

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA EXPLOATĂRII MACARALELOR PORTUARE DE CHEI

Șef lucrări. dr. Cristina DRAGOMIR¹, Șef lucr. dr. ing. Ionuț Cristian SCURTU²

¹Universitatea Maritimă din Constanța, ²Academia Navală „Mircea cel Bătrân” – Constanța

REZUMAT. Macaralele portuare de chei formează principala grupă a utilajelor portuare de ridicare și, respectiv, principalul mijloc de transbordare a mărfurilor pe teritoriul portuar. Cu ajutorul lor se realizează majoritatea operațiunilor de încărcare și descărcare a mărfurilor la și de la nave. Lucrarea prezintă o analiză de optimizare a exploatării în siguranță a macaralelor portuare de chei, având în vedere studiul oboselii roților la modelul autohton de macara portuară de chei de tip Bocșa, cu graifăr.

Cuvinte cheie: graifăr, macarale, exploatare.

ABSTRACT. Key port cranes form the main group of lifting and port lifting equipment, respectively, the main means of transshipment of goods in the port territory. They are used to carry out most of the cargo loading and unloading operations to and from ships. The paper presents an analysis to optimize the safe operation of the key port cranes, considering the study of the fatigue of the rollers in the native model of the Bocșa harbor crane with grapple.

Keywords: grapple, cranes, mining.

1. INTRODUCERE

În prezent, Portul Constanța se situează în topul porturilor europene care operează o diversitate de tipuri de mărfuri și în special mărfuri de tip vrac solid. Vracul solid este reprezentat în Portul Constanța în principal de minereurile feroase și neferoase, cereale, cărbuni, cocs, ciment, materiale de construcție, fosfat etc. Aceste mărfuri sunt operate în terminale specializate. Portul Constanța reprezintă și un partener tradițional pentru tranzitul cerealelor spre alte destinații ale lumii, în special pentru țările din estul și centrul Europei cu producție agricolă mare.

Pentru menținerea unui înalt grad de mecanizare și eficientizare a operării unui volum mare de mărfuri vrac [1] este utilizată o gamă diversificată de echipament portuar, din cadrul căreia rolul macaralelor portuare de chei în operarea mărfii se manifestă într-un mod distinct. Acest lucru se datorează faptului că macaralele portuare de chei sunt adecvate atât deplasării sarcinilor unitare cât și sarcinilor în vrac, iar gradul lor de specializare este determinat de necesitatea maximizării eficienței tehnico-economice.

Prin optimizarea macaralelor portuare de chei se urmărește optimizarea parametrilor funcționali și asigurarea funcționării în condiții de siguranță a acestora. Siguranța în funcționare este determinată de condițiile de calitate cerute acesteia: fiabilitate corespunzătoare utilizării, productivitate ridicată,

grad înalt de automatizare și protecție anticorozivă, gabarit și greutate specifică reduse, consumuri minime de combustibili și energie, cât și ușurință în întreținere și reparații.

Lucrarea de față prezintă elemente de mecanica ruperii în soluționarea unor probleme care apar în funcționarea macaralelor portuare de chei de tip Bocșa cu graifăr în zone de risc ridicat precum zona de acționare a roților.

Cercetarea are un caracter aplicativ și se bazează pe studii de caz desfășurate la macaralele portuare de chei deținute de unul dintre principalii operatori portuari din Portul Constanța, S.C. MinMetal SA.

2. CADRUL TEORETIC ȘI STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIU

În activitatea portuară, macarale de chei sunt considerate utilaje conducătoare ale întregului proces tehnologic de lucru, cu ajutorul cărora sunt operate atât navele tip cargou cât și alte tipuri de nave specializate. Construcția acestor macarale a evoluat în mod continuu, eforturile fiind îndreptate în sensul măririi flexibilității și randamentului lor.

Pentru a se putea realiza operațiile de încărcare și descărcare a navelor, macaralele de chei trebuie să efectueze o serie de manevre, astfel încât mărfurile să poată fi introduse sau scoase din orice zonă a navelor. Aceste condiții, precum și greutatea mărfu-

rilor care trebuie manipulate, au condus la necesitatea realizării unor utilaje grele de gabarite mari, echipate cu sisteme complexe, apte să execute toate manevrele necesare, asigurând totodată productivități de operare corespunzătoare. Realizarea unor macarale de chei de mare productivitate este impusă de necesitatea asigurării încărcării și descărcării cât mai rapide a navelor maritime și fluviale, necesitate de primă importanță în activitatea de exploatare a navelor și porturilor.

Cadrul teoretic și stadiul actual al cunoașterii în domeniu se axează pe studiile din domeniul exploatarea macaralelor abordate de specialiști de pe plan național precum M. Alămoreanu, A. Antonov, L. Coman, D. Dragoș, I. Viță, I. Dragomir, L. Tiron, Ș. Nicolescu, N. Davidescu, Z. Preda, H. Segall, I. Popa, O. Tănăsescu, I. Constantinescu, C. Mischie, I. Călimănescu și alții. Pe plan internațional sunt de referință lucrările lui C. Bierwirth, F. Meisel, E. K. Bish, N. Boysen, M. Fliedner, P. Canonaco, A. I. Dukelskii, M. A. Jordan, K. H. Kim, E. K. Gatcombe, A. N. Grubin, D. Dowson, G.R. Higginson, B.J. Hamrock și alții.

Elementele componente ale macaralelor portuare de chei (Fig.1) prin care se realizează funcționarea lor sunt următoarele: partea metalică, mecanismele de acționare și limitatoarele de siguranță, echipamentele de lucru: graifâr, cârlig, șpreder etc.

La macaralele portuare de chei partea metalică este alcătuită din următoarele elemente, descrise pe larg în [2]: portalul, coloana sau platforma, cabina mecanismelor și cabina de comandă, sistemul de brațe al macaralelor de chei și contragreutățile fixe și mobile.

