Dr.ing. Elisabeta BURLACU

CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA STRUCTURII UNUI DOC PLUTITOR LA SOLICITĂRI EXTREME

Teză de doctorat

EDITURA FUNDAŢIEI UNIVERSITARE
„*Dunărea de Jos*” – GALAŢI – 2020

UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI
FACULTATEA DE ARHITECTURĂ NAVALĂ

Editura Fundaţiei Universitare „Dunărea de Jos” din Galaţi
este acreditată de CNCSIS

Titlul de doctor inginer în domeniul inginerie mecanică a fost conferit prin O.M.E.C. 3122/29.01.2020

Referenți științifici:
Prof univ.dr.ing. Leonard DOMNIȘORU
Prof univ.dr.ing. D.H.C. Anton HADĂR
Prof univ.dr.ing. Iona Călin ROȘCA
Prof univ.dr.ing. Costel Iulian MOCANU

©Editura Fundaţiei Universitare
“Dunărea de Jos”, Galaţi, 2020
ISBN 978-973-627-630-9
Director editură.
Prof. univ. Emerit dr. Cosma Tudose

www.editura.ugal.ro
editura@ugal.ro

CUPRINS

		Pag.
	Mulțumiri	3
	Cuprins	4
	Table of contents	7
	Introducere	10
	Introduction	14
	Notații și abrevieri	18
	Listă figuri	19
	Listă tabele	22
Capitolul 1.	Tehnici de lansare a navelor. Stadiul actual privind analiza capabilității de operare a docurilor plutitoare	24
	1.1. Tehnici de lansare a navelor în cadrul șantierelor navale	24
	1.1.1. Lansarea gravitațională a navelor pe plan înclinat	25
	1.1.2. Lansarea navelor cu ajutorul baloanelor de aer	27
	1.1.3. Lansarea navelor pe verticală	28
	1.2. Tipuri de docuri plutitoare. Scurt istoric	31
	1.3. Metode de analiză a capacității de operare a docurilor plutitoare	34
Capitolul 2.	Fundamente teoretice privind analiza capacității de operare a docurilor plutitoare	36
	2.1. Metode pentru analiza preliminară a capacității de operare a docurilor plutitoare pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D, în apă calmă și valuri cvasi - statice de întâlnire sau urmărire (programele FDOCK)	36
	2.1.1. Modulul pentru determinarea deplasamentului docurilor plutitoare pe baza pescajelor înregistrate la natură	37
	2.1.2. Modulul pentru calculul curbelor hidrostatice ale docului plutitor	38
	2.1.3. Modulul pentru calculul parametrilor de echilibrare în apă calmă	38
	2.1.4. Modulul pentru calculul momentelor încovoietoare și a forțelor tăietoare la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire sau urmărire	39
	2.1.5. Modulul pentru analiza stabilității transversale a docurilor plutitoare	41
	2.2. Metode pentru analiza capacității structurale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM, la solicitări în apă calmă și valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire sau urmărire	41
	2.3. Metode pentru analiza capacității structurale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM și 1D, la solicitări din valuri echivalente cvasi-statice oblice	45
	2.3.1. Determinarea parametrilor de echilibrare a sistemului doc plutitor – valuri cvasi - statice oblice, pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D	46
	2.3.2. Metode de analiză a rezistenței locale și generale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice oblice	49
	2.4. Metode pentru analiza comportării dinamice a docurilor plutitoare în valuri aleatoare	52
Capitolul 3.	Teste experimentale pentru validarea metodei de analiză a oscilațiilor structurilor navale în valuri de întâlnire, urmărire și transversal	57
	3.1. Descrierea modelului experimental	57
	3.2. Analiza experimentală a oscilațiilor navei de cercetare fluvial – maritime	60
	3.3. Concluziile analizei pe model experimental	72
Capitolul 4.	Definirea caracteristicilor docurilor plutitoare considerate în studiul solicitărilor extreme	74
	4.1. Descrierea docului plutitor de mici dimensiuni cu două versiuni constructive, Dock60_NWT și Dock60_CWT. Definirea cazurilor de operare și realizarea modelului structural 3D-FEM	74
	4.2. Descrierea docului plutitor de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea. Definirea cazurilor de operare și realizarea modelului structural 3D-FEM	91

