
Prezentarea sintetică a tezei de doctorat cu titlul:

“Contribuții privind efectuarea lucrărilor de mentenanță fără scoaterea din exploatare a conductelor de transport gaze naturale”

Doctorand: **ing. Marius Florin BÎRSAN** Conducător de doctorat: **Prof. Gheorghe Zecheru**

Prezenta teză de doctorat și-a propus să analizeze și să soluționeze principalele probleme privind conceperea, proiectarea, efectuarea și verificarea calității lucrărilor prevăzute în programele de mentenanță a conductelor destinate transportului gazelor naturale. Rezultatele cercetărilor cuprinse în această lucrare au fost direct raportate și au fost aplicate sau se vor aplica în viitor la realizarea activităților de reparare, reabilitare, re tehnologizare și modernizare a conductelor care alcătuiesc Sistemul Național de Transport al gazelor naturale – SNT.

În primul capitol al tezei – *Introducere* – se face o analiză originală a principalelor elemente de caracterizare generală a SNT, precizându-se că acesta cuprinde trei sisteme de conducte: a) sistemul de conducte magistrale (de înaltă presiune) – *SOT*, b) sistemul de conducte regionale (aparținând celor 9 sisteme regionale de transport – *SRT*; c) sistemul de conducte zonale (care fac parte din ansamblul de conducte destinat transportului zonal / local – *SLT*). De asemenea, sunt definite, pe baza prevederilor din legislația actuală în vigoare, noțiunile și conceptele de bază care descriu cadrul general al temei tezei de doctorat, se prezintă principalele componente care alcătuiesc infrastructura SNT, se evidențiază aspectele esențiale referitoare la starea tehnică actuală a conductelor aparținând SNT și se subliniază că funcționarea SNT în condiții de calitate, siguranță, eficiența economică și protecție a mediului înconjurător impune existența unei strategii de mentenanță, reabilitare și re tehnologizare elaborată judicios și aplicată riguros. În finalul acestui capitol sunt expuse prevederile principale care trebuie respectate la conceperea strategiei de mentenanță, reabilitare și re tehnologizare a conductelor din componența SNT: a) programele de mentenanță, reabilitare și re tehnologizare trebuie elaborate într-o manieră preventivă și flexibilă, aplicând principiile moderne ale atitudinii predictive și proactive, aceasta însemnând ca decizia efectuării oricărei lucrări trebuie să aibă la bază rezultatele unor activități periodice de verificare a stării tehnice a conductelor și de evaluare a gravității anomaliilor depistate și a riscului tehnic asociat funcționării conductelor; b) lucrările de mentenanță, reabilitare și re tehnologizare ale conductelor trebuie realizate cu precădere prin aplicarea unor tehnologii care să nu implice scoaterea din funcțiune a conductelor (care să poată fi efectuate pe conductele aflate sub presiune), pentru a nu fi afectată continuitatea alimentării cu gaze naturale a clienților și care să permită refacerea integrală a capacității portante a conductelor, astfel încât furnizarea gazelor naturale să se facă siguranță și fără poluarea mediului înconjurător; în acest context se precizează că în cadrul tezei sunt abordate, analizate, cercetate și soluționate atât problemele privind utilizarea tehnologiilor de mentenanță, reabilitare și re tehnologizare care implică efectuarea de operații de sudare, cât și problemele vizând utilizarea tehnologiilor bazate pe aplicarea de învelișuri de consolidare din materiale compozite.

