

OBSERVAȚII CU PRIVIRE LA CAUZELE ACCIDENTĂRII UNEI MACARALE PE ȘENILE CU BRAȚ CU ZĂBRELE LA DEPLASAREA IN SANTIER CU SARCINA LA CARLIG (I)

REMARKS ON THE ACCIDENT CAUSES OF A LATTICE BOOM CRANE IN A JOBSITE WHEN MOVING WITH A HOOK LOAD (I)

Laurențiu SÂRBU

prof. asociat dr. ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, România
Facultatea de Utilaj Tehnologic
e-mail: ing.laurentiusarbu@gmail.com

Rezumat: Modelele de calcul prezentate în această lucrare au fost elaborate cu privire la producerea accidentării unei macarale cu șenile cu braț cu zăbrele, la deplasarea cu sarcina în carlig în șantier. Capacitatea de ridicare maximă pentru acest tip de macara analizată aici este de 60 tone.

Conținutul materialului elaborat reprezintă un punct de vedere personal, documentat teoretic și completat cu unele exemplificări de calcul, prin care am căutat să justific cauzele care au contribuit la accidentarea macaralei la deplasare cu sarcină în carlig peste denivelările căii de rulare în șantier.

Cuvinte cheie: macara, sarcină, accident

Abstract: This scientific paper presents the calculation models that have been developed regarding a lattice boom crane accident in a jobsite when moving with a hook load. The maximum lifting capacity for this type of crane is 60 tons.

The content of this article is a personal point of view, theoretically documented and supplemented with some calculation examples, trying to justify the causes that contributed to the lattice boom crane accident when driving under load on the jobsite's rough terrain path.

Keywords: crane, load, accident

1. ELEMENTE LUATE IN CONSIDERARE IN MODELELE DE CALCUL PRIVIND ACCIDENTAREA MACARALEI.

Macaraua accidentată, prezentată aici, are o vechime de 30 de ani. Este tipul de macara specializată pentru lucrări de montaj (v.fig.1), care însă nu a fost prevăzută din fabricație cu dispozitive de siguranță - comandă performante pentru atenționarea și blocarea comenzilor în situațiile de pierdere a stabilității și aderenței șenilei cu drumul.

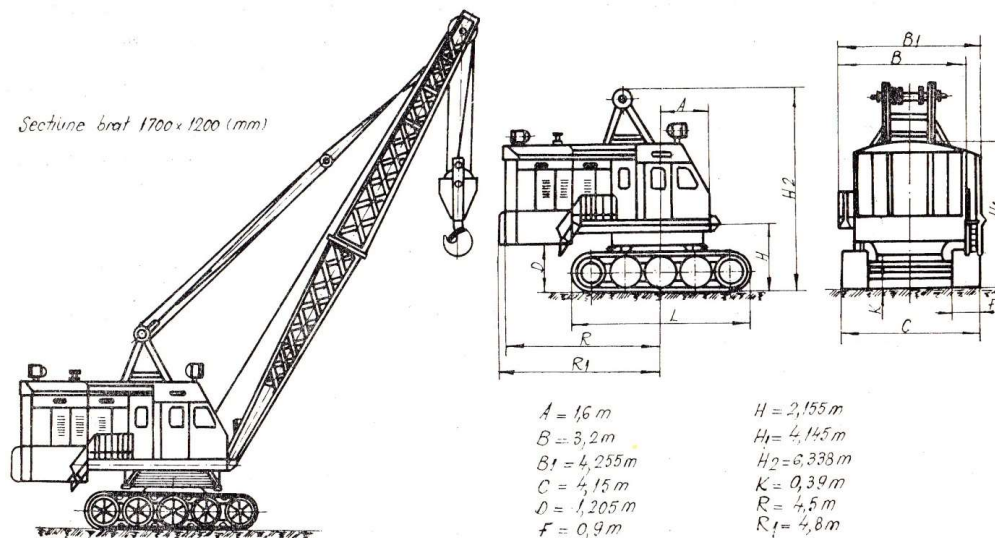


Fig. 1 [2]

Caracteristicile macaralei pe șenile cu braț cu zabrele luate în calcul sunt:

- Braț cu zabrele cu lungimea de 50 m cu masa de 14 t;
- Muflă cârlig 1,4 t;
- Sarcina de lucru: panou de scandură cu plasă de dimensiuni 6x8 m, cu masa de 4,8 t;
- Masa macara pe șenile cu contragreutate, 48 t.

Condiții de lucru:

- Deplasarea macaralei în teren cu un panou, pe care este întinsă o plasă, fixat în cârligul macaralei;
- Suprafața terenului conform fotografiilor și măsurătorilor făcute în teren, avea diferențe de nivel în plan longitudinal de 5 mm, iar în plan transversal de 8 mm, ceea ce a dus la suirea și coborârea șenilei în timpul deplasării peste denivelări;
- Poligonul de sprijin al macaralei: lungimea șenilei $L_s = 6,0 \text{ m}$, lățimea șenilei $b_s = 0,90 \text{ m}$, ecartamentul șenilelor $E_s = 2,8 \text{ m}$. Panta terenului în plan longitudinal este dată de unghiul α și în plan transversal de unghiul β .

Operații executate:

- S-a efectuat retragerea brațului prin basculare sub sarcină, de la poziția $\alpha_b = 75^\circ$ la un unghi mai mare, lucru care a generat producerea unor oscilații în sistemul de braț sub sarcină (unghiul maxim permis la brațul înclinat față de sol, este de $\alpha_b = 82^\circ$);
- A urmat deplasarea în spate a macaralei sub sarcină cu circa 1,5 m pe microprofilul terenului, unde în timpul mișcării se simțea ridicarea și coborârea șenilei peste denivelări. A urmat apoi deplasarea macaralei înainte, în aceleași condiții. Datorită denivelărilor acționarea mecanismului de translație sub sarcină s-a produs probabil cu șoc cu căderea șenilei în gol la deplasarea pe aceste denivelări în plan longitudinal și în plan transversal, brațul macaralei a început să vibreze, iar partea din spate a șenilei s-a ridicat față de sol.
- În ideea că va pierde stabilitatea macaralei, macaragiul execută o rotire a platformei cu brațul sub sarcină, astfel ca suprastructura brațului cu sarcina în cârlig să cadă peste clădirea aflată în demolare lângă macara. În cădere însă, brațul fiind foarte lung

Observații cu privire la cauzele accidentării unei macarale pe șenile cu braț cu zăbrele la deplasarea în santier cu sarcina la carlig (I)

s-a agățat și a trecut peste clădire, și macaraua s-a prăbușit sub sarcină, provocând în căder și avarierea unor mașini.