Capitolul 5. Analiza comparativă a capacității de operare a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu tancuri laterale superioare continue și discontinue, pe baza criteriilor de rezistență structurală și bord liber minim, la solicitări extreme din valuri echivalente cvasi – statice..... 100
5.1. Analiza structurală preliminară ($a_{Fr}=2a_0$) a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire – urmărire 101
5.2. Evaluarea docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu structură întărită ($a_{Fr}=a_0$), pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri oblice..... 113
5.3. Analiza structurală pe modele 3D-FEM a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, la solicitări din valuri echivalente cvasi-statice de întâlnire - urmărire și oblice..... 126
5.3.1. Cazul valurilor de întâlnire – urmărire..... 127
5.3.2. Cazul valurilor oblice..... 138
Capitolul 6. Analiza comparativă a capacității de operare a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu două versiuni constructive, pe baza criteriilor limită la oscilații în valuri aleatoare extreme și stabilitate transversală..... 149
6.1. Analiza pe termen scurt la oscilații a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, în zona de navigație fluvială și costieră..... 149
6.1.1. Determinarea operatorilor amplitudine răspuns *RAO* la oscilații pentru docurile plutitoare de mici dimensiuni, în două variante constructive..... 150
6.1.2. Analiza răspunsului statistic pe termen scurt pentru cele două variante constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni..... 155
6.2. Analiza stabilității transversale a docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu considerarea condițiilor meteorologice extreme 159
6.3. Concluzii la analiza dinamică și stabilitatea transversală a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu două versiuni constructive..... 163
Capitolul 7. Analiza capacității de operare a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pe baza criteriilor de rezistență structurală și bord liber minim, la solicitări extreme din valuri echivalente cvasi – statice..... 164
7.1. Analiza structurală a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri de întâlnire – urmărire..... 164
7.2. Analiza structurală a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, folosind model 3D-FEM complet extins pe lungime..... 170
7.2.1. Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de operare fără încărcătură a docului plutitor de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea..... 171
7.2.2. Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de operare a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, cu nava andocată de 19747 t..... 175
7.2.3. Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t..... 179
7.2.4. Concluzii la analiza structurală a docului de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea..... 188
Capitolul 8. Evaluarea capacității de operare a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pe baza criteriilor limită la oscilații în valuri aleatoare extreme și stabilitate transversală..... 189
8.1. Analiza pe termen scurt la oscilații a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, în zona de navigație fluvială și costieră..... 189
8.1.1. Determinarea operatorilor amplitudine răspuns *RAO* la oscilații pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea..... 191
8.1.2. Analiza răspunsului statistic pe termen scurt pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea..... 195
8.2. Analiza stabilității transversale a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, cu considerarea condițiilor meteorologice extreme..... 202
8.3. Concluziile analizei dinamice și stabilității transversale a docului plutitor de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea..... 205
Capitolul 9. Studiul oscilațiilor navei remorcher fluvial - maritim folosit la operațiile de tranzit ale docurilor plutitoare..... 207
9.1. Modelul numeric al remorcherului pentru navigația fluvial – maritimă..... 207
9.2. Determinarea operatorilor amplitudine răspuns *RAO* la oscilațiile remorcherului fluvial – maritim de 4000 C.P..... 209

