

CALCULUL SĂGEȚII INIȚIALE DE ÎNCOVOIERE A TURNULUI ZĂBRELIT PRIN UTILIZAREA MODELULUI GRINZII ECHIVALENTE

V. Beleuța, S. Galbinean
Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Turnul reprezintă partea componentă, care asigură unei macarale rotitoare avantajul de a oferi sub braț, un spațiu de lucru mult mai mare, comparativ cu alte tipuri. După cum se știe, în partea superioară a turnului sunt amplasate: brațul, distanțierele, cabina, iar în cazul turnului nerotitor, contrabrațul, sistemul de orientare și mecanismele macaralei. La rândul său, turnul este susținut de către șasiul macaralei, platforma rotitoare, fundație, sistemele de ancorare la clădire ș.a. Foarte frecvent, mai ales în cazul macaralelor înalte, turnul este și cea mai mare componentă, cu cea mai mare pondere din masa constructivă a mașinii.

Din practica exploatării macaralelor se știe că, în afară de portanța și masa sa, turnul mai trebuie să corespundă unor rigori secundare, dar la fel de importante cum sunt: flexibilitatea, respectiv parametrii săi oscilatorii, precum și gabaritele secțiunii transversale.

Calculul acestor parametri este legat indispensabil de determinarea deplasărilor elastice, care în cazul structurilor zăbrelite, caracteristice majorității variantelor constructive utilizate, prevăd un volum mare de calcule. Această problemă devine mai acută, dacă ținem cont de faptul, că pentru obținerea unei construcții optime, este necesară verificarea mai multor variante, cu variația diverșilor factori ce influențează caracteristicile menționate mai sus.

1. FORMULAREA PRINCIPALEI IPOTEZE DE CALCUL ȘI PROBLEMEI PUSE SPRE REZOLVARE

Conform celor expuse în lucrările [1], [2], [3], [4] ș.a. putem admite întocmirea modelului simplificat de calcul al rigidității, prin înlocuirea structurii zăbrelite reale cu o grindă echivalentă, care ar avea aceeași rigiditate la încovoiere.

Conform GOST 13994-75, momentul de inerție al grinzii echivalente urmează a fi calculat conform relației:

$$I_{ech} = I_{lonj} \cdot k_S \cdot k_F ; \quad (1)$$

în care: I_{lonj} este momentul de inerție al lonjeroanelor turnului;

k_S - coeficientul subunitar, care ține cont de flexibilitatea sistemului de zăbrelire, la care este stabilită valoarea $k_S=0,95$ pentru toate cazurile;

k_F - coeficient ce ține cont de neliniaritățile aleatorii ale lonjeroanelor.

Analogic, în lucrarea [2], în aceleași scopuri, se propune relația:

$$I_{ech} = \frac{I_{lonj}}{\mu} ; \quad (2)$$

în care: μ este coeficient supraunitar, care ține cont de influența deformațiilor elementelor de zăbrelire, valorile aproximative ale căruia sunt date pentru unele cazuri particulare.

După cum s-a menționat în lucrarea [5], pentru starea de lucru, cu o aproximație acceptabilă calculelor preliminare, acțiunea repartizată a vântului, poate fi redusă la vârful turnului sub forma unei forțe orizontale care se va adăuga celei transmise de către partea rotitoare.

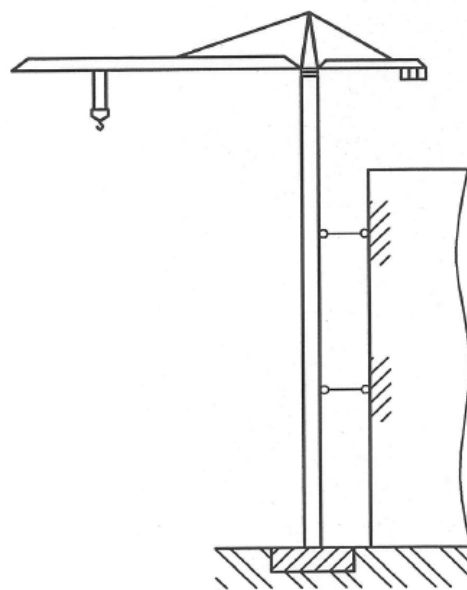


Figura 1.