2. MODELE DE CALCUL CU PRIVIRE LA PIERDEREA STABILITĂȚII ÎN PLAN LONGITUDINAL A MACARALEI PE ȘENILE ÎN DIFERITE IPOSTAZE ALE DEPLASĂRII PE MICROPROFILUL DRUMULUI CU SARCINA LA CARLIG

Din prezentarea condițiilor de lucru, și a manevrelor executate cu macaraua, pe denivelările terenului, de dimensiuni foarte mici, a rezultat descompunerea forțelor verticale de greutate ale sarcinii, brațului și șasiului de macara pe direcție normală și tangențială (aceste sarcini se referă la platforma de rotire, contragreutatea, capra de sprijin a palanului de basculare braț, sistemul de rulare etc.).

Au apărut și forțe de inerție defavorabile în special în plan transversal unde mărimea denivelărilor a fost mai mare (v. fig.2).

Punctele de aplicație ale acestor forțe de greutate la vârful brațului, au fost majorate în plan transversal pe orizontală cu circa 0,138 m, iar în plan longitudinal cu 0,04 m.

Iar deplasarea centrului de greutate al brațului o considerăm jumătate din mărimea celei de la vârful. Accelerația luată în calcul s-a considerat de circa $0,1 \text{ m/s}^2$.

$$\text{Forța centrifugă: } F_c = m \cdot R \cdot \omega^2 = m \cdot R \cdot \left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2,$$

unde: m- este masa elementului considerat, R- raza măsurată în raport cu axa de rotire, n - turația platformei de rotire, în rot/min.

Modelul nr. I. Determinarea încărcărilor pe șenilele macaralei cu sarcină la cârlig în plan transversal (fig.2).

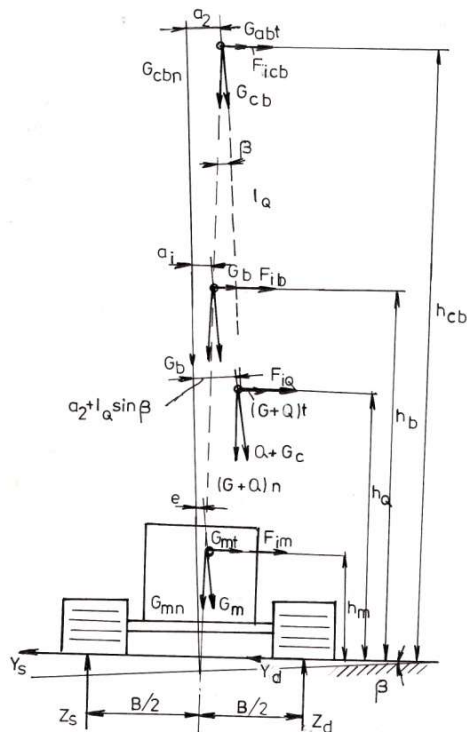


Fig. 2

Ipozeze de calcul:

- Denivelările microprofilului în plan transversal, acționează asupra construcției macaralei sub sarcină echipată cu un braț lung cu zabrele de 50 m. În timpul deplasării sub sarcină, șenilele macaralei urcă și coboară peste aceste neregularități din teren;
- Greutățile elementelor macaralei se descompun în componente normale și tangențiale în plan transversal;
- Se calculează deplasarea centrului de greutate al brațului, și cea de la vârful brațului aflat sub sarcină, sub acțiunea înclinării transversale maxime.
- Pe direcția forțelor tangențiale ale elementelor componente: la șasiu, în centrul de greutate al brațului, și respectiv la vârful brațului cu sarcina suspendată, acționează și forțele de inerție transversale.

Se determină reacțiunile solului în plan transversal pe șenile Z_s și Z_d la macaraua sub sarcină, cu acțiunea forțelor de inerție transversale (în poziția de lucru cu o șenilă peste un obstacol).

$$\begin{aligned} Z_s &= \frac{G_{mn} \left(\frac{B}{2} \pm e \right) + G_{bn} \left(\frac{B}{2} - a_1 \right) + G_{cbn} \left(\frac{B}{2} - a_2 \right) + Q_n \left[\frac{B}{2} - (a_2 + l \sin \beta) \right] - (G_{mt} + F_{im})h_m - (G_{bt} + F_{ib})h_b - (G_{cbt} + F_{icb})h_{cb} - (Q_n + F_{iq})h_Q}{B} \\ Z_d &= \frac{G_{mn} \left(\frac{B}{2} \mp e \right) + G_{bn} \left(\frac{B}{2} + a_1 \right) + G_{cbn} \left(\frac{B}{2} + a_2 \right) + Q_n \left[\frac{B}{2} + (a_2 + l \sin \beta) \right] + (G_{mt} + F_{im})h_m + (G_{bt} + F_{ib})h_b + (G_{cbt} + F_{icb})h_{cb} + (Q_n + F_{iq})h_Q}{B} \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$\sum Z = 0; \quad Z_s + Z_d = G_{mn} + G_{bn} + G_{cbn} + Q_n; \quad (1.2)$$

$$\sum Y = 0; \quad Y_s + Y_d = \varphi(Z_s + Z_d). \quad (1.3)$$

Dimensiunile indicate în fig.2 sunt: $h_{cb} = 48,296 \text{ m} - 2 \text{ m}$ (2m- reprezintă spațial de siguranță al muflei față de capul brațului); $h_b = 19.32 \text{ m}$; $h_Q = 14 \text{ m}$; $h_m = 2,7-2,8 \text{ m}$; $B = 2,8 \text{ m}$; $\beta = 0,1673^\circ$; $e = 0,1 \text{ m}$; $a_1 = 0,069 \text{ m}$; $a_2 = 0,238 \text{ m}$.