Mecanismele de acționare a macaralelor de chei reprezintă sisteme cu funcționare independente sau părți componente ale unei macarale, care servesc la ridicarea și coborârea sarcinii, rotirea macaralei, variația deschiderii brațului sau translația macaralei: mecanismul de ridicare și coborâre a sarcinii, mecanismul de rotire a macaralei, mecanismul de variație a deschiderii brațului sau mecanismul de basculare, mecanismul de translație. Pentru siguranța funcționării macaralelor portuare și evitarea avariilor, macaralele sunt echipate cu o serie de dispozitive de siguranță.

Echipamentul de lucru al macaralelor de chei este reprezentat de dispozitivul de suspendare a sarcinii. Acesta poate fi alcătuit sub forma unei mufle cu cârlig la care se pot atașa diverse dispozitive de apucare a sarcinii. Macaralele portuare cu destinație specială pot avea ca echipament de lucru și alte dispozitive precum: graifârul, electromagneți, clești, cupe, șpreder etc. Dintre acestea, graifărele sunt dispozitive de prindere care mecanizează operațiunile de încărcare și descărcare de marfă în vrac ale macaralei de chei. Ele sunt prevăzute cu cupe cu

închidere și deschidere comandată atașate instalațiilor de ridicat care servesc la preluarea prin săpare a materialelor vărsate, la ridicarea și descărcarea acestora în mijloace de transport sau în grămadă. Graifărele sunt cupe cu închidere și deschidere comandată, atașate instalațiilor de ridicat și servesc la preluarea prin săpare a materialelor solide vrac la ridicarea și descărcarea lor în mijloacele de transport. Prezentarea și descrierea lor se găsesc în [3], [4] și [5].

Pe plan mondial, întreprinderile constructoare de macarale de chei aduc permanente îmbunătățiri și perfecționări atât constructive cât și de funcționare, în scopul realizării unor utilaje la nivelul cerințelor actuale ale procesului de exploatare. Astfel, tendința actuală și de viitor în rezolvarea încărcărilor-descărcărilor și manipulare-transport a mărfurilor, materialelor și pieselor este aceea de a crea mașini și instalații cât mai mobile, cu funcționare sigură, cu grad mărit de mecanizare și automatizare, care să ocupe spații de lucru cât mai mici, să fie mai eficiente ca productivități sporite, iar întreținerea și exploatarea să se realizeze cât mai ușor.



Fig. 1. Macara portuară de chei Bocșa 16 t - 32 m cu graifâr mecanic.

3. ANALIZA PRINCIPALELOR DEFECȚIUNI APĂRUTE ÎN EXPLOATAREA MACARALELOR PORTUARE DE CHEI

În urma observațiilor efectuate la cele patru macarale portuare de chei Bocșa cu graifâr mecanic 16t - 32 m ale operatorului portuar MinMetal S.A. într-o perioadă de timp de patru luni (februarie-mai 2012) s-a evidențiat o frecvență mai mare a defecțiunilor enumerate în cele ce urmează.

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA EXPLOATĂRII MACARALELOR PORTUARE DE CHEI

Se constată o frecvență mare a defecțiunilor survenite la rolele din ciocul macaralelor din cauza uzurii și a forțelor mari, uzura cuplajelor elastice ale mecanismelor de ridicare și închidere-deschidere graifăr din cauza vibrațiilor, precum și uzura cablurilor graifărului.

O primă problemă frecvent observată a fost uzura cablurilor.

Macaraua portuară de chei Bocșa cu braț mobil 16 t - 32 m folosește în exploatare patru tipuri de cabluri: două cabluri de manevră, pe părțile laterale ale graifărului (folosite mai mult și schimbate aproximativ la 1 an) și două cabluri de susținere, în zona de mijloc a graifărului (schimbate la un 1,5 ani - 2 ani). Întotdeauna cablurile se schimbă în pereche.

Cablurile utilizate sunt cu inimă vegetală. Inima vegetală este îmbibată de unsoare. Pe măsură ce cablurile sunt folosite, se creează presiune pe inima vegetală iar unsoarea iese, asigurând o ungere dinspre interior spre exterior. Ungerea numai pe exteriorul cablului nu este oportună deoarece unsoarea se usucă și se amestecă cu praf.

Pentru a crește durata de viață a cablurilor, acestea se ung sub presiune folosindu-se un procedeu distinct de lubrifiere (descriș într-un subcapitol următor), realizat cu o pompă și o bucușă de construcție specială. Dezavantajul acestei ungeri îl reprezintă pozițiile în care se face ungerea (tot cablul trebuie să treacă prin bucușă - procedeu mai dificil dar care contribuie la creșterea duratei de viață a cablului).

Graifărul folosit de macaraua tip Bocșa este de tip clamshell grab – cu formă de clopot și este format din: două brațe, două fălci, două cabluri de manevră și o casetă de role. Cablurile graifărului trec prin caseta de role și ies printr-un spațiu deasupra căruia se prinde de cablul de manevră al macaralei cu cheia de legătură.

Principala problemă ce poate cauza uzura cablurilor o reprezintă ungerea necorespunzătoare a rolilor din caseta de role. Există 5 role pe cablul de manevră stânga și 5 role pe cablul de manevră dreapta. Pentru a se putea face o ungere corespunzătoare, rolele sunt prevăzute cu nipluri. Dacă acestea nu sunt unse corespunzător, rolele se uzează pentru că iau contact mult cu marfa și este necesară unsoare proaspătă. Dacă o rolă nu se învârtă bine, cablul se va freca de rolă și vor apărea uzuri ale cablului datorită frecării (cablul se încălzește și se subțiază; la fel se încălzesc și rolele).