9.3. Analiza răspunsului statistic pe termen scurt pentru remorcherul fluvial - maritim 211
9.4. Concluziile analizei dinamicii remorcherului fluvial – maritim în valuri aleatoare 215
Capitolul 10. Concluzii finale și contribuții personale 216
10.1. Concluzii finale 216
10.2. Contribuții personale 224
10.3. Perspective de cercetare viitoare 227
Listă lucrări publicate și prezentate 228
Bibliografie 230
Anexe 237
A1. Codul program al modulului *D_CDB* din pachetul de programe FDOCK, dezvoltat pentru calculul curbelor hidrostatice ale docurilor plutitoare (cu înveliș exterior și interior între tancurile superioare de balast laterale), curbele de carene drepte și diagrama Bonjean 237
A2. Codul program al modulului *D_AC*, din pachetul de programe FDOCK, dezvoltat pentru calculul preliminar a poziției de echilibru în apă calmă a docurilor plutitoare (cu înveliș exterior și interior între tancurile superioare laterale de balast), pe baza unei proceduri iterative neliniare pentru condiție de flotabilitate și asietă longitudinală 238
A3. Codul program al modulului *D_ACAVD*, din pachetul de programe FDOCK, dezvoltat pentru echilibrarea docurilor plutitoare (cu înveliș exterior și interior între tancurile superioare laterale de balast) în valuri echivalente cvasi-statice de întâlnire - urmărire, calculul momentelor încovoietoare VBM și a forțelor tăietoare VSF, folosind o procedură iterativă neliniară cu doi parametrii 240
A4. Codul program al modulului *D_LDF*, din pachetul de programe FDOCK, dezvoltat pentru calculul diagramei de stabilitate transversală cu includerea influenței suprafeței libere a tancurilor de la bord (parțial umplute) și a asietei longitudinale, folosind o procedură iterativă neliniară la unghiuri mari de înclinare transversală, pentru docurile plutitoare (dublu înveliș) 243
A5. Codul program al modulului *D_DRSU*, din cadrul pachetului FDOCK, dezvoltat pentru procesarea datelor înregistrate la pescajele docurilor plutitoare (dublu înveliș), la natură, ținând cont de asieta longitudinală și de deformația verticală a grinzii docului 246
A6. Programul de editare a maselor, *mass_prop_edit.bas*, scris în limbajul de programare Visual Basic, pentru programul Femap NX/ Nastran 249
A7. Programul de citire a maselor, *totalmass_to_data_table.bas*, scris în limbajul de programare Visual Basic, pentru programul Femap NX/ Nastran. 249
A8. Fișierul de macro-comenzi *group_selection.prg* pentru generarea grupelor de mase, pentru modelele 3D-FEM în programul Femap NX/ Nastran 249
A9. Fișierul de macro-comenzi *mass_selection.prg* pentru extragerea maselor din grupele de mase pentru modelele 3D-FEM în programul Femap NX/ Nastran 250