În capitolul al doilea, cu titlul *Particularitățile mentenanței conductelor de transport*, sunt prezentate și analizate principalele aspecte privind sistemele de mentenanță care trebuie organizate pentru conductele de transport al gazelor naturale. Se precizează cerințele esențiale ale unui astfel de sistem: a) asigurarea disponibilității componentelor sistemului pe termen lung, cu un nivel acceptabil (tolerabil) al riscului de producere a accidentelor tehnice sau avariilor; b) posibilitatea planificării lucrărilor de mentenanță în perspectiva apropiată și îndepărtată; c) posibilitatea evaluării și planificării finanțării lucrărilor de mentenanță; d) asigurarea unui nivel minim al cheltuielilor legate de efectuarea lucrărilor de mentenanță; e) simplitatea și posibilitatea de a fi implementat cu ușurință. Se stabilește ca pentru SNT este potrivit un sistem de mentenanță preventiv planificat, cu planificare controlată, conceput în manieră predictivă și proactivă, care are la bază programe de mentenanță elaborate riguros,

cu activități definite și proiectate detaliat, a căror aplicare este flexibilă, termenele de efectuare și conținuturile planificate ale acestora putând fi modificate sau menținute în funcție de rezultatele unor activității periodice de verificare a stării tehnice a conductelor, concepute și realizate în conformitate cu conceptele moderne de mentenanță predictivă și proactivă; acest sistem de mentenanță trebuie să îndeplinească în paralel și cerințele unui sistem de reparații (neplanificate) după necesități, reglementând modul în care trebuie să se intervină în regim de urgență (accidental), pentru efectuarea lucrărilor de mentenanță adecvate rezolvării incidentelor produse intempestiv.

Capitolul al treilea al tezei, având titlul *Procedeele tehnologice utilizate în activitățile de mentenanță a conductelor* a fost destinat cercetării următoarelor aspecte tehnice: a) clasificarea și codificarea procedeele tehnologice de reparare a conductelor; b) particularitățile procedeele tehnologice de reparare a conductelor: repararea utilizând netezirea defectelor prin așchiere; repararea folosind încărcarea prin sudare a defectelor; repararea prin aplicarea de petece sudate; repararea cu manșoane de strângere de tip A și de tip B; repararea cu învelișuri aplicate la distanță; repararea cu învelișuri umplute cu rășină; repararea cu coliere metalice; repararea prin înlocuirea unui fragment de tubulatură; repararea prin aplicarea de învelișuri din materiale compozite; c) particularitățile activităților conexe reparații conductelor: activitățile de pregătire și de finalizare a lucrărilor de mentenanță; realizarea elementelor de adaos pentru efectuarea lucrărilor de mentenanță.

Capitolul al patrulea al tezei de doctorat prezintă *Particularitățile realizării operațiilor de sudare la repararea conductelor*. Studiile și cercetările efectuate în acest capitol au avut ca obiect evidențierea problemelor tehnologice privind utilizarea sudării la repararea conductelor, precizarea și comentarea particularităților tehnologice ale realizării operațiilor de sudare la repararea conductelor nepresurizate (scoase din exploatare), precum și a celor privind realizarea operațiilor de sudare la repararea conductelor aflate sub presiune (în exploatare). Acest capitol conține cercetări teoretice și experimentale foarte ample, care au constat în definirea factorilor care conduc la apariția unor fenomene nedorite atunci când se realizează operații de sudare pe conductele presurizate (străpungerea peretelui conductei prin acțiunea arcului electric folosit ca sursa termică la sudare și fisurarea datorită hidrogenului), stabilirea soluțiilor tehnice și tehnologice de evitare a producerii acestor fenomene și calificarea procedurilor de sudare pentru repararea conductelor de transport al gazelor naturale prin diverse procedee (încărcarea prin sudare sau aplicare de petece, manșoane, învelișuri sau fittinguri în zonele cu defecte ale conductelor).

Cel de-al cincilea capitol al tezei de doctorat are titlul *Particularitățile reparații conductelor cu învelișuri din materiale compozite* și cuprinde problemele tehnologice la repararea cu materiale compozite, caracteristicile fizico-mecanice și tehnologice ale materialelor compozite utilizate la repararea conductelor, principiile proiectării și verificării calității reparațiilor cu învelișuri din materiale compozite și rezultatele cercetărilor experimentale privind determinarea efectelor de consolidare a conductelor cu anomalii pe tubulatură prin aplicarea învelișurilor compozite. Scopul declarat al acestui capitol a fost evidențierea faptului că repararea cu învelișuri din materiale compozite reprezintă o soluție alternativă care se poate utiliza în programele de mentenanță ale conductelor de transport al gazelor naturale, dar care, prin caracteristicile tehnico – economice pe care le prezintă, nu determină excluderea din aceste programe a utilizării soluțiilor tehnice de reparare folosind încărcarea prin sudare sau aplicarea de petece, manșoane sau învelișuri sudate.