Cablurile de manevră sunt utilizate mai des pentru încărcarea-descărcarea graifărului. În consecință, uzura cablurilor este inegală ca și durată. Se constată că apar uzuri ale cablurilor la curățarea hambarelor unei barje, atunci când graifărul se freacă de gura barjei și apar uzuri pe toroanele cablurilor. O a doua situație de uzură a cablurilor se constată când se închide graifărul fără ca macaragiul să execute

normalizarea graifărului. Pentru a se păstra sarcina distribuită în mod egal pe fiecare cablu, macaragiul trebuie să păstreze toate cele patru cabluri întinse în mod egal. Macaraua de chei are două mecanisme identice, cu motor, reductor și tambur, în sala mașinilor. Un tambur este de manevră (amplasat stânga în sala mașinilor) și unul este de susținere (dreapta). Când se închide graifărul, lucrează doar tamburul de manevră. Cablurile de manevră (exterioare) se ridică, se apropie fălcile graifărului și se închide graifărul. Dacă macaragiul nu a făcut o normalizare corectă ca să păstreze cablurile întinse, graifărul va începe să se ridice iar cablurile de susținere se vor slăbi pentru că mecanismul de susținere nu funcționează. În momentul în care se dă comanda pentru ridicarea graifărului, cele două mecanisme funcționează simultan (cu aceeași viteză) dar greutatea graifărului este preluată doar de cablurile de manevră până când se egalează cablurile (cablurile de susținere sunt libere), ceea ce duce la o uzură suplimentară a cablurilor de manevră.

La încărcare cu marfă în interiorul hambarului, graifărul este plin și marfa curge peste el. Se creează o presiune pe fălcile graifărului care va fi coroborată cu sarcina mare pe cele două cabluri de manevră. O soluție la această situație ar fi una de natură electrică: egalizarea sarcinii pe cabluri să se facă prin echilibrarea curenților, prin intermediul unor aplicații informatice dezvoltate.

Pentru verificarea gradului de uzură, cablurile și lanțurile se examinează în timp ce se înfășoară cu viteză redusă pe tambur. La verificarea cablurilor se urmărește dacă apar următoarele defecte: deteriorări (striviri, ruperi de toroane, aplatisări etc.) sau înnoșări, sârme rupte, plesnite sau încrucișate sau uzuri (provenite din exploatarea normală, din ruginire, din corodare etc.). La scoaterea din funcțiune a unui cablu se au în vedere cel puțin următoarele criterii: dacă unul din toroane este deteriorat (rupt, strivit etc.), dacă prezintă deformări cum ar fi: deformare elicoidală, deformare în colivie, extrudare a toroanelor sau firelor, creștere sau diminuare locală a diametrului cablului, aplatisare, ochiuri sau bucle strânse, frângerii, dacă prezintă rupturi ale firelor în dreptul fixărilor de capăt, dacă concentrația de rupturi de fire se situează într-un toron, se diminuează elasticitatea constatată în cadrul examinărilor periodice sau prin analize specializate, prezintă coroziune exterioară, interioară sau apar pete de rugină, dacă se prezintă deteriorare vizibilă la exterior, produsă prin căldură sau prin fenomen electric, manifestată prin culori de recoacere, s-a produs ieșirea capetelor de sârmă din împletire sau ruperea și desfacerea matisării pe un sfert din lungimea ei, s-a produs ieșirea sârmelor din inelele presate (în cazul cablurilor de legare presate), ruperea sau deformarea acestor inele etc.

S-a constatat că după montarea unui cablu nou la o macara portuară de chei, angajații executau mai întâi unele mișcări cu o sarcină redusă (circa 10% din sarcina nominală), după care sarcina se mărea treptat până la sarcina maximă, în scopul așezării corecte a cablului și pentru prelungirea duratei de viață a acestuia.

Numărul indicat de fire rupte vizibile în cablurile cu toroane rotunde lucrând pe role de cablu din oțel se regăsește în Prescripția Tehnică ISCIR R 14-2002.

Analiza preliminară a dotării tehnice a operatorilor portuari reprezentativi din portul Constanța indică faptul că macarale portuare de chei de tip Bocșa sunt deținute și exploatate de majoritatea principalilor operatori din Portul Constanța, atât pentru operarea de marfă vrac de diferite tipuri. Se constată că cele mai frecvente defecțiuni apar la rolele macaralelor din cauza uzurii și a forțelor mari. O frecvență mare de apariție o prezintă și defecțiunile în cadrul schemei cinematice, uzura cuplajelor elastice ale mecanismelor de ridicare și închidere-deschidere graifăr din cauza vibrațiilor mari, precum și uzura rapidă a cablurilor de manevră ale graifărului din cauza ungerii necorespunzătoare și uzuri la graifăr. Alte probleme observate au mai fost apariția de fisuri la role din cauza vibrațiilor și a vechimii macaralei; dilatarea șinelor de deplasare a macaralei din cauza soarelui și a căldurii iar la exploatarea în condiții de căldură, cablurile se încălzesc și vaselina se fluidizează și dispare mai repede, ceea ce duce la uzura cablurilor. În scopul reducerii frecvenței uzurilor și pentru optimizarea procesului de exploatare a macaralelor de chei, au fost recomandate o serie de măsuri, precum: alegerea unui cablu dintr-un alt

material, diminuarea efectului vibrațiilor din sala mașini fie prin montarea unor grinzi din metal sub postamentul motorului, fie prin montarea unui cuplaj dințat cu element elastic în scopul preluării jocurile din reductor sau fixarea semipermanentă a șuruburilor cu o pastă specială care să prevină efectul de slăbire cauzat de vibrații. Pentru optimizarea mentenanței cablurilor metalice ale macaralelor de chei se recomandă eficientizarea procesului de lubrifiere prin utilizarea unui dispozitiv de curățare și ungere în interior și pe exterior a cablurilor metalice (de exemplu: Mastro Lubricator). Dispozitivul penetrează și curăță sub presiune ridicată chiar și cele mai compacte tipuri de cabluri metalice, cu grad ridicat de lubrifiere.

