

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI - ȘCOALA DOCTORALĂ
FACULTATEA DE INSTALAȚII MECANICE ȘI ELECTRICE**

Ing. Ilie Bogdan

TEZĂ DE DOCTORAT

(REZUMAT)

**Managementul riscurilor tehnice și tehnologice implicate de
efectele înghețării apei în instalațiile tehnologice**

***TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL RISK MANAGEMENT
INVOLVED THE EFFECTS OF WATER FREEZING PROCESS
UNITS***

Conducător științific: *Prof.univ.dr.ing.* ILIAȘ NICOLAE

PETROȘANI

Cuvinte cheie: accidente, avarii, risc tehnic, gravitate, mod de defectare, probabilitate.

CUPRINS

Introducere	6
Notații, simboluri, definiții	7
PARTEA I	
Prezentarea generală privind fenomenele formării gheții	10
1. Apa. Gheața	10
1.1. Generalități privind stările de agregare, apă, gheață	10
1.1.1. Starea naturală a apei	12
1.1.2. Proprietățile fizice ale apei	12
1.1.3. Densitatea apei în funcție de temperatura acesteia	13
1.1.4. Compresibilitatea apei	13
1.1.5. Caracteristicile gheții	16
1.1.6. Solidificarea apei	16
1.1.7. Legile solidificării	16
1.1.8. Tipurile de gheață	17
1.1.9. Formarea gheții	19
1.2. Solicitățile generate de gheață	23
1.2.1. Presiunea gheții. Presiunile statice	23
1.2.2. Evaluarea analitică a presiunii de speța II $\rightarrow p_{II}$	23
1.2.3. Efectele solidificării apei prin înghețare	26
1.3. Fenomenele de propagare a temperaturii	33
1.4. Fenomenele termomecanice	41
PARTEA II	
Riscul tehnic și tehnologic. Managementul riscului tehnic și tehnologic	46
2. Introducere privind riscul tehnic	46
2.1. Definiții	46
2.2. Etape de calcul necesare riscului	46
3. Prezentarea activităților de management privind riscul tehnic	48
3.1. Pricipiile managementului riscului tehnic	48
3.2. Etapele activităților de management al riscului tehnic	49
3.3. Concluzii	57
PARTEA III	
Studii privind efectul gheții în instalațiile tehnologice	59
4. Studii privind efectul condițiilor de lucru asupra formării gheții în instalațiile tehnologice	59
4.1. Generalități. Definiția condițiilor la limită și a regimului de solicitare	59
4.2. Influența dimensiunilor materialului tubular asupra procesului de înghețare	61
4.2.1. Material tubular din oțel carbon, $D_e=219\text{mm}$, $s=7\text{mm}$, $L=650\text{mm}$	61
4.2.2. Material tubular din oțel carbon, $D_e=60\text{mm}$, $s=4\text{mm}$, $L=650\text{mm}$	63

4.2.3.	Material tubular din oțel carbon, De=33,4mm, s=1mm, L=650mm	64
4.3.	Influența temperaturii de răcire (T_c) asupra procesului de înghețare	66
4.3.1.	Material tubular din oțel, De=219mm, s=7mm, L=650mm, temperatura de lucru -2 °C	67
4.3.2.	Material tubular din oțel, De=219mm, s=7mm, L=650mm, temperatura de lucru -4 °C	68
4.3.3.	Material tubular din oțel, De=60mm, s=4mm, L=650mm, temperatura de lucru -2 °C	70
4.3.4.	Material tubular din oțel, De=60mm, s=4mm, L=650mm, temperatura de lucru -4 °C	71
4.3.5.	Material tubular din oțel inoxidabil, De=48mm, s=7mm, p=207 MPa, L=1000mm, oțel inoxidabil, temperatura de lucru -25 °C	73
4.3.6.	Material tubular din oțel inoxidabil, De=48mm, s=7mm, p=214 MPa, L=1000mm, oțel inoxidabil, temperatura de lucru -27 °C	74
4.4.	Influența tipului de material asupra procesului de înghețare	76
4.4.1.	Material tubular din oțel, De=60mm, s=4mm, L=650mm, supus temperatur de lucru -4 °C	77
4.4.2.	Material tubular din oțel inoxidabil, De=48mm, s=7mm, L=650mm, oțel inoxidabil, t=-23 °C	78
4.4.3.	Material tubular din CPVC, De=20,4mm, s=2,311mm, p=15,17MPa, t=-3 °C	79
4.4.4.	Material tubular din Al, De=38,1mm, s=2,1mm, p=30,4MPa	80
4.4.5.	Material tubular din Cu, De=31,8mm, s=1,65mm, p=50,7MPa	81
5.	Studiul privind determinarea tensiunilor datorate creșterii de volum a gheții din instalațiile tehnologice	85