Modelul nr.II. Se consideră numai încărcările statice care acționează în plan vertical asupra macaralei (fig.3).

Ipozeze de calcul:

- Se consideră că 10% din masa brațului este redusă la capul brațului, pentru a majora influența dinamică a acestuia în timpul lucrului;
- Frontal asupra șenilei acționează o forță de rezistență F_x dată de denivelarea terenului;
- Se consideră reacțiunile verticale ale solului pe șenile, că acționează în dreptul roții stelte motoare și a roții de întindere a șenilei;
- Se introduce criteriul de pierdere al stabilității longitudinale, $Z_2 \leq 0$;
- Centrul de presiune al solului pe șenile acționează în punctul P.

Observații cu privire la cauzele accidentării unei macarale pe șenile cu braț cu zăbrele la deplasarea în șantier cu sarcina la carlig (I)

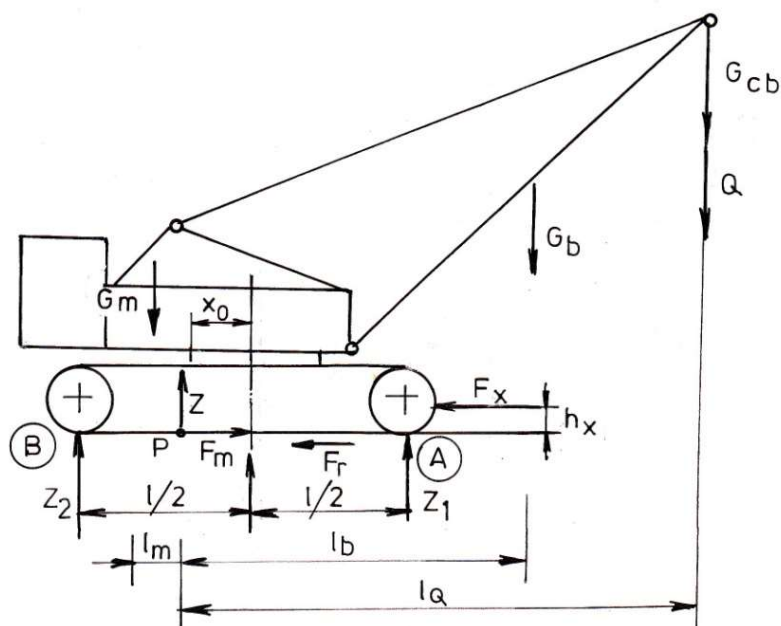


Fig 3

$$\sum M_p = 0; (G_{cb} + Q)l_Q + G_b l_b - G_m l_m + F_x h_x + Z_2 \left(\frac{l}{2} - x_0 \right) - Z_1 \left(\frac{l}{2} + x_0 \right) = 0; \quad (1.4)$$

$$\sum Z = 0; \text{ Notăm } Z_1 + Z_2 = P; \quad P = G_m + G_b + G_{cb} + Q; \quad (1.5)$$

Pierderea stabilității are loc când: $Z_2 \leq 0$. Rezultă:

$$(G_{cb} + Q) \left(l_Q + \frac{l}{2} \right) + G_b \left(l_b + \frac{l}{2} \right) - G_m \left(l_m + \frac{l}{2} \right) + F_x h_x = P \cdot x_0 \quad (1.6)$$

$$\text{Din } \sum X = 0, F_m - F_r - F_x = 0, \text{ sau } F_x = F_m - fP = F_m - f(G_m + G_b + G_{cb} + Q). \quad (1.7)$$

Ne interesează determinarea coeficientului de deplasare al centrului de presiune al șenilelor dat de relația:

$$c_d = \frac{x_0}{L} = \frac{(G_{cb} + Q) \left(l_Q + \frac{l}{2} \right) + G_b \left(l_b + \frac{l}{2} \right) - G_m \left(l_m + \frac{l}{2} \right) + (F_m - fP) h_x}{P \cdot L}; \quad (1.8)$$

Condiția de stabilitate este îndeplinită dacă: $c_d \leq \frac{1}{2}$;

$$\text{Presiunea șenilei pe sol: } p_{s \text{ sol}} = \frac{P}{2 \cdot A_s} = \frac{G_m + G_b + G_{cb} + Q}{2(l_s \cdot b_1)} \quad (1.9)$$

Modelul nr. III. Se consideră deplasarea macaralei pe șenile pe un teren orizontal cu sarcină la cârlig. Macaraua lovește un obstacol frontal cu șenila, cu o forță F_x . În aceste condiții apar forțe de inerție pe elementele mașinii și pe sarcină, în condiții de tracțiune sau de frânare a mașinii (fig. 4).

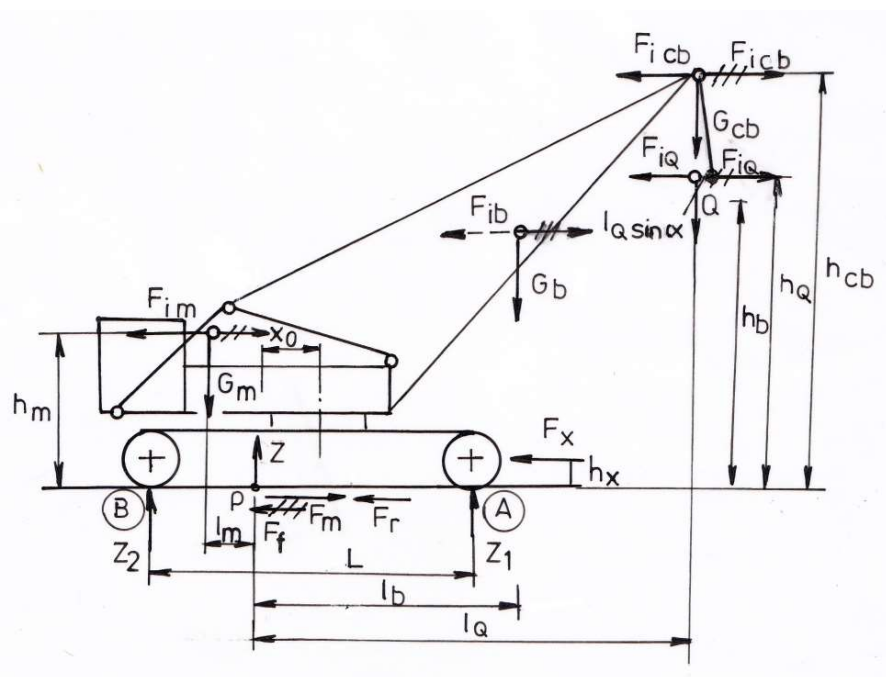


Fig. 4

Ipoteze de calcul:

-La lovirea șenilei cu obstacolul se produce rotirea macaralei în plan vertical în raport cu punctul A;

-Se determină condiția acțiunii forței motoare la șenile la limita de aderență, la lovirea cu obstacolul orizontal, sub acțiunea forțelor de inerție orizontale care acționează pe componentele macaralei și pe sarcină la demarare;

-Se determina expresia forței de frânare la șenile la limita de aderență, la lovirea cu un obstacol orizontal. Forțele de inerție care acționează pe construcție sunt de semn schimbat în cazul frânării.

$$\sum M_A = 0 ;$$

$$Z_2 L - G_m \left(l_m + x_0 + \frac{l}{2} \right) - F_{im} h_m + G_b \left(l_b - x_0 - \frac{l}{2} \right) - F_{ib} h_b + (G_{cb} + Q) \left(l_q - x_0 - \frac{l}{2} \right) - F_{icb} h_{cb} + Q(l_q - l'_q \sin \alpha) - F_{iq} h_q + P \left(x_0 + \frac{l}{2} \right) - F_x h_x = 0; \quad (1.10)$$

Pentru: $Z_2 \leq 0$, și

$$F_i = m_i \cdot a ; \quad F_{im} = \frac{\delta G_m}{g} \cdot a ; \quad F_{ib} = \frac{G_b}{g} \cdot a ; \quad F_{icb} = \frac{G_{cb}}{g} \cdot a ; F_{iq} = \frac{Q}{g} \cdot a .$$

din $\sum X = 0$, pentru regimul de tracțiune la lovirea obstacolului

$$F_x = F_m - F_r - F_{im} - F_{ib} - F_{icb} - F_{iq}, \quad (1.11)$$

în care: F_m - forța de tracțiune la șenile la limita de aderență; F_r - rezistența la rulare; F_x - forța care reprezintă rezistența frontală la șenilă la lovirea cu obstacolul.

Rezultă:

$$F_m \leq \frac{-G_m l_m + G_b l_b + (G_{cb} + Q) l_q + Q(l_q - l'_q \sin \alpha) - F_{im} h_m - F_{ib} h_b - F_{icb} h_{cb} - F_{iq} h_q}{h_x} + f \cdot P + F_i \quad (1.12)$$

a). Forța de tracțiune la limita de aderență trebuie să îndeplinească condiția: $F_m \leq \varphi \cdot P$.

Observații cu privire la cauzele accidentării unei macarale pe șenile cu braț cu zăbrele la deplasarea în santier cu sarcina la carlig (I)

Din relația de mai sus, se poate scoate înălțimea h_x de acțiune a forței F_x cu care se opune denivelarea, și care, trebuie depășită la deplasarea macaralei pe teren în condițiile date.

b). Forța de frânare la șenilă la limita de aderență respectă și ea condiția : $F_f \leq \varphi \cdot P$

din $\sum X = 0$, pentru regimul de frânare al macaralei la lovirea cu obstacolul avem:

$$F_x + F_f + F_r = F_{im} + F_{ib} + F_{icb} + F_{iQ}, \quad (1.13)$$

$$F_{im} = m_a \cdot a_f = \frac{\delta G_m}{g} \cdot \frac{dv}{dt},$$

în care: F_{im} – este forța dinamică la frânare care acționează pe macara cu greutatea G_m , mai puțin pe braț și sarcină; δ – coeficientul de inerție al pieselor aflate în mișcare de rotație al mecanismului de translație (sau la frânare); a_f – accelerația la frânare translație macara;

F_{ib}, F_{icb}, F_{iQ} – forțele de inerție care acționează pe braț, cap de braț și sarcină ($F_i = m_i \cdot a_f$).

$\sum M_A = 0$;

$$Z_2 L - G_m \left(l_m + x_0 + \frac{l}{2} \right) + F_{im} h_m + G_b \left(l_b - x_0 - \frac{l}{2} \right) + F_{ib} h_b + G_{cb} \left(l_Q - x_0 - \frac{l}{2} \right) + F_{icb} h_{cb} + Q \left(l_Q - x_0 - \frac{l}{2} + l'_Q \sin \alpha \right) + F_{iQ} h_Q + P \left(x_0 + \frac{l}{2} \right) - F_x h_x = 0; \quad (1.14)$$

$F_x = -F_f - F_r + F_{im} + F_{ib} + F_{icb} + F_{iQ}$, sau:

$$F_x = -P(\varphi + f) + F_{im} + F_{ib} + F_{icb} + F_{iQ} \cdot F_i = F_{im} + F_{ib} + F_{icb} + F_{iQ} \quad (1.15)$$

Se introduce expresia lui F_x în ecuația de momente. Rezultă:

$$F_f \leq \frac{G_m l_m - G_b l_b - G_{cb} l_Q - Q(l_Q + l'_Q \sin \alpha) - F_{im} h_m - F_{ib} h_b - F_{icb} h_{cb} - F_{iQ} h_Q}{h_x} - P \cdot f - F_i; \quad (1.16)$$

Modelul nr. IV (fig.5). Se consideră cazul când macaraua sub sarcină coboară panta drumului și se lovește de un obstacol cu forța F_x .

Ipoteze de calcul:

- Pierderea stabilității macaralei se produce în raport cu $Z_2 \leq 0$;
- Se consideră componentele greutateii elementelor de macara sub sarcină, cele normale și tangențiale împreună cu acțiunea forțelor de inerție;
- Se consideră coborârea pantei cu ajutorul motorului (sau în stare frânată) în plan longitudinal al macaralei cu sarcină. Aici forța de frânare F_f este de sens contrar cu forța motoare F_m .
- Forța de tracțiune se determină din condiția de aderență, la lovirea șenilei cu obstacolul care opune o forță F_x .