În cadrul analizelor comparative, efectuate de către autorii prezentei lucrări, pentru cazul turnului nerotitor cu două ancoraje la clădire, s-au efectuat calcule cu aceleași variante de încărcări, pentru structura reală zăbreliță (v. fig.1) și pentru o grindă simplă cu momentul de inerție, egal cu cel al lonjeroanelor turnului (v. fig.2).

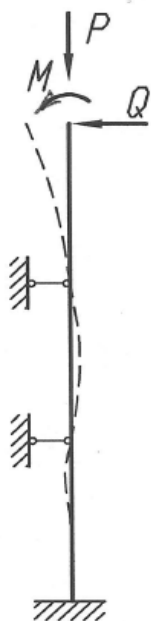


Figura 2.

În urma analizei rezultatelor, s-a constatat o mare variație a valorii necesare coeficientului de echivalare. Astfel, numai în funcție de modul încărcării, înălțimea turnului și parametrii săi de ancorare, eroarea în direcția diminuării a constituit de la 1,88% până la 16,51%, ceea ce denotă faptul, că utilizarea unui coeficient unic, sau stabilirea valorii sale orientative în baza unor cazuri particulare, nu este admisibilă.

Din aceasta reiese că, pentru a găsi o soluție sigură de echivalare a grinzii simple cu structura zăbreliță reală a turnului, este necesară analiza factorilor ce duc la aceste erori.

Scopul prezentei lucrări este găsirea soluțiilor de calcul operativ al săgeții primare de încovoiere la vârful turnului.

2. ANALIZA MODULUI PRIN CARE SE PRODUC DEFORMAȚIA TURNULUI ZĂBRELIȚ

După cum se știe, deformația structurii zăbrelițate în ansamblu, se produce în rezultatul alungirii și comprimării barelor componente, care duce atât la rotirea, cât și la modificarea geometriei „discurilor”

componente. Efectul încovoierilor locale ale barelor ca rezultat al rotirii nodurilor este nesemnificativ (v. [4] ș.a.). Pentru simplitatea expunerii, se propune examinarea schemei planeizate a structurii turnului fără ancorare (v. fig.3). În aceleași scopuri analiza se va limita la procesul de încovoiere primară (fără efectele de ordinul II).

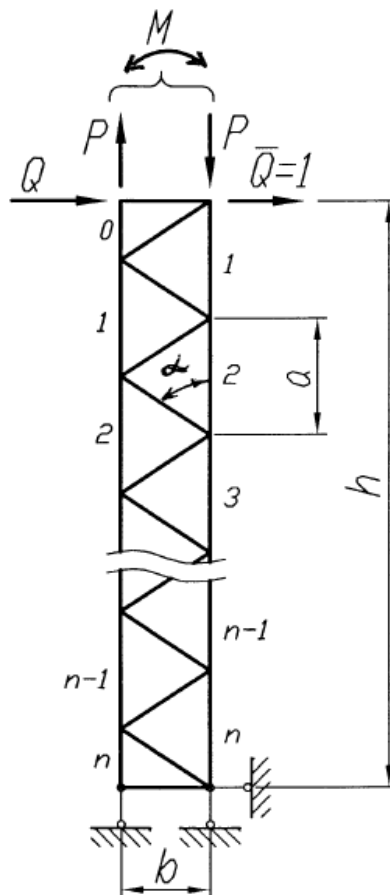


Figura 3.

Conform formulei Maxwell-Mohr (vezi [1], [2] ș.a.), deplasarea elastică pe direcție orizontală la capătul superior al turnului, constituie:

$$f = \sum_{i=1}^z \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E \cdot A_i} \cdot l_i ; \quad (3)$$

unde: \$i, z\$ este indicele barei curente și, respectiv, numărul total de bare;

\$N_i, \bar{N}_i\$ - efortul axial în bara \$i\$, determinat de încărcările de calcul și respectiv de o sarcină unitară acționând la nodul al cărui deplasare se calculează și în direcția acestei deplasări;

\$l_i, A_i\$ - respectiv, lungimea și aria secțiunii transversale a barei \$i\$;

\$E\$ - modulul de elasticitate longitudinal.