PARTEA IV

Implementarea analizei de risc tehnic și tehnologic în instalațiile tehnologice	92
6. Implementarea analizei de risc tehnic și tehnologic în instalațiile tehnologice de înghețare a puțurilor de mină din bazinul Câmpulung Muscel	92
6.1. Prezentarea condițiilor de amplasare ale zonei de lucru, perimetrul minier Câmpulung	92
6.1. Amplasare, condiții climatice	93
6.2. Proprietăți fizice și mecanice ale rocilor din bazinul Câmpulung	93
6.3. Parametrii tehnici ai puțurilor de înghețare din bazinul Câmpulung	93
7. Implementarea analizei de risc tehnic și tehnologic privind instalațiile de înghețare a puțurilor de mină	99
7.1. Generalități	99
7.1.1. Structurarea datelor, seriilor de date	100
7.1.2. Influența temperaturilor de lucru asupra avariilor la sonde de înghețare pentru puțurile de mină	100
7.2. Riscul implicat de influența temperaturilor de lucru asupra avariilor la sonde de înghețare pentru puțurile de mină	104

7.2.1.	Elemente preliminare privind calculul riscului. Matricea de risc	104
7.2.2.	Riscul asociat variabilității parametrului de lucru, temperatură	105
7.2.2.1.	Criteriile de analiză a riscurilor	105
7.2.2.2.	Stabilirea mărimilor ce intervin în calculul riscului tehnic/tehnologic	106
7.2.2.3.	Interpretarea rezultatelor	110
8.	Implementarea analizei de risc tehnic și tehnologic în instalațiile tehnologice, conduce tehnologice supuse la îngheț, ținând cont de temperatura de îngheț	116
8.1.	Generalități privind elementele de conductă	116
8.1.1.	Definiții	116
8.1.2.	Elemente ce caracterizează o conductă tehnologică	116
8.2.	Prezentarea condițiilor de lucru	118
8.3.	Structurarea datelor, seriilor de date	118
8.4.	Calculul riscului asociat influenței condițiilor de lucru	120
8.4.1.	Stabilirea mărimilor ce intervin în calculul riscului tehnic/tehnologic	120
8.4.2.	Interpretarea rezultatelor	120
9.	Implementarea analizei de risc tehnic și tehnologic în instalațiile tehnologice, conduce tehnologice supuse la îngheț, ținând cont de factorii de lucru	121
9.1.	Prezentarea factorilor de lucru	121
9.2.	Structurarea datelor	121
9.3.	Calculul riscului asociat factorilor de lucru	121
9.3.1.	Calculul riscului asociat factorilor geometrici	121
9.3.2.	Calculul riscului asociat mediului tehnologic	121
9.3.3.	Calculul riscului asociat direcției de solicitare a materialului tubular	122
9.3.4.	Calculul riscului asociat zonei de solicitare de pe materialul tubular	122
10.	Concluzii generale, contribuții personale și perspective de dezvoltare	123
10.1.	Concluzii generale	123
10.2.	Contribuții	124
10.3.	Perspective	125
Bibliografie		126

*

* *

În cadrul instalațiilor tehnologice prezența apei, atât în stare monofazică cât și multifazică, are efecte devastatoare în momentul în care își schimbă starea de agregare din lichidă în solidă. Efecte acestei transformări de fază sunt mari ducând la o serie de accidente. Cauzele acestor efecte sunt dopuri de gheață, dopuri de criohidrați formate la interiorul materialului tubular, gheața formată la exterior. Buna funcționare a echipamentelor este dată de evitarea acestor cauze, prin planurile de mentenanță care se aplică corespunzător.

Obiectivul general al cercetărilor întreprinse în cadrul tezei de doctorat a în stabilirea nivelurilor de risc pentru diverse condiții de lucru ale echipamentelor tehnologice. Aceste condiții de lucru sunt elementele geometrice, temperatura de lucru, presiunea interioară.

Finalitatea practică a tezei de doctorat a fost de a face legătura între nivelurile de risc și condițiile de lucru

Teza de doctorat este structurată pe 10 capitole, 4 părți și cuprinde 131 pagini, 63 figuri, 30 tabele, 104 de referințe bibliografice și 21 de grafice.

Structura pe capitole a lucrării urmărește o abordare procesuală, prin care fiecare capitol prezintă aspecte care ulterior au fost introduse în concepția și elaborarea metodei. În cadrul lucrării de doctorat sunt prezentate sintetic și sistematic cercetările proprii, care reprezintă rezultatul coordonării eforturilor de documentare, de culegere și prelucrare a datelor, precum și de analiză, sinteză și concepție.