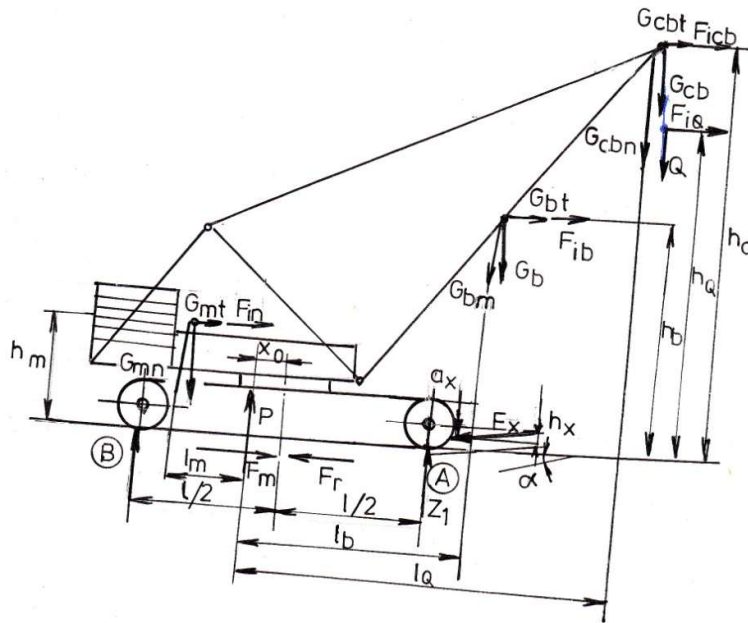


Fig. 5

-Se admite ipoteza acțiunii rezistenței frontale X a șenilelor cu terenul, ca urmare aici a tasării terenului, fenomen specific mașinilor pe șenile, adică: $X = \frac{G^2}{4L^2b_1C}$, în care: G - este greutatea totală a mașinii sub sarcină; L - lungimea șenilei; b_1 - lățimea șenilei; C - tensiunea de deformare volumică a solului.

Notă: Pentru a reduce rezistenței frontale a șenilei cu terenul, notată cu X , în principal se mărește lungimea L a șenilei.

$$\sum M_A = 0 ;$$

$$Z_2L - G_{mn} \left(l_m + x_0 + \frac{l}{2} \right) - (G_{mt} + F_{im})h_m + G_{bn} \left(l_b - x_0 - \frac{l}{2} \right) + (G_{bt} + F_{ib})h_b + (G_{cb} + Q) \left(l_q - x_0 - \frac{l}{2} \right) + [G_{cbt} + F_{icb}]h_{cb} + (Q_t + F_{iq})h_q + P \left(x_0 + \frac{l}{2} \right) + F_{xt}a_x - F_{xn}h_x = 0. \quad (1.17)$$

Se pune condiția $Z_2 \leq 0$, și după gruparea termenilor în $\sin \alpha$ și $\cos \alpha$, și neglijarea forțelor de inerție orizontale $F_i = 0$, rezultă o expresie de forma:

$$\left[G_m \left(l_m + \frac{l}{2} \right) - G_b \left(l_b - \frac{l}{2} \right) - (G_{cb} + Q) \left(l_q - \frac{l}{2} \right) - F_x h_x \right] \cos \alpha = [G_m h_m + G_b h_b + G_{cb} h_{cb} + Q h_q - F_x a_x] \sin \alpha. \quad (1.18)$$

$$\text{Se înlocuiește: } F_x \cos \alpha \quad a_x = P \cos \alpha (\varphi - f) a_x \quad \text{și} \quad F_x \sin \alpha \quad h_x = P \sin \alpha h_x \quad (1.19)$$

Condiția de stabilitate longitudinală a macaralei se determină din $\tan \alpha$ în regim de lucru static pentru macara ($F_i = 0$), ținând seama de coeficientul de aderență, notat cu φ și de coeficientul de rezistență la rulare, notat cu f al șenilei cu terenul.

Condiția stabilității în plan longitudinal, pentru cazul - *regim de lucru static la lovirea cu un obstacol*, este:

$$\tan \alpha \leq \frac{G_m \left(l_m + \frac{l}{2} \right) - G_b \left(l_b - \frac{l}{2} \right) - (G_{cb} + Q) \left(l_q - \frac{l}{2} \right) - P (\varphi - f) h_x}{G_m h_m + G_b h_b + G_{cb} h_{cb} + Q h_q - P a_x} \quad (1.20)$$

Observații cu privire la cauzele accidentării unei macarale pe șenile cu braț cu zăbrele la deplasarea în santier cu sarcina la carlig (I)

Din relația (1.20) se poate determina unghiul critic la coborârea pantei terenului, de către macara, cunoscând înălțimea nivelării maxime $h_{x\max}$, pentru un coeficient de aderență al șenilei cu solul $\varphi = 0,25$ și un coeficientul de rezistență la rulare $f = 0,05$, după [1].

$$P(\varphi - f)\cos\alpha - (P\sin\alpha + F_{im} + F_{ib} + F_{icb} + F_{iq}) = F_x, \quad (1.21)$$

unde: $F_i = F_{im} + F_{ib} + F_{icb} + F_{iq}$

$$F_{im} = m_a \cdot a = \frac{\delta G_m}{g} \cdot \frac{dv}{dt},$$

În care: F_{im} – este forța de inerție care acționează pe macara cu greutate G_m , mai puțin pe braț și sarcină; δ – este coeficientul dinamic al pieselor aflate în mișcare de rotație al mecanismului de translație; a – accelerația la translație; F_{ib}, F_{icb}, F_{iq} – sunt forțele de inerție pe braț, la capul de braț și pe sarcină ($F_i = m_i \cdot a$).