Ultimul capitol al tezei este destinat prezentării concluziilor, contribuțiilor științifice originale ale autorului și direcțiilor în care se pot continua cercetările teoretico – experimentale privind realizarea lucrărilor de mentenanță pe conductele sistemelor de transport al gazelor naturale.

Teza de doctorat a fost elaborată utilizând rezultatele unui număr mare de programe experimentale, multe dintre acestea având la baza soluții tehnice originale ale autorului tezei.

CUVINTE CHEIE : conducte pentru transport gaze naturale, lucrări de mentenanță, metode de reparare ale conductelor, reparații ale conductelor aflate sub presiune, reparații efectuate după scoaterea din funcțiune a conductelor, repararea prin înlocuirea unui fragment de tubulatură, repararea utilizând netezirea defectelor prin așchiere, repararea folosind încărcarea prin sudare, repararea prin aplicarea de petece sudate, repararea cu manșoane de strângere, repararea prin aplicarea de manșoane compozite.

CUPRINS

	Pag.
Cuprins	3
Capitolul 1	5
Capitolul 2	9
2.1. Principiile organizării activităților de mentenanță.....	9
2.2. Caracterizarea sistemelor de mentenanță pentru conductele de transport	12
2.3. Cauzele deteriorării și clasificarea anomaliilor conductelor de transport	15
2.4. Evaluarea gravității anomaliilor și programarea lucrărilor de mentenanță	26
2.4.1. Evaluarea anomaliilor de tip lipsă de material	30
2.4.2. Evaluarea anomaliilor de tip indentație cu scobitură.....	35
2.4.3. Evaluarea anomaliilor de tip fisură	38
2.4.4. Cercetări experimentale pentru evaluarea efectelor anomaliilor asupra rezistenței mecanice a conductelor de transport	41
2.5. Concluzii	49
Capitolul 3	51
3.1. Clasificarea și codificarea procedeele tehnologice de reparare a conductelor	51
3.2. Particularitățile procedeele tehnologice de reparare a conductelor	53
3.2.1. Repararea utilizând netezirea defectelor prin așchiere	53
3.2.2. Repararea folosind încărcarea prin sudare	54
3.2.3. Repararea prin aplicarea de petece sudate	55
3.2.4. Repararea cu manșoane de strângere de tip A	57
3.2.5. Repararea cu manșoane de strângere de tip B	59
3.2.6. Repararea cu învelișuri aplicate la distanță	60
3.2.7. Repararea cu învelișuri umplute cu rășină	61
3.2.8. Repararea cu coliere mecanice	62
3.2.9. Repararea prin înlocuirea unui fragment de tubulatură	65
3.2.10. Repararea prin aplicarea de învelișuri din materiale compozite	70
3.3. Particularitățile activităților conexe reparării conductelor	74
3.3.1. Activitățile de pregătire și de finalizare a lucrărilor de mentenanță	74
3.3.2. Realizarea elementelor de adaos pentru efectuarea lucrărilor de mentenanță	76
3.4. Concluzii	82
Capitolul 4	84
4.1. Problemele tehnologice privind utilizarea sudării la repararea conductelor	84
4.2. Particularitățile tehnologice ale realizării operațiilor de sudare la repararea conductelor nepresurizate (scoase din exploatare)	85
4.2.1. Materialele de bază ale componentelor implicate la efectuarea operațiilor de sudare..	85
4.2.2. Procedeele de sudare folosite la repararea conductelor	90
4.2.3. Grosimile componentelor care se îmbină prin sudare, configurația îmbinărilor sudate și poziția de sudare la repararea conductelor	93
4.2.4. Regimurile de sudare și tratamentele termice conexe la repararea conductelor	94
4.2.5. Cercetări experimentale privind fisurarea la rece a îmbinărilor sudate realizate la repararea conductelor nepresurizate	107
4.2.6. Cercetări experimentale privind aplicarea procedeele de reparare a conductelor folosind încărcarea prin sudare	117
4.2.7. Cercetări experimentale privind aplicarea procedeele de reparare a conductelor folosind aplicarea de petece sudate	130