4. STUDIUL ROLELOR DIN VÂRFUL MACARALEI PORTUARE DE CHEI CU GRAIFĂR

În macaraua portuară de chei Bocșa 16 t – 32 m se află patru role în cioc, patru role în zona antebraț – braț care sunt cele mai afectate (două de manevră și două de susținere) și patru role mai mari deasupra sălii mașini pentru ghidarea cablului pe tamburi, care nu afectează poziția brațului. Fiecare rolă ghidează câte un cablu.

În urma observațiilor realizate la cele patru macarale portuare de chei Bocșa 16t – 32 m ale operatorului portuar MinMetal SA se constată că rolele din vârful macaralei se defectează în mod frecvent și sunt necesare măsuri de optimizare.

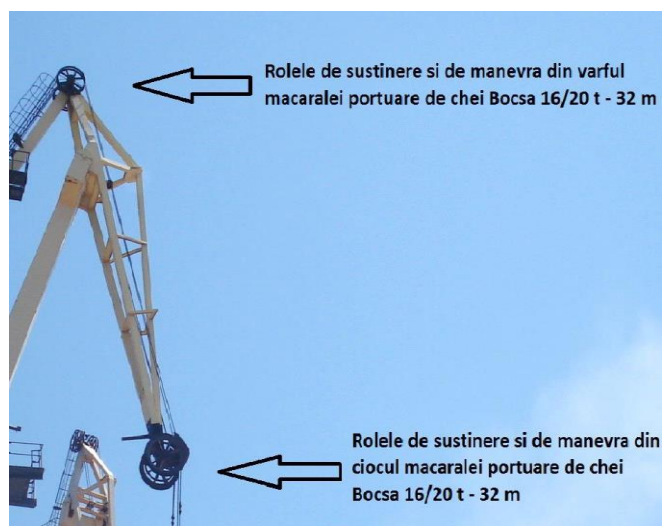


Fig. 2. Rolele din vârful și ciocul macaralei portuare de chei Bocșa cu braț mobil 16 t/20 t - 32 m.

Rolele - organe pentru ghidarea cablurilor și lanțurilor - sunt destinate să servească drept reazeme cablului în punctele în care trebuie să se realizeze o

modificare a traseului acestora. Rolele pentru cabluri se execută prin turnare din fontă Fc 25 sau din oțel turnat OT 50 (SA 102), situație analizată în teză. În

obada rolei este strunjit un șanț, care trebuie să corespundă unor anumite condiții, pentru a asigura o durată de funcționare mare a cablului.

Rolele se pot executa și sudate, caz în care elementele lor componente (obadă, spițe și butuc) sunt executate din OL 38.

Pentru dimensionarea rolelor se pornește de la diametrul lor primitiv, definit ca diametrul cercului format pe axa cablului înfășurat pe role. Valoarea sa rezultă din calculul cablului. Dimensiunile șanțului și diametrul nominal al rolelor sunt standardizate. Celelalte dimensiuni se aleg constructiv.

În general, rolele pentru cabluri se montează liber, pe un ax fix. Pentru acest scop, butucul rolei are o bucă din fontă sau din bronz, fixată prin știfturi filetate. Rolele se pot fixa pe ax și cu ajutorul rulmenților, mai ales la rolele greu accesibile (de exemplu în cazul rolelor montate pe capătul superior al unui braț de macara).

La calculul de rezistență al rolelor pentru cabluri, realizate prin construcție sudată, trebuie verificat în primul rând solicitarea obezii și a spițelor. Obada este solicitată la încovoiere datorită componente radiale a tensiunii cablului.

Forța P , care acționează radial, între două spițe, se calculează grafic sau analitic după formula:

$$P = 2S \sin \frac{\gamma}{2} \quad (1)$$

în care:

S este forța de tracțiune din cablu;

γ – unghiul format între două spițe învecinate.

Întrucât această forță este repartizată uniform și obada poate fi considerată ca o grindă sprijinită pe multe reazeme, se poate lua drept moment maxim încovoiator momentul

$$M_{i \max} = \frac{P \cdot l}{16} \quad (2)$$

unde l este lungimea între două spițe, măsurată pe o dreaptă.

Notând cu W modulul de rezistență al secțiunii obezii, rezultă solicitarea la încovoiere:

$$\sigma_i = \frac{P \cdot l}{16 \cdot W} \quad (3)$$

Spițele din oțel rotund vor fi solicitate de aceeași forță

$$P = 2 \cdot S \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$$

Notând cu F secțiunea spiței și cu ω coeficientul de flambaj, solicitarea va fi

$$\sigma = \frac{2 \cdot S \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \omega}{F} \quad (4)$$

La amplasarea rolelor, trebuie să se acorde o atenție deosebită poziției ramurilor cablurilor față de planul rolei. Trebuie să se aibă în vedere că abaterea cablului din planul rolei să fie suficient de mică pentru a evita contactul dintre cablu și bordura rolei, întrucât acest contact creează posibilitatea de cădere a cablului de pe rolă (acest lucru se impune, deoarece menținerea ramurilor cablului în planul rolei nu este întotdeauna posibilă). Pentru aceasta, abaterea cablului, măsurată la o distanță de 1000 mm față de axa rolei, trebuie să nu depășească valoarea

$$t_{\max} = 2000 \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sqrt{1 + \frac{D}{h}}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

În cazul când abaterea cablului din planul rolei nu poate fi menținută sub valoarea admisibilă, trebuie luate măsuri constructive, cum sunt plăci contra căderii cablului. Posibilitatea de oscilație a rolei de egalizare în jurul axului superior asigură menținerea planului rolei în planul celor două ramuri ale cablului înfășurat pe rolă [6].