Din condiția $\sum X = 0$, la lovirea frontală a șenilei cu obstacolul, la limita de aderență a macaralei și neglijând forța de inerție $F_i = 0$, avem:

$$P(\varphi - f)\cos\alpha - P\sin\alpha = F_x, \quad (1.22)$$

unde s-a considerat că forța de rezistență exterioară frontală la șenile are expresia:

$$F_x \approx X = \frac{G^2}{4L^2 b_1 C}, \quad (1.23)$$

în care: X – reprezintă rezistența frontală la șenila. Pentru: $G = 69600 \text{ daN}$; $C = 2000 \frac{\text{daN}}{\text{m}^3}$, $L = 6 \text{ m}$; $b_1 = 0,9 \text{ m}$, avem $X = 18699,9 \text{ daN}$.

Modelul nr. V (fig.6). Se urmărește stabilitatea macaralei sub sarcină la deplasarea în linie dreaptă, și se impune corecția mișcării de deplasare înainte prin executarea unui viraj cu alunecare în plan transversal în condițiile cele mai defavorabile.

Ipoteze de calcul:

-Macaraua pe șenile se deplasează sub sarcină (fig.6), și execută un viraj inoportun cauzat de alunecarea șenilei. Deplasarea este spre vârful pantei în condiții defavorabile:

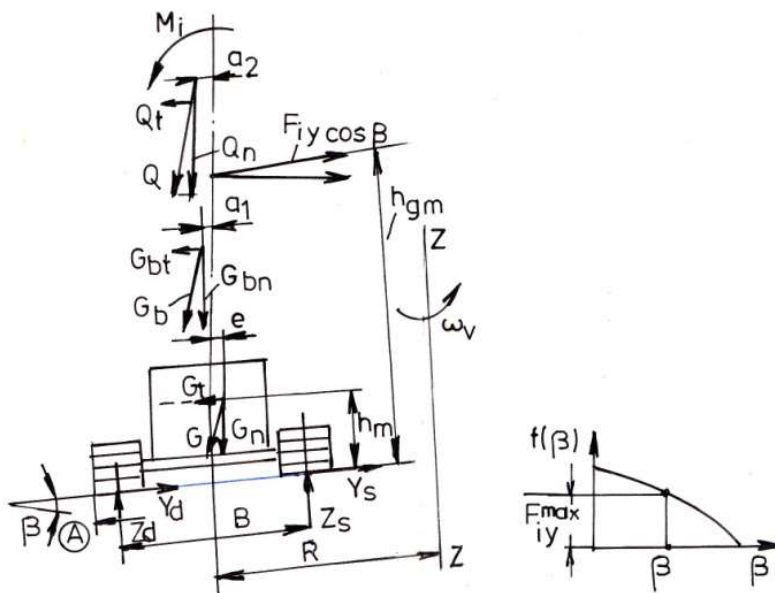


Fig. 6

-Asupra macaralei acționează componentele forțelor de greutate normale și tangențiale ale brațului și sarcinii, împreună cu componentele greutății mașinii, normală și tangențială, care acționează în centrul de greutate al mașinii și sun acțiunea forței de inerție;

-Se consideră că pe sarcină și pe braț, forțele acționează în plan transversal cu o anumită excentricitate a , iar în centrul de greutate al mașinii cu o excentricitate e și cu un moment de răsturnare M_i .

-Pierderea stabilității prin răsturnare transversală a macaralei sub sarcină are loc când $Z_d \leq 0$.

$$\Sigma M_A = 0; M_i + (G_{mt} + F_{iy})h_g + Z_s \left(B + \frac{b_1}{2} \right) - G_{mn} \left(\frac{B+b_1}{2} + e \right) - (F_{bn} + F_{qn}) \left(\frac{B+b_1}{2} - a \right) + F_{qt}h_Q + F_{bt}h_b = 0, \quad (1.24)$$

de unde:

$$Z_d = \frac{G_{mn} \left(\frac{B+b_1}{2} + e \right) + (F_{bn} + F_{qn}) \left(\frac{B+b_1}{2} - a \right) - [M_i + G_{mt}h_m + F_{iy}h_{gm} - F_{qt}h_Q - F_{bt}h_b]}{B + \frac{b_1}{2}}. \quad (1.25)$$

Aplicând criteriul de stabilitate $Z_d \geq 0$, relației de mai sus, rezultă:

$$F_{iy} \cos \beta \leq \frac{G_{mn} \left(\frac{B+b_1}{2} + e \right) + (F_{bn} + F_{qn}) \left(\frac{B+b_1}{2} - a \right)}{h_{gm}} - G_{tot.t} = (\beta_{cr}), \quad (1.26)$$

Coordonata verticală a centrului de greutate al mașinii pentru unghiul de înclinare transversal al terenului este dată de relația:

$$h_{gm} = \frac{G_{mt}h_m + G_{bt}h_b + G_{cb}h_{cb} + (Q + G_m)h_Q}{G_{tot.t}} = 10,6m$$

unde: β - unghiul pantei transversale măsurat în teren; β_{cr} - este unghiul critic de răsturnare transversal determinat.

Pentru determinarea stabilității statice în plan transversal, în relația de mai sus, se consideră:

$F_{iy} = 0$ și $M_i = 0$. Rezultă:

$$\tan \beta_{cr} \leq \frac{G_m \left(\frac{B+b_1}{2} + e \right) + (G_b + Q) \left(\frac{B+b_1}{2} - a \right)}{G_m h_g + Q h_Q + G_b h_b}, \quad (1.27)$$

Aici β_{cr} reprezintă valoarea unghiului pentru care se poate produce răsturnarea în plan transversal al macaralei sub sarcină.

Se urmărește ca înaintea răsturnării, să apară deraparea mașinii (deraparea precede răsturnarea), deci:

$$Y_s + Y_d \geq F_{iy} + G_{mt} + G_{bt} + Q_t, \quad (1.28)$$

unde: Y_s, Y_d - reprezintă forțele de aderență în plan transversal la contactul dintre șenile și teren.