Divizând această sumă conform tipurilor și dimensiunilor barelor componente, putem exprima:

$$f = f_s + f_{dr} + f_d = \sum_{i=1}^n \frac{N_{si} \cdot \bar{N}_{si}}{E \cdot A_p} \cdot a + \sum_{i=1}^n \frac{N_{dri} \cdot \bar{N}_{dri}}{E \cdot A_p} \cdot a + \sum_{i=1}^d \frac{N_{di} \cdot \bar{N}_{di}}{E \cdot A_d} \cdot l_d ; \quad (4)$$

unde: n, d sunt numărul panourilor active ale lonjeroanelor și respectiv, numărul diagonalelor ($d=2n$);

$N_{si}, \bar{N}_{si}, N_{dri}, \bar{N}_{dri}$ - respectiv, eforturile axiale reale și virtuale la panourile lonjeronului din stânga și lonjeronului din dreapta;

a, l_d - respectiv, lungimea unui panou și a unei diagonale;

A_p, A_d - respectiv, aria secțiunii transversale a unui panou și a unei diagonale.

Utilizând metoda izolării nodurilor, efectuând unele transformări algebrice și aplicând formule existente pentru calculul sumei seriilor numerice (vezi [6]), obținem expresia de calcul a primei sume din relația (4), care reprezintă influența deformațiilor lonjeronului din stânga:

$$f_s = \frac{a}{EA_p} \cdot 2\bar{N}_d \cos \alpha \times \left[\frac{n(n+1)}{2} \cdot P + \left(\frac{n(n+1)(2n+1)}{3} \right) \times \right] ;$$

Introducând în această expresie egalitățile ce reies din schema de calcul (vezi fig.3), și anume:

$$N_d \cos \alpha = \frac{Qa}{2b} ; \quad \bar{N}_d \cos \alpha = \frac{a}{2b} ;$$

$$P = \frac{M}{b} ; \quad l_n = \frac{a}{2} ;$$

obținem relația:

$$f_s = \frac{a \cdot h}{2b^2 EA_p} \cdot \left(nM + \frac{Qa(4n^2 + 2)}{6} \right) ; \quad (5)$$

Analogic obținem expresia valorică a celei de a doua sume din relația (4), care reprezintă influența deformațiilor lonjeronului din dreapta:

$$f_{dr} = \frac{a \cdot h}{2b^2 EA_p} \cdot \left(nM + \frac{Qa(4n^2 - 1)}{6} \right) ; \quad (6)$$

Adunând expresiile (5) și (6) și ținând cont de expresia momentului sumar de inerție ale lonjeroanelor:

$$I = 2A_p \cdot \left(\frac{b}{2} \right)^2 \Leftrightarrow A_p \cdot b^2 = 2I ,$$

precum și de egalitatea $h = a \cdot n$, obținem relația de calcul a influenței deformațiilor la ambele lonjeroane:

$$f_s + f_{dr} = \frac{Mh^2}{2EI} + \frac{Qh^3}{3EI} + \frac{Qa^3 n}{24EI} ; \quad (7)$$

După cum se vede, în această formulă, primii doi termenii reprezintă săgeata de încovoiere, ce ar fi la o grindă simplă, momentul de inerție al căreia ar fi egal cu cel al lonjeroanelor turnului, iar cel de al treilea termen reprezintă deplasarea suplimentară, ce are loc la structura zăbreilită din cauza creșterii pe trepte a eforturilor de-a lungul lonjeroanelor.