4.3.	Particularitățile tehnologice ale realizării operațiilor de sudare la repararea conductelor aflate sub presiune (în exploatare)	137
4.3.1.	Cercetări experimentale privind evitarea străpungerii peretelui conductei de către arcul electric utilizat ca sursă termică la sudare	138
4.3.2.	Principiile elaborării procedurilor de sudare pentru repararea conductelor presurizate	146
4.3.3.	Cercetări experimentale privind calificarea procedurilor de sudare pentru aplicarea de manșoane sau fittinguri pe conductele presurizate	152
4.4.	Concluzii	164
Capitolul 5	Particularitățile reparării conductelor cu învelișuri din materiale compozite	171
5.1.	Problemele tehnologice la repararea cu materiale compozite	171
5.2.	Caracteristicile fizico-mecanice și tehnologice ale materialelor compozite utilizate la repararea conductelor	174
5.3.	Principiile proiectării și verificării calității reparațiilor cu învelișuri din materiale compozite	177
5.4.	Cercetări experimentale privind efectele de consolidare a conductelor cu anomalii pe tubulatură prin aplicarea învelișurilor compozite	183
5.5.	Concluzii	193
Capitolul 6	Concluzii. Contribuții originale. Direcții de continuare a cercetărilor	195
6.1.	Concluzii	195
6.2.	Contribuții originale	204
6.3.	Dir ecții de continuare a cercetărilor	208
Bibliografie	.....	210
Anexa 1	Încadrarea în clase de locație și în clase siguranță / securitate a conductelor SNT și mărimile de referință ale intervalelor de timp dintre activitățile de mentenanță	218
Anexa 2	Particularitățile proiectării conductelor SNT	223
Abstract	.....	229
Contents	.....	231

CONTRIBUTIONS REGARDING THE EXECUTION OF IN-SERVICE MAINTENANCE WORKS FOR NATURAL GAS TRANSMISSION PIPELINES

- Abstract -

Author: eng. Marius Florin BIRSAN

This thesis aims to analyze and solve major problems concerning the conceiving, designing, making and checking the quality of work specified in the maintenance programs for the natural gas transmission pipelines. The research results contained in this paper were directly reported and have been applied or will apply in the future to perform the activities of repair, rehabilitation, refurbishment and upgrading of pipelines that make up the natural gas National Transmission System - NTS.

The first chapter - *Introduction* - is an original analysis of the main elements of the general characterization of NTS, stating that NTS has three pipeline systems: a) the main pipelines system (high pressure) - SOT, b) the regional pipelines system (belonging to nine regional transmission systems - SRT c) local area pipelines system (which are part of the pipeline for transport zonal / local - SLT). The paper also defines, based on the provisions of the current legislation in force, the basic notions and concepts that describe the general framework of the thesis, presents the main components that make up the infrastructure of the NTS, highlights the key issues related to the current technical state of pipelines belonging to NTS and emphasizes that the operation of NTS in terms of quality, safety, economic efficiency and environmental protection strategies requires a maintenance, rehabilitation and upgrading judiciously developed and rigorously applied. The end of this chapter presents the main provisions to be observed in designing the strategy for maintenance, rehabilitation and upgrading the pipes belonging to NTS: a) the programs for maintenance, rehabilitation and upgrading should be developed in a preventive and flexible way, applying the modern principles of a predictive and proactive attitude, meaning that the decision making of any work must be based on the results of periodic verification activities of the technical conditions of the pipes and the assessment of the anomalies detected and the technical risk associated with the operation of pipelines; b) pipelines maintenance, rehabilitation and refurbishment works primarily must be achieved through the application of technologies that do not involve the removing of pipelines from service (which can be performed in-service pipelines) to not affect the continuous supply with natural gas to customers and allow full recovery of the carrying capacity of the pipes so that the natural gas supply be made safely and without environmental pollution. Thus, it is stated that this thesis discusses, analyzes, researches and solves both problems of maintenance, rehabilitation and refurbishment technologies involving performing welding operations and issues regarding the use of technologies based on the application of composite sleeves reinforcement materials.