Condiția de stabilitate pentru mașina în pantă în regim static ($F_{iy} = 0$) este:

$$Y_s + Y_d = \varphi(Z_s + Z_d) = \varphi G_{tot,n} \geq G_{mt} + G_{bt} + Q_t,$$

Pentru cazul rotiri macaralei în plan transversal în pantă coeficientul de aderență la șenile cu solul μ , se consideră $\mu = 0,2$. Forțele tangențiale de aderență în plan transversal între șenile și sol sunt:

$$(Y_s + Y_d)_{max} = \mu G_{tot,n}.$$

$$\text{Deci: } \mu G_{tot} \cos \beta \geq (G_{mt} + G_{bt} + Q_t) \sin \beta, \text{ rezulta: } \tan \beta \leq \mu. \quad (1.29)$$

Pentru $\mu = 0,20$; rezultă $\tan \beta \leq 0,20$, în care μ este coeficientul de aderență la rotirea șenilelor cu solul.

De unde rezultă unghiul critic de răsturnare în plan transversal $\beta_{cr} = 11,3^\circ$.

Modelul nr. VI (fig.7). Influența momentului de rezistență la viraj determinat de acțiunea forțelor transversale și de forța frontal - longitudinală X pe șenile. Calculul forțelor motoare care acționează la șenile la executarea virajului.

201

3. INFLUIENȚA FORTELOR TANGENȚIALE LA VIRAJ. MOMENTUL DE REZISTENȚA LA VIRAJ (V.FIG.7).

Ipoteze simplificatoare:

-Macaraua se deplasează în viraj în jurul unui centru instantaneu de viraj fix;

-Virajul se execută în regim stabilizat de mișcare;

Forțele de rezistență la rulare la cele două șenile sunt egale între ele adică $\frac{1}{2}$ din forța de rezistență la rulare, atunci când macaraua sub sarcină se deplasează în condiții similare pe un drum rectiliniu;

Macaraua se deplasează pe un drum orizontal (sau cu pantă transversală β și longitudinală α);

-Indicele care apare în formule se referă la forțele care acționează asupra macaralei în viraj;

Notății: O_T – centrul șasiului macaralei; O_1, O_2 - centrele șenilelor; F_{m1} - forța motoare la șenila întârziată; F_{m2} – forța motoare la șenila avansată;

Se consideră datorită deplasării mașinii pe un teren cu două pante (transversală și longitudinală), că în centrul de greutate al macaralei, acționează forța normală și tangențială a greutății totale $G_{tot} = G_{mas} + G_b + (G_{tv} + Q + G_{mufla})$ afectate de un unghi de înclinare echivalent θ , calculat în funcție de unghiurile β și α (v.fig.8), adică: $\sin \theta = 0,9063$; $\cos \theta = 0,423$.

Conform ipotezelor făcute, macaraua se deplasează în regim stabilizat de mișcare în viraj;

$F'_m = F'_r + [G_{mas} + G_b + (G_{tv} + Q + G_{mufla})] \cos \theta$ - reprezintă forța motoare la deplasarea în viraj care este egală cu forța motoare F_m la deplasarea rectilinie conform ipotezelor făcute.

În timpul efectuării virajului suma forțelor motoare exercitate asupra șenilelor macaralei este egală cu forța motoare exercitată asupra șenilelor la deplasarea în linie dreaptă.

Cele două forțe motoare au valori diferite, ele se determină din condiția de echilibru ale momentului scris în raport cu centrele O_1 și O_2 .

Forțele de tracțiune la șenila avansată F_{m2} și respectiv la cea întârziată F_{m1} sunt de forma:

$$F_{m2} = \frac{1}{2} \{ F'_r + [G_{mas} + G_b + (G_{tv} + Q + G_{mufla})] \cos \theta \} + \frac{M_{rez}}{B \cdot F_m};$$

$$F_{m1} = \frac{1}{2} \{ F'_r + [G_{mas} + G_b + (G_{tv} + Q + G_{mufla})] \cos \theta \} - \frac{M_{rez}}{B \cdot F_m};$$

unde $F'_r = f(Z_d + Z_s)$ – este rezistența la rulare în cazul particularizat în temă. Rezistența la rulare se ia la fiecare șenilă în parte, în funcție de încărcările determinate pe ele în ipotezele de calcul făcute.

Definim parametru de viraj $\nu = \frac{M_{rez}}{B \cdot F_m}$

$$\text{Rezultă: } F_{m1} = F_m \left(\frac{1}{2} - \frac{M_{rez}}{B \cdot F_m} \right) = F_m \left(\frac{1}{2} - \nu \right);$$

$$F_{m2} = F_m \left(\frac{1}{2} + \frac{M_{rez}}{B \cdot F_m} \right) = F_m \left(\frac{1}{2} + \nu \right);$$

$$\text{în care } M_{rez} = \frac{\mu GL}{4} \left[1 + \left(\frac{v^2}{\mu G R_v} \right)^2 \right] \cos \theta - G \cdot x_0 \sin \theta + F_{iy} x_0 \cos \theta;$$

$$\text{Momentul de viraj este } M_v = (F_{m2} - F_{m1}) \frac{B}{2}.$$

Notă: Valorile $\cos \theta$ și $\sin \theta$ ale unghiului θ , care reprezintă terenul cu două pante pe care coboară macaraua cu sarcină la cârlig, se obțin din combinarea unghiurilor de pantă în plan longitudinal și transversal (v. fig.8), cu relațiile:

$$\cos \theta = \frac{A}{C} = \frac{\sqrt{L^2 + (L \cdot tg \alpha)^2}}{\sqrt{L^2 + (L \cdot tg \alpha)^2 + B^2 + (B \cdot tg \beta)^2}}; \quad \sin \theta = \frac{B}{C} = \frac{\sqrt{B^2 + (B \cdot tg \beta)^2}}{\sqrt{L^2 + (L \cdot tg \alpha)^2 + B^2 + (B \cdot tg \beta)^2}},$$

Observații cu privire la cauzele accidentării unei macarale pe șenile cu braț cu zăbrele la deplasarea în santier cu sarcina la carlig (I)

în care: $L=6\text{m}$; $B=2,8\text{ m}$, $\text{tg}\alpha = \text{tg } 0,048$; $\text{tg } \beta = \text{tg } 0,1537$.