Capitolul unu are ca obiect de studiu apa, privită din punct de vedere al chimiei fizice. Sunt prezentate proprietățile fizice ale acestia, echilibrul dintre faze al apei, anomaliiile apei. Capitolul se încheie prin însumarea tuturor cunoștințelor despre apă, care au fost prezentate sub forma diagramei de stare a apei. Mai sunt prezentate elemente privind presiunile generate de gheață, fonmelenele de propagare și termomecanice.

Capitolul doi și trei cuprind principiile de management privind riscul tehnic. Principii ce țin seama, printre altele, de valoare, de luarea deciziilor, de potențialele pericole, amenințări, de factorul uman. Riscul prezentat în cadrul acestui capitol presupune existența a, cel puțin, două elemente: probabilitatea și gravitatea. Evaluarea riscului presupune următoarele etape, cum ar fi identificarea, analiza, estimarea, tratarea.

Capitolul patru și cinci cuprind studiile de caz cu privire la compararea elementelor obținute atât experimental cât și cele obținute cu ajutorul metodei elementului finit. Datele obținute experimental au fost preluate, ca atare, din surse bibliografice, prezentate în teză.

În capitolele șase și șapte este prezentat analiza de risc pentru o instalație de mină, în care a fost evidențiat variabilitatea tempertauri din solul de mină. În aceste condiții apare și riscul implicat de această variabilitate. Din acest motiv a fost calculat riscul tehnic asupra echipamentelor tehnologice de înghețare apuțurilor de mină.

Capitolul opt și nouă cuprinde a analiză de risc cu privire la echipamentele tehnologice, în speță, conducte tehnologice, în funcție de diverse condiții de lucru, temperatură, poziția punctului de măsurare, presiune, elemente geometrice – diametrul exterior, grosime de perete, proprietățile fizico necanice ale materialului.

Această lucrare mu poate răspunde la toate întrebările ce pot fii puse, privind analiza de risc pentru echipamentul tehnologic.

Zona de lucru din fața celui ce dorește să studieze acest process este larg, datorită elementelor ce intervin în calculul riscului tehnic, dar și a complexității cuantificării problemelor tehnice, în speță înghețarea conducilor tehnologice, echipamentelor tehnologice.

Gradul de noutate al lucrării constă în modul de abordare gradual, procesual, fundamentat pe cele mai noi cunoștințe, teorii și ipoteze, într-o formă care să permită înțelegerea conceptelor, fenomenelor, analiza diferitelor tipuri de condiții de lucru.

Pentru a veni în sprijinul tuturor factorilor interesați/afecțați de buna funcționarea instalațiilor industriale, lucrarea de doctorat s-a materializat, în primul rând prin fundamentarea conceptuală și formalizarea matematică și logică a nivelurilor de risc care să integreze eficient instrumentele de analiză a riscurilor cu cele de diagnosticare a securității operării sistemelor..

Gradul de complexitate. Având în vedere natura fenomenelor abordate, explozia informațională, precum și evoluția cercetării științifice în domeniu, pentru conceptualizarea sistemului industrial complex, pentru fundamentarea teoretică a modelelor matematice utilizate, pentru elaborarea instrumentelor de analiza integrată risc – diagnostic securitate au fost necesare cunoștințe din mai multe domenii (matematici superioare, teoria sistemelor, fizică, chimie, dinamica fluidelor, informatică), ceea ce conferă tezei realizate un caracter interdisciplinar și multidisciplinar.

Lucrarea a fost abordată *specific* (prin formalizarea funcțională și comportamentală destinată cooperării integrative a analizei riscurilor și diagnosticului de securitate), *măsurabil* (prin definirea legilor de probabilitate constante pe intervale, numite *Funcții de Probabilitate pe*

Episod și cuantificarea acestora în corelație cu fiecare mod de defectare din Graficul Cauzal al Disfuncțiilor, obținându-se astfel o *probabilitate în funcție de timp*), *adecvat* (problemă curentă la nivel internațional), *rezultatele* obținute având potențialul de a contribui la înțelegerea fenomenelor, adoptarea deciziilor și educarea factorilor implicați în aprecierea nivelurilor de risc în sistemele tehnice industriale, respectiv la creșterea nivelului de siguranță al echipamentelor tehnologice industriale.

Concluziile generale ale tezei

- Relevanța și actualitatea temei este determinată de importanța hotărâtoare care se acordă reducerii nivelurilor de risc în sistemele tehnice.
- Controlul riscurilor tehnice acoperă totalitatea metodelor, mijloacelor, analizelor, procedurilor și acțiunilor aplicate, pe durata întregului ciclu de viață al unui sistem, pentru a elimina sau a face acceptabile riscurile asociate.
- Modul de abordare a securității sistemelor industriale, de muncă, tehnice complexe, evoluează pe parcursul întregii durate de viață al sistemului, în funcție de actorii implicați: proiectant, angajator și operator, din acest motiv probabilitatea de apariție a cedărilor este controlată și totodată nivelul de risc tehnic scade.
- Importanța analizei funcționale și structurale care definește modul de organizare al componentelor sistemului, conduce la o bună interpretare a nivelului de risc.
- Prognozarea în timp real a defectelor și a modurilor de defectare survenite pe parcursul operării unui proces sau al unei instalații industriale va permite controlul în fiecare moment a instalației industriale în scopul adaptării măsurilor preventive și/sau corective care se impun; obiectivul este de a proteja, în măsura posibilului, produsele finite, bunurile, instalația însăși, și – în mod special - securitatea și sănătatea lucrătorilor.