Diametrul butucului rolei se ia 1,5 ... 1,6 ori diametrul alezajului său [3].

La mecanisme cu regimuri intensive de funcționare se recomandă confecționarea din oțel turnat, întrucât oțelul are proprietăți plastice superioare fontei. Macaraua portuară Bocșa 16 t-32 m a fost achiziționată având role din oțel turnat marca OT 50.

Rolele cu diametre mici, sub 200-250 mm, se pot executa din tablă groasă, dar utilizarea lor nu este recomandabilă decât la producții unicate întrucât costul manoperei, precum și pierderea de material prin strunjire sunt ridicate. Este recomandabil ca rolele de diametru mare să se execute din oțel laminat în construcție sudată întrucât rezultă o însemnată reducere de greutate. Astfel, pentru rolele realizate dintr-un butuc, spițe și o obadă din platbandă sau din oțel cornier deformat în două etape: pentru realizarea profilului canalului și apoi curbarea la raza roții, rezultă, pentru diametre de 400... 900 mm, greutatea cu 58% până la 75% mai mică decât cele ale unor role echivalente din fontă [7].

Dimensiunile caracteristice ale rolelor de cablu sunt acelea care determină forma și mărimea profilului canalului pe care se înfășoară cablul. Dimensiunile sunt funcție de diametrul cablului și sunt alese fie din considerente de asigurare a unei durabilități cât mai mari a cablului (r - raza și D - diametrul la fundul canalului), fie din considerente de securitate: evitarea ieșirii cablului de pe rolă (unghiul de deschidere α și adâncimea canalului - h).

Raza optimă la fundul canalului se găsește în limitele: $r = (0,53...0,55) d$. În acest fel se asigură un contact cu cablul pe o zonă suficient de mare, efectul fiind un nivel redus al tensiunilor de contact, precum și conservarea secțiunii rotunde a cablului. La raze mai mari, zona de contact devine mai mică, în con-

seciună tensiunile de contact cresc, iar cablul se aplatizează. La raze mai mici crește uzura cablului datorită frecării laterale cu pereții canalului. Deschiderea canalului se ia egală cu 45° , iar adâncimea h aproximativ între 1,5 și 2,5 d ; valorile mici corespund diametrelor mari de cablu, iar cele mari diametrelor mici. În acest fel devine posibilă o deviere laterală a cablului față de planul median al rolei în limite practice acceptabile, fără contactul și deci frecarea cu bordura canalului.

Teoria explică pe baze raționale aspectul calitativ al influenței diametrului rolor asupra durabilității cablului, dar este incapabilă să furnizeze o relație cantitativă utilizabilă în calculele de proiectare. Din acest motiv standardele europene prescriu ca alegerea diametrului rolor să se facă corespunzător relației

$$D \geq (h_1 h_2 - 1)d \quad (6)$$

în care:

h_1 este un coeficient depinzând de grupa de funcționare a mecanismului și de tipul constructiv al cablului (tabelul 7);

h_2 - coeficientul depinzând de numărul de îndoitori ale cablului (w) pe traseul transmisiei cu cablu (tabelul 8);

d - diametrul nominal al cablului.

Atunci când cablul înfășoară o rolă, el face două îndoitori întrucât la intrarea pe rolă curbură lui variază de la valoarea zero la $2/D$, iar la ieșirea de pe rolă ea variază din nou, de data aceasta de la $2/D$ la zero. Efectul schimbării sensului de îndoire asupra durabilității cablului, adică al trecerii de la o curbură convențional pozitivă la una negativă este practic de două ori mai mare decât al unei îndoitori simple, de aceea schimbarea sensului de îndoire este echivalent cu două îndoitori simple.

Pentru rolele din vârful macaralei Bocșa 16 t -32 m, sarcinile sunt reprezentate de forța de tracțiune din cabluri (repartizată sub forma de presiune pe role). În cele ce urmează este prezentată diagrama forțelor de încărcare (fig. 3), diagrama de încovoiere (fig. 4) și diagrama de momente (fig. 5).

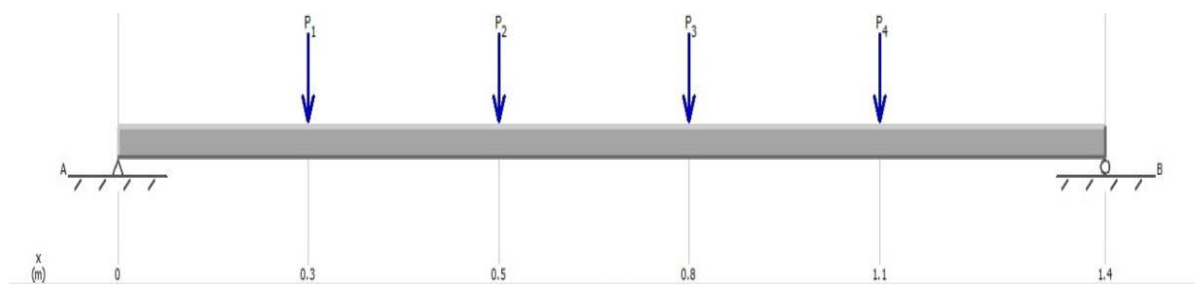


Fig. 3. Diagrama forțelor de încărcare.