Utilizând metoda proiecțiilor, descriem efectul produs de deformațiile diagonalelor. Astfel valoarea absolută a efortului la oricare din diagonale constituie:

$$N_d = \frac{Q}{\sin \alpha} = \frac{Q \cdot l_d}{b} = const ;$$

analogic: $\bar{N}_d = \frac{l_d}{b} ;$

Introducând aceste egalități în al treilea termen al expresiei (4), obținem forma:

$$f_d = \frac{2nQl_d^3}{EA_d \cdot b^2} ,$$

iar ținând cont de relațiile geometrice:

$$l_d = \frac{a}{2 \cos \alpha} ; \quad \text{și} \quad b = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha ,$$

obținem o formă mai expresivă a influenței diagonalelor asupra valorii săgeții de încovoiere:

$$f_d = \frac{Qh}{EA_d \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} ; \quad (8)$$

Adunând expresiile (7) și (8), obținem formula deplasării orizontale la capătul superior al turnului neancorat de construcție zăbreilită:

$$f = \frac{Mh^2}{2EI} + \frac{Qh^3}{3EI} + \frac{Qa^3n}{24EI} + \frac{Q \cdot h}{EA_d \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha}; \quad (9)$$

Pentru a estima influența celui de al treilea termen asupra rezultatului, îl împărțim către cel de al doilea, obținând astfel marja de eroare în funcție de numărul de panouri la un lonjeron:

$$\frac{\frac{Qa^3n}{24EI}}{\frac{Qh^3}{3EI}} = \frac{1}{8n^2};$$

astfel la :

$$\begin{aligned} n=6 &\Rightarrow 0,35\% & n=9 &\Rightarrow 0,15\% \\ n=7 &\Rightarrow 0,25\% & n=10 &\Rightarrow 0,125\% \\ n=8 &\Rightarrow 0,2\% \end{aligned}$$

Dacă ținem cont de faptul, că forța transversală constituie doar o parte din încărcare, atunci această eroare este încă mai mică.

3. CONSTATĂRI ȘI CONCLUZII

1. În baza studiului analitic expus mai sus, s-a obținut o formulă de calcul operativ al deplasării elastice primare la vârful turnului zăbreliț neancorat, fără a diminua precizia.

2. Deoarece influența celui de al treilea termen în formula (9) este mică, în funcție de destinația calculului și numărul de panouri, el poate fi omis reducând astfel volumul calculelor.

3. Influența celui de al patrulea termen din formula (9), care constituie deosebirea esențială dintre valorile săgeții de încovoiere la o grindă simplă și la o fermă, depinde atât de factori constructivi, cât și de modul încărcării. Astfel echivalarea precisă a fermei cu o grindă printr-un coeficient generalizat este problematică și de regulă, lipsită de sens.

4. Studiind factorul $\sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha$ și egalând derivata sa cu zero, obținem valoarea $\alpha = 54,736^\circ \approx 55^\circ$, care constituie unghiul optim între diagonale și lonjeroane, reieșind din criteriul rigidității structurii.

5. Metoda de calcul bazată pe adăugarea corecției de influență a diagonalelor, poate fi utilizată și în cazul turnurilor ancorate, urmând a fi aplicată succesiv la porțiunea de vârf și cea între ancorajul superior și următorul reazem (ancoraj sau fundație).

Bibliografie

1. **Alămoreanu M., Tișea T.** *Mașini de ridicat. vol.II, Editura tehnică, București, 2000.*
2. **Goxberg M.M.** *Metallicheskie konstrukcii pod' yomno-transportnyx mashin M.: Mashinostroenie, 1976*
3. **Nevzorov L.A., Zareczkii A.A. i dr.** *Bashennye krany. M.: Mashinostroenie, 1979*
4. **Segall H., Viță I., Popa I.** *Calculul și construcția macaralelor. I.N.C.E.R.C., București, 1975.*
5. **Andriuță M., Beleuța V.** *Determinarea săgeții inițiale de încovoiere a turnului macaralei în baza modelelor statistice. Chișinău, Meridian ingineresc, nr.1, 2012.*
6. **Ryvkin A.A., Ryvkin A.Z., Xrenov L.S.** *Spravochnik po matematike. M.: Vysshaya shkola, 1975*
7. **GOST 13994-75.** *Krany bashennye stroitel'nye. Normy raschyota.*