TABLE OF CONTENTS

		Pag.
	Thanks	3
	Table of contents in romanian	4
	Table of contents	7
	Introduction in romanian	10
	Introduction	14
	Notations and abbreviations	18
	List of figures	19
	List of tables	22
Chapter 1.	Ships launching techniques. The current state regarding the analysis of the operating capacity of the floating docks	24
	1.1. Techniques for launching ships in shipyards	24
	1.1.1. Gravitational launch of ships on an inclined plane	25
	1.1.2. Launch of ships using air cushions	27
	1.1.3. Launch of ships vertically	28
	1.2. Types of floating docks. Short history	31
	1.3. Methods for analysing the operating capacity of floating docks	34
Chapter 2.	Theoretical fundaments regarding the analysis of the operating capacity of floating docks	36
	2.1. Methods for preliminary analysis of the operating capacity of floating docks based on 1D equivalent beam models, in still water and quasi-static head or follow waves (FDOCK programs)	36
	2.1.1. The module for determining the displacement of floating docks based on the draughts recorded on full scale	37
	2.1.2. Module for calculating the hydrostatic curves of the floating dock	38
	2.1.3. Module for calculating the equilibrium parameters in still water	38
	2.1.4. Module for calculating bending moments and shear forces at loads from quasi-static head or follow waves	39
	2.1.5. Module for analysing the transverse stability of floating docks	41
	2.2. Methods for analysing the structural capacity of floating docks based on 3D-FEM models, at loads from still water and quasi-static head or follow waves.	41
	2.3. Methods for analysing the structural capacity of floating docks based on 3D-FEM and 1D models, at loads from quasi-static oblique equivalent waves	45
	2.3.1. Determination of the equilibrium parameters of the floating dock - quasi-static oblique waves system, based on 1D equivalent beam models	46
	2.3.2. Methods for analysing the local and general strength of floating docks based on 3D-FEM models, at loads from equivalent quasi-static oblique waves	49
	2.4. Methods for analysing the dynamic behaviour of floating docks in random waves	52
Chapter 3.	Experimental tests for the validation of the method of analysis of the oscillations of the naval structures in head, follow and beam waves	57
	3.1. Description of the experimental model	57
	3.2. Experimental analysis of the oscillations of the river-maritime research vessel	60
	3.3. The conclusions of the analysis on the experimental model	72
Chapter 4.	Defining the characteristics of floating docks considered in the study of extreme loads	74
	4.1. Description of the small floating dock with two constructive versions, Dock60_NWT and Dock60_CWT. Definition of operating cases and development of the 3D-FEM structural model	74
	4.2. Description of the large floating dock Dock_VARD_Tulcea. Definition of operating cases and development of the 3D-FEM structural model	91
Chapter 5.	Comparative analysis of the operating capacity of the Dock60_CWT, Dock60_NWT floating docks, with continuous and discontinuous upper side tanks, based on the criteria of structural strength and minimum free board, at extreme loads from quasi-static equivalent waves	100

5.1. Preliminary structural analysis (a_{Fr}=2a_0) of the floating docks Dock60_CWT, Dock60_NWT, based on the 1D equivalent beam model, at loads from equivalent quasi-static head-follow waves…….. 101
5.2. Evaluation of floating docks Dock60_CWT, Dock60_NWT, with reinforced structure (a_{Fr} = a_0), based on the 1D equivalent beam model, at oblique wave loads..... 113
5.3. Structural analysis on 3D-FEM models of floating docks Dock60_CWT, Dock60_NWT, at loads from equivalent quasi-static head - follow and oblique waves..... 126
5.3.1. Case of head-follow waves..... 127
5.3.2. Case of oblique waves..... 138
Chapter 6. Comparative analysis of the operating capacity of the floating docks Dock60_CWT, Dock60_NWT, with two constructive versions, based on the limiting criteria for oscillations in extreme random waves and transverse stability..... 149
6.1. Short-term oscillation analysis of floating docks Dock60_CWT, Dock60_NWT, in the river and coastal navigation area..... 149
6.1.1. Determination of the response amplitude operators RAO to oscillations for small floating docks, in two constructive variants..... 150
6.1.2. Analysis of the short-term statistical response for the two constructive versions of small floating docks..... 155
6.2. Analysis of the transverse stability of small floating docks Dock60_CWT, Dock60_NWT, taking into account the extreme weather conditions……. 159
6.3. Conclusions on the dynamic analysis and transverse stability of floating docks Dock60_CWT, Dock60_NWT, with two constructive versions..... 163
Chapter 7. Analysis of the operating capacity of the floating dock Dock_VARD_Tulcea, based on the criteria of structural strength and minimum free board, at extreme loads from quasi-static equivalent waves..... 164
7.1. Structural analysis of the floating dock Dock_VARD_Tulcea, based on the 1D equivalent beam model, at loads from head and follow waves..... 164
7.2. Structural analysis of the Dock_VARD_Tulcea floating dock, at loads from equivalent quasi-static head-follow waves, using a full extended 3D-FEM model… 170
7.2.1. 3D-FEM structural analysis for the light operation of the large floating dock Dock_VARD_Tulcea..... 171
7.2.2. 3D-FEM structural analysis for the floating dock operating case Dock_VARD_Tulcea, with the docked ship of 19747 t..... 175
7.2.3. 3D-FEM structural analysis for the case of docking at the maximum capacity of 27000 t..... 179
7.2.4. Conclusions on the structural analysis of the large dock Dock_VARD_Tulcea..... 188
Chapter 8. Evaluation of the operating capacity of the floating dock Dock_VARD_Tulcea, based on the criteria for oscillations in extreme random waves and transverse stability……..... 189
8.1. Short-term oscillation analysis of the floating dock Dock_VARD_Tulcea, in the river and coastal navigation area..... 189
8.1.1. Determining the response amplitude operators RAO to oscillations for the floating dock Dock_VARD_Tulcea..... 191
8.1.2. Analysis of the short-term statistical response for the floating dock Dock_VARD_Tulcea..... 195
8.2. Analysis of the transverse stability of the floating dock Dock_VARD_Tulcea, taking into account the extreme weather conditions…….. 202
8.3. The conclusions of the dynamic analysis and the transverse stability of the large floating dock Dock_VARD_Tulcea..... 205
Chapter 9. Study of the oscillations of the river - maritime tugboat used in the transit operations of the floating docks..... 207
9.1. The numerical model of the tug for river-maritime navigation..... 207
9.2. Determining the response amplitude operators *RAO* to the oscillations of the 4000 C.P river-maritime tug..... 209
9.3. Analysis of the short-term statistical response for the river-maritime tug…… 210
9.4. Conclusions of the analysis of the dynamics of the river-maritime tug in random waves… 215
Chapter 10. Final conclusions and personal contributions..... 216
10.1. Final conclusions..... 216
10.2. Personal contributions..... 223