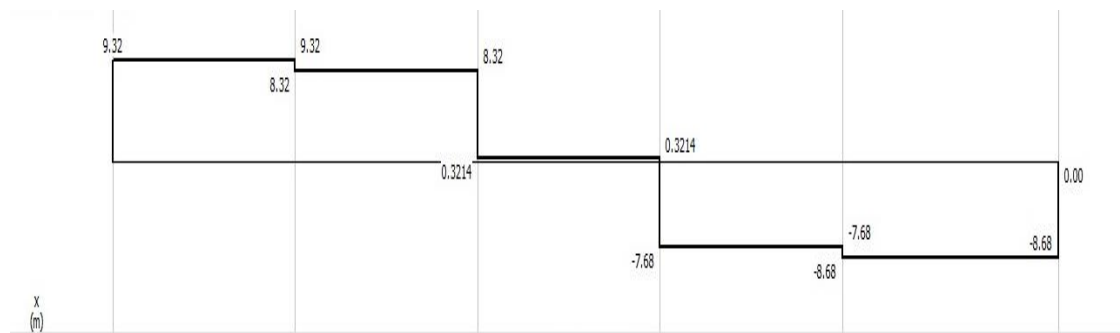


Fig. 4. Diagrama de încovoiere.

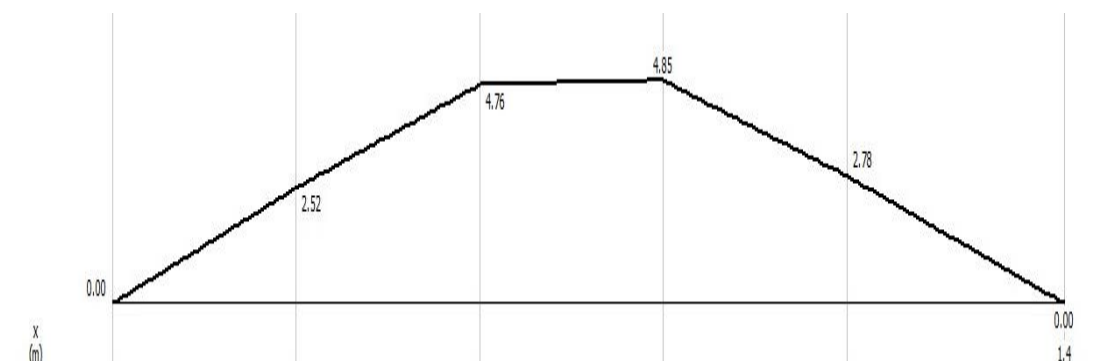


Fig. 5. Diagrama de momente.

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA EXPLOATĂRII MACARALELOR PORTUARE DE CHEI

Pentru calculul forțelor manifestate în ansamblul role cabluri s-a introdus în ecuație următoarele valori:

Diametrul cablurilor: $\varphi_c = 36 \text{ mm}$

Rezistența la rupere a cablurilor: $R_r = 1570 \dots 1960 \text{ N/mm}^2$. Se alege $R_r = 1800 \text{ N/mm}^2$. Rezistența la rupere a cablurilor se determină cu relația

$$R_r = \frac{F_r}{S_c} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (7)$$

unde:

F_r – forța de rupere, în N;

S_c – secțiunea cablului, în mm^2 .

Forța de rupere a cablului va fi:

$$F_r = R_r \cdot S_c = R_r \cdot \frac{\pi R^2}{4} \quad [\text{N}] \quad (8)$$

unde R – raza secțiunii transversale a cablului, în mm ($R = 18 \text{ mm}$).

$$F_r = 1800 \cdot \frac{3,14 \cdot (18)^2}{4}$$

$$F_r = 457\,812 \text{ N}$$

În continuare, se determină forța de întindere în orice punct al cablului.

În baza legii lui Euler forța de întindere va fi:

$$T = S \cdot e^{-\pi(2n+1)\mu} \quad [\text{N}] \quad (9)$$

în care:

S – forța mecanismului de acționare, în N ($S = 90\,320 \text{ N}$, a fost calculată la graifâr);

n – numărul de volte pe rolă ($n = 1$)

μ – coeficient de frecare dintre rolă și cablu (pentru oțel, $\mu = 0,10 \dots 0,15$). Se alege $\mu = 0,1$.

Rezultă:

$$T = 90320 \cdot \frac{1}{2,71^{3,14 \cdot 3 \cdot 0,1}}$$

$$T = 35\,312,369 \text{ N}$$

Forța de întindere în capătul liber al cablului rezultă din relația

$$T_n = F_r \cdot e^{-n\mu\alpha} \quad [\text{N}] \quad (10)$$

în care:

F_r – forța de rupere a cablului, în N;

α – unghiul de înfășurare a cablului pe rolă, în rad (fig. 6). Din model, rezultă $\alpha = 146^\circ$;

n – numărul de volte ($n = 1$).

Rezultă:

$$T_n = \frac{457812}{2,71^{1 \cdot 0,1 \cdot 146}}$$

$$T_n = 0,218 \text{ N}$$

Datorită forțelor din ramurile cablului, fiecare rolă este supusă încovoierii și răsucirii.

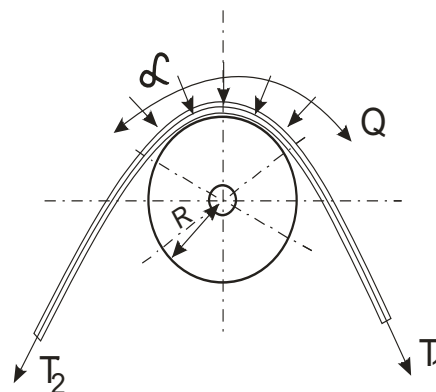


Fig. 6. Unghiul de înfășurare a cablului pe rolă.

Rezultanta forțelor pe rolă este

$$R_F = \frac{e^{-n\mu\alpha} - 1}{e^{-2\mu\alpha} - 1} \cdot F_r \cdot \sqrt{1 + e^{-2\mu\alpha} \cdot \cos \alpha} \quad [\text{N}] \quad (11)$$

$$R_F = 853\,424 \text{ N}$$

Presiunea pe role este dată de relația

$$Q = \frac{R_F}{S_t} \quad [\text{N/mm}^2], \quad (12)$$

în care :

S_t – suprafața de pe cantul rolei pe care acționează cablul, în mm^2 .