Contribuții personale

În cadrul acestei teze au fost stabilite următoarele:

1. Cu cât valorile elementelor geometrice sunt mai mari, diametrul exterior, cu atât presiunea dată de formarea gheții la interiorul acestora este mai mare.
2. Tubulaturile cu capacitate de deformare elastoplastică mică, rigidă, cedează mai repede prin plesnire.
3. Tubulatura cu rigiditate cilindrică mare este predispusă cedării fragile (adică poate ceda brusc, prin plesnire casantă), iar tubulatura cu rigiditate mică este predispusă la deformare elastoplastică.
3. Cu cât temperatura este mai mică cu atât tensiunile mecanice din peretele materialului tubular sunt mai mari. În funcție de acest considerent temperatura cea mai mică are valoarea riscului cea mai mare, a cărei valoare a gravității este cinci. Am calculat riscul pentru fiecare temperatură în parte și după aceea am calculat riscul global, ca fiind medie ponderată. Riscul a fost calculat cu ajutorul probabilității de apariție a temperaturii și gravitatea acestei temperaturi.
4. În urma acestor analize ale seriilor de date, înregistrări ale temperaturiilor, culese din cercetările experimentale, reies următoarele concluzii:
 - trebuie să se cunoască bine proprietățile fizice și chimice ale mediului, curbele care evidențiază comportarea acestuia la diverse temperaturi, în care este folosită instalația tehnologică de înghețare;
 - monitorizarea cât mai precisă a parametrilor tehnologici – temperatură, debit – pentru instalația tehnologică, astfel încât abaterea medie pătratică să fie cât mai mică;
 - monitorizarea cât mai detaliată a stării tehnice a instalației tehnologice de înghețare, prin planurile de mentenanță, întreținere;
 - cunoașterea condițiilor meteorologice, în perioada de lucru a instalației tehnologice de

înghețare.

5. Într-o tubulatură în care are loc înghețarea apei prin solidificare, perna de gaz reduce tensiunile mecanice din peretele materialului tubular.

6. Principala sursă a încovoierii, tabel 8.3 este grosimea inegală după direcție radială a stratului de gheață. Cauza o reprezintă răcirea inegală după direcția circumferențială a tubulaturii testate.

7. Tubulatura testată care are rigiditatea mare ($1/EI$ - în care E reprezintă modulul de elasticitate, N/mm^2 și I reprezintă momentul de inerție, mm^4), este predispusă ruperii fragile, iar tubulatura cu rigiditate mică este predispusă deformării elastoplastice. Adică în prima parte materialul tubular se comportă elastic și după intră în domeniul plastic. Traseul cu tubulaturi cu diametrul mic – cu rigiditate mare – poate ceda mai repede, brusc, prin rupere.

8. Tubulaturile cu capacitate de deformare elastoplastică mică (rigidă), deci cele care se opun presiunii exercitate de către gheață, sunt cele mai vulnerabile.

9. În urma celor prezentate trebuie să se realizeze un program de mentenanță care să asigure reducerea nivelului de risc pentru echipamentele tehnologice supuse înghețului

Perspectivă de dezvoltare ulterioară a cercetării

Ca urmare a aprofundării cunoștințelor în domeniul tezei și în baza contribuțiilor proprii evidențiate, pentru viitor consider că este necesară continuarea cercetărilor pe următoarele direcții:

- să se țină cont de elementele ce caracterizează starea tehnică a echipamentelor tehnologice și să se dezvolte un program încă din faza de lucru, pentru a permite detalierea diagnosticării, evidențierii principalelor elemente care ar putea influența nivelurile de risc.

- dezvoltarea unui instrument de conștientizare a lucrătorilor și de instaurare a unei culturi de securitate proactive.

- analizarea nivelului de risc în funcție de nivelurile de acceptabilitate, stabilirea unei grile care să permită cuantificarea efectului gheții în funcție de condițiile de lucru, temperatură, elemente geometrice ale tubulaturii, mediul tehnologic.

- sistematizarea priorităților condițiilor de formare a gheții la interiorul conductelor tehnologice.

- stabilirea cantității de apă optime, din mediul tehnologic, în funcție de condițiile de formare a le gheții.