativ 90%, omul îl petrece la interior, din aceste considerente căutarea soluțiilor adecvate de curățare a aerului interior, în deosebi pentru spații cu grad ridicat de etanșare, impune exigențe serioase în ceea ce privește extinderea activităților de cercetare și implementare a procedeeelor și mijloacelor de depoluare și desprăfuire, capabile să satisfacă performanțele ecologice și igienico – sanitare dorite la un consum minim de energie.

Este necesar de remarcat că, eficiența aparatelor de depoluare și desprăfuire depinde nu numai de tipul, construcția, dimensiunile și regimul de exploatare a lor, dar în mod determinant de natura, dimensiunile și proprietățile fizico-chimice a fazelor dispersate din sistemele disperse supuse depoluării, natura fizică și chimică a prafului. Procedeele fizice și fizico-chimice de separare a fazelor dispersate prin prelucrarea lor mecanică și centrifugare ulterioară sunt considerate cele mai utilizate. Însă și performanțele atinse prin astfel de metode nu permit separarea perfectă a sistemelor disperse în particular de particule cu dimensiuni submicroscopice.

Noutatea științifică și practică: Teza de master examinează problemele asociate cu calculul, alegerea și analiza comparativă a metodelor de calcul utilizate în mod obișnuit pentru instalația de prelucrare a fainii cu flux constant de aer, prezintă constatările și recomandările pentru îmbunătățirea situației ecologice din Republica Moldova. Într-o analiză comparativă au fost luate în considerare caracteristicile tehnice ale filtrelor, echipamentul și întreținerea acestora, au fost incluse calculi economice, și analiză comparativă a tipurilor de filtre utilizate în mod obișnuit în industria alimentară: ciclon, filtru cu saci și filtru ciclonic. Teza de master prezintă rezultatele calculelor zonelor de umbră cauzate de vânt pentru clădirile industriale atunci când sursa de poluare cauzată de ciclon este situată în incinta fabricii și prezintă concluziile corespunzătoare în ceea ce privește protecția bazinului atmosferic.

Bibliografie

1. Colomieț T., Bînzari A., Leanca L., „Dispersia nocivităților pe teritoriul localității și întreprinderii” Indicații metodice privind elaborarea proiectelor/lucrărilor de an, Editura „Tehnica-UTM”, Chișinău 2015, 4,0 c.t., ISBN 978-9975-45-356-1.
2. Belov V. „Охрана окружающей среды”, Moscva, 1991.
3. Jabov V. „Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС”, Moscva, 1992.
4. Veselov E. „Практикум по вентиляционным установкам”, Moscva, 1982.
5. Rodatis K. „Справочник по котельным установкам”, Moscva, 1989.
6. Alegerea și dimensionarea elementelor componente ale instalațiilor de ventilare. Îndrumător metodic pentru elaborarea proiectului de an la instalații de ventilare. Chișinău, 2003.
7. NCM G.04.10-2016. Centrale termice. Ministerul construcției și dezvoltării teritoriului a Republicii Moldova, Chișinău, 2016.
8. СНиП 2.01.01-82.Строительная климатология и геофизика. Москва, Стройиздат, 1983.
9. ОНД-86. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Ленинград, Гидрометеиздат, 1987.
10. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
11. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест.
12. Ghid cu privire la evaluarea prejudiciului cauzat mediului de la activitățile antropogene și mecanismele de compensare a lui. Chișinău, Continental Grup, 2006
13. Managementul ecologic în sectoare calde. Proiectul „Pregătire, instruire, educare în vederea asimilării de procese tehnologice inovative, îmbunătățirea practicilor manageriale și protecției mediului în sectoarele calde”- POSDRU/81/3.2/S/55652. Ed. M.Bejan. București, Mega, 2012.
14. Bărnănescu G., Calculul proceselor de ardere, Editura Academiei, 1955
15. Ungureanu C., Pănoiu N., Zubcu V., Ionel I., Combustibili. Instalații de ardere. Cazane de abur, Ed. "Politehnica", Timișoara, 1998
16. Horbanu B., Dumitrașcu Gh., Procese de ardere, Ed. „Politehnia”, Iași, 2008

17. chto-vhodit-v-puskonaladochnye-raboty-po- ciclonam [citat 2 aprilie 2025]. Diponibil: <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=6516d5ea12096ca9f799bcb435f14b50d0c9a6c6ee709053283849bfacfdb059JmldtHM9MTc3NzE2MTYwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=2cc7dc7d-9e7a-64f6-2da3-cb489f4b6554&u=a1aHR0cHM6Ly9yby53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvRWZlY3R1bF9WZW50dXJp>
18. ciclon [citat 12 aprilie 2025]. Diponibil: <https://ro.cijiefilter.com/news/industry-news/what-are-bag-filters-complete-guide-to-industrial-filtration.html>
19. Țuleanu A. Cercetarea eficienței de separare a prafului din aer în separatoare electrice cu câmpuri electrice alternative de tensiune înaltă. Chișinău 2015
20. Colomieț T., Dimoglo T., Ohrana ocrujaiușcei sredî na predpriatiiah mucomolinoi i zernopererabatîvaiușcei promîșlennosti. „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Conferința tehnico – științifică internațională, Ediția a VI-a, 15-16 noiembrie 2012, Chișinău, Volumul IV, ISBN 978-9975-71-317-7, p. 135-138.
21. Коломиец Т., Павалюк Н. Сравнительный анализ пылеотделителей используемых на мукомольных прдприятиях. Conferința Tehnico-Științifică a colaboratorilor,profesorilor și studenților. 15-23.11.2013. Vol.3.Chișinău 2014 ISBN 978-9975-45-312-7,369-372.
22. Коломиец Т. К вопросу о совершенствовании законодательства при расчёте штрафов за загрязнение воздушного бассейна от стационарных источников в Республике Молдова. Energie, Eficiență, Ecologie și Educație. Conferința Tehnico-științifică cu participare internațională. 10-11.04.2014.Chișinău 2014 ISBN-978-9975-71-505-8,188-191.
23. Filtru-calculul [citat 21 aprilie 2025]. Diponibil: www.afm.ro
24. Paguba-economica [citat 21 aprilie 2025]. Diponibil: www.dtki.com.ua
25. Emission Factor Documentation For AP-42 Section 9.9.1, Grain Elevators And Processing Plants Contract No. 68-D2-0159 and Purchase Order No. 8D-1993-NANX, Midwest Research Institute, Cary, NC, March 1998.
26. Paguba-economică [citat 23 aprilie 2025]. Diponibil: <https://acafe.md/postari/post/modificari-la-articolul-11-taxa-pentru-marfurile-care-in-procesul-utilizarii-cauzeaza-poluarea-mediului>
27. Instrucțiunea-calculul-economic [citat 23 aprilie 2025]. Diponibil: <https://maia.gov.md/sites/default/files/Documente%20atasate%20Advance%20Pagines/Ordin%20MADRM%20nr.%2015%20din%2022.01.2019%20EMPOLDEP%2019.pdf>