Se consideră că rolea este solicitată de cablu pe jumătatea superioară, deci

$$S_t = \frac{2\pi R_{rola} \cdot h_{rola}}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (13)$$

unde $h_{rola} = 25 \text{ mm}$

Rezultă:

$$S_t = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 265}{2} \cdot 25$$

$$S_t = 2080 \text{ mm}^2$$

Presiunea pe role va fi:

$$Q = \frac{853424}{2080}$$

$$Q = 410 \text{ N/mm}^2$$

Presiunea pe o rolă va fi (z este numărul de role):

$$Q_{rola} = \frac{Q}{z} = \frac{410}{10} = 41 \text{ N/mm}^2$$

Randamentul rolelor de cablu este studiat în [8] și [9].

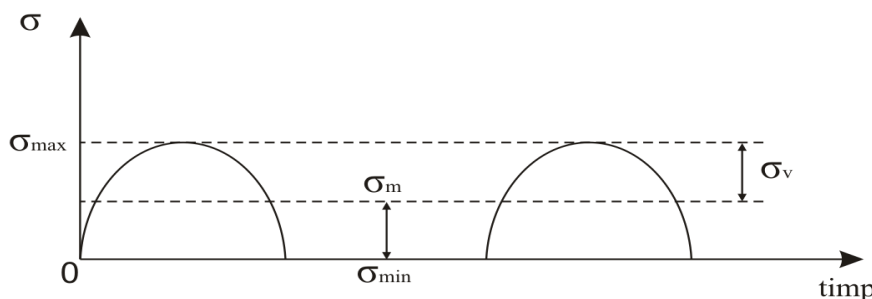


Fig. 7. Ciclu pulsant de variație a tensiunii din rolă.

Oboseala rolei. Când o rolă se rotește, având cablul înfășurat pe ea pe un unghi α , ea este supusă la o solicitare variabilă, având în vedere că un punct al rolei este neîncărcat când este în afara unghiului α , iar apoi tensiunea crește de la contactul cablului cu role de la zero la o valoare maximă și scade la zero când cablul iese de pe rolă.

Din acest punct de vedere, tensiunea pe rolă variază după un ciclu pulsant în timp, ca în figura 7, unde:

- amplitudinea ciclului

$$\sigma_v = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}; \quad (14)$$

- valoarea medie

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (15)$$

$$\sigma_m = \sigma_v = \frac{\sigma_{\max}}{2} \quad (16)$$

deoarece $\sigma_{\min} = 0$.

Solicitarea are coeficientul de asimetrie

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0 \quad (17)$$

Solicitarea variabilă are ca efect oboseala materialului. Variația tensiunilor este produsă din cauză că fiecare punct al periferiei rolei trece printr-o zonă cu tensiune maximă, apoi ajunge în poziția de tensiune zero, și aceasta se produce la fiecare rotație a rolei, de un număr de cicluri de solicitare N , care depinde de turația rolei și de timpul de lucru

$$N = \frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6} \text{ [milioane rotații]} \quad (18)$$

unde

n [rot/min] = turația rolei;

L_h [ore] = durata de funcționare totală, până la înlocuirea rolei.

În plus, turația nu este constantă, iar forța din cablu poate fi și ea variabilă, după cum variază încărcarea graifărului.

Dacă numărul de cicluri de solicitare $N \leq 10^4$ cicluri, solicitarea se consideră cu un număr redus de cicluri și nu este cazul să se facă un calcul la oboseală (este suficient calculul la solicitare statică).

Dacă $N > 10^3$ cicluri, oboseala materialului trebuie luată în considerare.

Materialul din care este confecționată rola (OT 50) are caracteristicile mecanice obținute prin încercări pe epruvetă, iar caracteristicile sunt valori medii (statistic).

Caracteristicile mecanice pentru OT 50 sunt următoarele [10] :

- rezistența la rupere: $\sigma_r = R_m = 490...500 \text{ N/mm}^2$;

- limita de curgere: $\sigma_c = R_{p0.2} = 280 \text{ N/mm}^2$;

- rezistența la oboseală prin ciclu alternant simetric (încovoiere): $\sigma_{-1} = 200 \text{ N/mm}^2$;

În cazul valorilor rezistenței la oboseală la tracțiune-compresiune (ciclu alternant simetric) și rezistenței la oboseală la tracțiune-compresiune (ciclu pulsant) s-au avut în vedere următoarele două relații experimentale pentru determinarea rezistenței la oboseală în cazul când nu există date obținute prin încercări, precizate în manualele de specialitate pentru proiectare în domeniul mecanic:

- rezistența la oboseală la tracțiune-compresiune (ciclu alternant simetric):

$$\sigma_{-1t} = (0,7...0,8) \sigma_{-1} = (0,7...0,8) \cdot 200 = 140...160 \text{ N/mm}^2$$

- rezistența la oboseală la tracțiune-compresiune (ciclu pulsant):

$$\sigma_{0t} = 1,5 \sigma_{-1t} = 1,5 (140...160) \text{ N/mm}^2 = 210...240 \text{ N/mm}^2$$

Concluzia este că, dacă se găsesc (în literatura de specialitate) valori ale caracteristicilor mecanice, acestea sunt valori medii, obținute prin încercarea unui număr mare de epruvete.

Diagrama Wöhler (în coordonate semilogaritmice) pentru oțelul OT 50 și solicitarea la oboseală prin ciclu pulsant la întindere-compresiune este de forma celui din Figura 8.

Numărul de cicluri 10^7 (corespunde punctului B) este considerat număr de cicluri de bază. Valoarea

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA EXPLOATĂRII MACARALELOR PORTUARE DE CHEI

lui σ ce corespunde punctului B este rezistența la oboseală pentru ciclul respectiv (σ_{-1}). Pentru $N > 10^7$ durabilitatea este nelimitată.