The second chapter entitled *Maintenance systems for natural gas transmission pipelines*, presents and analyzes the main aspects of maintenance systems that must be organized for natural gas transmission pipelines. It specifies essential requirements of such a system: a) ensuring long term availability of system components with an acceptable (tolerable) risk of accidents or technical failures; b) the possibility of planning maintenance works in the near and distant future; c) the possibility of assessment and planning the funding of maintenance work; d) to ensure a minimum level of expenditures related to conducting maintenance work; e) the simplicity and possibility of easily implemented. It is set that NTS is suitable for a planned preventive maintenance system with

controlled planning, designed in a predictive and proactive manner which is based on rigorous maintenance programs developed with activities defined and designed in detail, the application of which is flexible, the terms of making and planning their contents can be changed or maintained according to the results of periodic activity of checking the technical condition of pipelines, designed and constructed in accordance with modern concepts of predictive and proactive maintenance; this maintenance system must also meet the requirements of a system of repair (unscheduled) -as needed, regulating how to intervene urgently (accidentally) to perform adequate maintenance work for solving unexpected incidents.

The third chapter of the thesis, entitled *Technological processes used in maintenance activities of pipelines* is designed to research following technical issues: a) Classification and codification of technological processes of repair of pipes; b) Specific features of technological processes of repair of pipes: repair defects using grinding technology, repair using weld metal deposition technology, repair by applying welded patches, repair with type A and B sleeve, repair with distance sleeves applied, repair with epoxy filled sleeves, repair with mechanical clamps, repair by pipe section replacement, repair by applying composite reinforcement sleeves; c) Specific features of pipeline repair related activities: preparatory and completion activities of maintenance work; making items added to perform maintenance work.

The fourth chapter of the thesis presents *Specific features of pipelines repair welding operations*. The Investigation of this chapter deals with the identification of the technological problems on using repair pipes by welding, the specification and comments on the technological peculiarities of repair welding operations to unpressurized pipes (out of service), and those on the in-service pipelines (live pipelines). This chapter contains very extensive theoretical and experimental researches, which consist in defining the factors that give rise to undesirable phenomena when welding of in-service-pressurized pipelines (penetration of the pipe wall thickness by electric arc welding used as heat source and hydrogen cracking) establishing technical and technological solutions to avoid these phenomena and qualification of welding procedures to repair of gas transmission pipelines by various processes (repair by weld metal deposition, repair by welded patch, sleeves, wraps or fittings in areas with defects in pipelines).

The fifth chapter of the thesis is entitled *Specific features of pipelines repair using composite materials*, it includes technological problems to repair by use of composite materials, physical, mechanical and technological characteristics of composite materials used to repair pipelines, principles of design and verify the quality of repair made with composite sleeves reinforcements and the results of experimental research on determining the effects of consolidation of the pipes with duct anomalies by applying composite sleeves. The declarative goal of this chapter is to highlight the composite material repair as an alternative solution that can be used in maintenance programs for natural gas transmission pipelines, but by technical and economic characteristics poses no lead to exclusion of these programs of the use of repair by weld metal deposition technology, or apply welded patches, sleeves or wraps.

The last chapter of the thesis is intended to present the conclusions, the original scientific contributions of the author and the directions to follow for next theoretical - experimental researches concerning the realization of maintenance work on the gas transmission pipelines systems.

The PhD thesis was developed using the results of a large number of experimental programs, many of them based on the author's original technical solutions.