10.3. Future research perspectives..... 227
List of published and presented papers……. 228
Bibliography…… 230
Annexes…….... 237
A1. The program code of the *D_CDB* module from FDOCK software package, developed for the floating docks (with outer and inner shell between the upper side wing ballast tanks) hydrostatic curves computation and the Bonjean diagram, use for the initial evaluation of the dock freeboard and initial stability characteristics at each loading case……... 237
A2. The program code of the *D_AC* module from FDOCK software package, developed for the still water equilibrium parameters computation for the floating docks (with outer and inner shell between the upper side wing ballast tanks), based on a non – linear iterative procedure for sink age and trim equilibrium, used for the freeboard criteria check……... 239
A3. The program code of the *D_ACAVD* module from FDOCK software package, developed for the still water and design head – tracking equivalent quasi – static waves vertical bending moment VBM and vertical shear force VSF computation for the floating docks (with outer and inner shell between the upper side wing ballast tanks), based on a non – linear iterative procedure……. 241
A4. The program code of the *D_LDF* module from FDOCK software package, developed for the dock righting level curve (transversal stability) computation for the floating docks (with outer and inner shell between the upper side wing ballast tanks), with free surface influence and free trim condition, using a non – linear iterative procedure in the case of large heeling angles…….. 243
A5. The program code of the *D_DRSU* module from FDOCK software package, developed for floating docks (with outer and inner shell between the upper side wing ballast tanks) draught survey data processing, with trim and hull girder deflection……... 247
A6. Mass editing program, *mass_prop_edit.bas*, written in Visual Basic programming language, for the Femap NX / Nastran program…… 249
A7. Mass reading program, *totalmass_to_data_table.bas*, written in Visual Basic programming language, for the Femap NX / Nastran program…….. 249
A8. The macro – command file *group_selection.prg* for generating mass groups, for 3D-FEM models in the Femap NX / Nastran program…… 250
A9. The macro – command file *mass_selection.prg* for mass extraction from mass groups for 3D-FEM models in the Femap NX/ Nastran…….. 250