Intervalul AB – numit de durabilitate limitată, permite determinarea rezistenței la oboseală când numărul de cicluri de solicitare este între 10^4 și 10^7 .

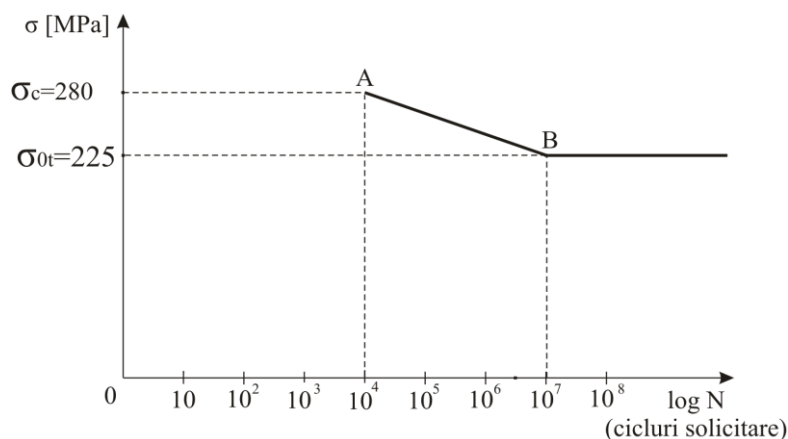


Fig. 8. Diagrama Wöhler (S-N sau σ -N) pentru rolele din materialul OT 50.

5. CONCLUZII

În această lucrare au fost prezentate o serie de elemente teoretice și aplicative privind optimizarea rolelor macaralelor portuare de chei. În urma observațiilor realizate la patru macarale portuare de chei Bocșa 16 t/20 t – 32 m ale operatorului portuar MinMetal S.A. s-a constatat că rolele din vârful macaralei se defectează în mod frecvent. Pentru acestea au fost realizate diagrama forțelor de încărcare, diagrama de încovoiere și diagrama de momente și a fost efectuat calculul forțelor manifestate în ansamblul role-cabluri. S-a calculat rezistența la rupere a cablurilor, forța de întindere în orice punct al cablului, forța de întindere în capătul liber al cablului, rezultanta forțelor pe rolă și presiunea pe role.

Se constată că la macaralele portuare de la MinMetal SA se recomandă să se utilizeze role din poliamidă în locul celor din oțel turnat OT 50. Rolele din poliamidă prezintă un triplu avantaj: sunt mult mai ușoare, sprijinirea pe osie se simplifică întrucât nu mai sunt necesare organe intermediare de tipul bușelor sau rulmenților și crește durabilitatea cablului deoarece contactul acestuia cu materialul plastic este practic inofensiv pentru cablu. Rolele din poliamidă pot fi executate prin strunjire din placă sau prin injectare sub presiune.

Fiind cunoscut faptul că, în cazul poliamidei, rezistența la tracțiune este de 500 MPa, rezistența la rupere prin încovoiere este de 600 MPa și densitatea 1,12... 1,18 kg/dm³ [11]. Materialul rolor, prin duritate și modulul de elasticitate influențează durabilitatea cablurilor. Celelalte condiții fiind egale,

un material mai puțin dur și cu un modul de elasticitate mai redus conduce la o durabilitate sporită a cablului. Astfel, rolele din fontă asigură o durabilitate cu 10-20% mai mare decât rolele din oțel, iar rolele din poliamida practic dublează durabilitatea cablurilor [6].

BIBLIOGRAFIE

- [1] <http://www.portofconstantza.com>
- [2] Toader, M., Sambotin, N., Bălănescu D., *Mașini termice și instalații navale și portuare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [3] Alămoreanu, M., Coman, L., Nicolescu, Ș., *Mașini de ridicat*, vol. 1, Editura Tehnică, București, 1996, pp.1, 87, 236-239; 245-250
- [4] Popinceanu N. și alții, *Probleme fundamentale ale contactului cu rostogolire*, Editura Tehnică, București, 1985
- [5] Toader, M., Sambotin, N., Bălănescu D., *Mașini termice și instalații navale și portuare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [6] Iurăscu, G., Buruiană, G., Chiriac, G., *Comandantul de cursă lungă în exploatarea navei maritime*, Editura Tehnică, București, 1974
- [7] Ernst, H., *Les appareils de levage*, Tome I, Principes et éléments de construction, Gauthier-Villars, Eyrolles, Paris, 1962
- [8] Dukelskii, A.I., *Portovâe gruzopodiemnâie mașini*, Editura Transport, Moscova, 1970
- [9] Segall, H., Viță, I., Popa, I., *Macarale pentru construcții*, Vol. 2, INCERC, București, 1975, p.333-334
- [10] Crudu, I., ș.a., *Atlas reductoare cu roți dințate*, București, Editura Didactică și Pedagogică, 1982
- [11] Antonov, A., *Reglementări referitoare la certificarea echipamentelor tehnice în România și sarcinile inspectorilor de muncă privind supravegherea pieței*, INCDPM București, 2002.

Despre autori

Șef lucrări. dr. **Cristina DRAGOMIR**

Universitatea Maritimă din Constanța, Romania

Absolvent al studiilor doctorale în cadrul Universității Maritime Constanța. În prezent sunt cadru didactic în cadrul aceleiași instituții și lucrez cu studenți și masteranzi în cadrul orelor de curs și seminar.

Șef lucr. dr. ing. **Ionuț Cristian SCURTU**

Academia Navală „Mircea cel Bătrân“ – Constanța

Absolvent al Academiei Navale Mircea cel Bătrân promoția 2010, doctor inginer din anul 2015. În prezent, Șeful Biroului Tehnico-administrativ cercetare științifică al : Academiei Navale Mircea cel Bătrân și cadru didactic asociat. Domenii de competență: Analiza CFD software Ansys, Analiză software structuri mecanice, dinamica structurilor plutitoare, construcția navelor.