KEY WORDS: natural gas transmission pipeline; maintenance work; pipeline repair methods; repair onto in-service pipeline; repair after removing the pipeline from service; repair by removal and replacement; repair by remediation; repair by welding; repair without welding; repair by deposited weld metal; repair by welded patch; repair by welded sleeve; repair by use of composite sleeve.

CONTENTS

	Pag.
Contents	3
Chapter 1 Introduction	5
Chapter 2 Maintenance systems for natural gas transmission pipelines	9
2.1. Principles of organization of maintenance activities	9
2.2. Characterization of maintenance systems for natural gas transmission pipelines	12
2.3. Causes of damage and abnormalities pipelines classification	15
2.4. Evaluation of gravity anomalies and scheduling maintenance work	26
2.4.1. Evaluation of anomalies lack of material type	30
2.4.2. Evaluation of anomalies gouge with dent type	35
2.4.3. Evaluation of crack-type anomalies	38
2.4.4. Experimental research to assess the effects of anomalies on the mechanical strength of pipelines	41
2.5. Conclusions	49
Chapter 3 Technological processes used in maintenance activities of pipeline	51
3.1. Classification and codification of technological processes of repairing of pipes	51
3.2. Peculiarities of technological processes of repairing of pipes	53
3.2.1. Repair defects using grinding technology	53
3.2.2. Weld metal deposition technology	54
3.2.3. Patches repair technology	55
3.2.4. Type A sleeves repairs	57
3.2.5. Type B sleeves repairs	59
3.2.6. Repair with distance sleeves applied	60
3.2.7. Repair with epoxy filled sleeves	61
3.2.8. Repair with mechanical clamps	62
3.2.9. Repair by pipe section replacement	65
3.2.10. Repair by applying composites reinforcement sleeves	70
3.3. Peculiarities pipes repair related activities	74
3.3.1. Preparatory and completion activities of maintenance work	74
3.3.2. Manufacturing of patches and sleeves necessary for maintenance works	76
3.4. Conclusions	82
Chapter 4 Peculiarities achieve pipelines repair welding operations	84
4.1. Technological issues concerning the use of welding to repair pipelines	84
4.2. Technological peculiarities of operations to achieve in-service pipelines welding repair (out of service)	85
4.2.1. Starting materials of the components involved in performing any welding	85
4.2.2. The welding procedures used to repair pipelines	90
4.2.3. Thickness to be joined by welding components, configuration of welded joints and pipeline repair welding position	93
4.2.4. Welding and heat treatment regimes related to repairing pipelines	94
4.2.5. Experimental research on cold cracking of welded joints made for in-service pipelines repair	107
4.2.6. Experimental research on the application process for repair charged welded on pipelines technology	117
4.2.7. Experimental research on the application process for repair of pipelines using welded patches technology	130

4.3.	Technological peculiarities of realization of welding operations to repair in-service pipelines (live pipelines)	137
4.3.1.	Experimental research on burnthrough avoid pipe wall by electric arc welding used as heat source	138
4.3.2.	Principles of development of welding procedures for repair to in-service pipelines	146
4.3.3.	Experimental research on the qualification of welding procedures for applying sleeves or fittings to an in-service pipeline	152
4.4.	Conclusions	164
Chapter 5	Peculiarities of pipelines repair with composite materials	171
5.1.	Technological problems to repair by composite materials	171
5.2.	The physic - mechanical and technological properties of composite materials for pipeline repair	174
5.3.	Principles of design and verification of quality repairs with composite materials	177
5.4.	Experimental research on the effects of consolidation of the pipes with duct anomalies by applying composites material for pipeline repair	183
5.5.	Conclusions	193
Chapter 6	Conclusions. Original contributions. Directions for further research	195
6.1.	Conclusions	195
6.2.	Original contributions	204
6.3.	Directions for further research	208
Bibliography	.....	210
Appendix 1	Assignment to grades and class location safety / security of SNT pipelines and sizes reference intervals between maintenance activities	218
Appendix 2	SNT pipeline design peculiarities	223
Abstract	.....	229
Contents	.....	231