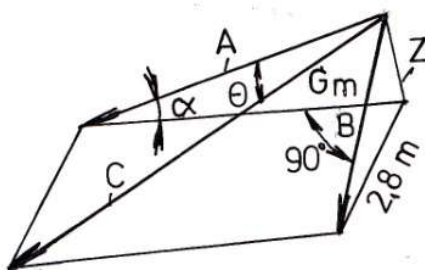


Fig. 8

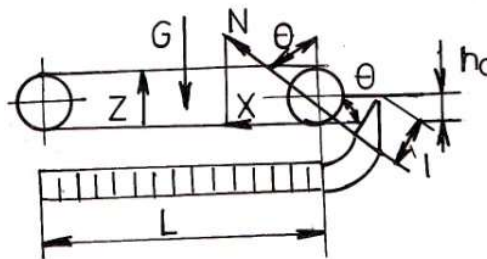


Fig. 9

Pentru varianta deplasării macaralei în pantă, pe un teren perfect plan și tare cu înclinare în două planuri (transversal și longitudinal), din calcule au rezultat următoarele valori ale forțelor motoare de tracțiune la șenile:

- La deplasarea rectilinie: $F_m = 32537,15 \text{ daN}$;
- La deplasarea în viraj: la șenila înaintată $F_{m2} = 22826,3 \text{ daN}$; și $F_{m1} = 9367,4 \text{ daN}$ la șenila întârziată.
- Momentul de rezistență la viraj este: $M_v = (F_{m2} - F_{m1}) \frac{B}{2} = (22826,3 - 9367,4) \frac{2,8}{2} = 18842,5 \text{ daNm}$.
- Valorile parametrului de viraj ν calculate pentru diferite situații de lucru analizate, și pentru momentul de viraj M_v , în daNm, sunt:

Pentru parametrul de viraj calculat $\nu = 0,209 < 0,5$, momentul de viraj $M_v = 18842,5 \text{ daNm}$.

Sensul de aplicare al forțelor motoare de tracțiune la șenile, la executarea virajului, este dat de valorile parametrului de viraj calculat ν , și prezentat în fig.10. În funcție de acest parametru, se determină poziția centrului instantaneu de viraj al mașinii.

Astfel, virajul se poate executa foarte strâns, când centrul instantaneu de viraj este între centrele de presiune ale șenilelor, sau se execută în jurul unei șenile blocate.

Dacă $\nu \leq 0,5$, centrul instantaneu de viraj este plasat în exteriorul șenilelor, și forțele motoare F_{m1} și F_{m2} sunt diferite ($F_{m2} > F_{m1}$), dar au același sens. În acest caz, aderența șenilelor este asigurată la viraj și macaraua este stabilă.

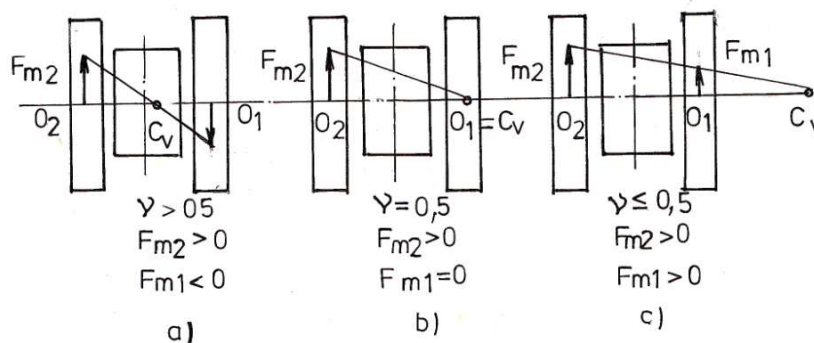


Fig. 10

4. ELEMENTE DE CALCUL

Dacă considerăm de exemplu, în caz ipotetic, calculul reacțiunilor pe șenile în plan transversal în condițiile unei sarcini majorate reduse la vârful brațului de 50% din masa m_b , se obține:

$$Z_s = 26741,4 \text{ daN} \quad \text{și} \quad Z_d = 46586,3 \text{ daN}$$

Presiunea pe sol în plan transversal pe fiecare șenila este:

$$p_s = \frac{Z_s}{A_s} = \frac{26741,4 \text{ daN}}{600,90 \text{ cm}^2} = 0,477 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2};$$

$$p_d = \frac{Z_d}{A_s} = \frac{46586,3 \text{ daN}}{600,90 \text{ cm}^2} = 0,863 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}.$$

Forțele de frecare care apar în plan transversal între șenile și sol sunt:

$$Y_s = \varphi Z_s \quad \text{și} \quad Y_d = \varphi Z_d,$$

unde: φ este coeficientul de aderență dintre șenilă și sol în plan transversal. Acest coeficient are aceeași valoare cu coeficientul de aderență în plan longitudinal dintre șenilă și sol.

Pentru un drum de piatră sau de beton avem: coeficientul de aderență pentru șenile $\varphi = 0,25$; coeficientul de frecare $f = 0,05$ iar coeficientul de aderență la rotire șenilă – sol, $\mu = 0,20$.

Când au fost cuplate motoarele electrice de translație pentru deplasarea înapoi cu cca 1,5 m, și brațul a fost basculat pe spate la un unghi mai mare de 75° față de orizontală, forțele de tracțiune aplicate la șenile stânga – deapta, au acționat diferit, în funcție de încărcarea repartizată șenilelor pe sol, și ele au provocat un dezechilibru în plan orizontal în funcție de natura terenului.

Rezistența la rulare a șenilelor la urcare rampă se consideră de forma:

$$F_r = \psi G_{tot.n} = (f + p\%) \cdot G_{tot.n} + X,$$

unde: $\psi = f + p\%$, este coeficientul total de rezistență la rulare, în care f este coeficientul de rezistență la rulare dintre șenilă și teren, p – panta terenului și $G_{tot.n}$ – componenta normală a greutății totale a macaralei în plan vertical; iar X – rezistența frontală care poate să apară la șenilă în timpul deplasării

Forța de tracțiune totală la cele două roți motoare stelate F_m este:

$$F_m = \psi G_{tot.n} + X;$$

$$F_m \geq F_{r1} + F_{r2} + (Z_s + Z_d) \sin \alpha + X;$$

$$F_{r1} = Z_s f_1, \quad F_{r2} = Z_d f_2$$

unde: F_{r1}, F_{r2} – sunt rezistențele la rulare ale șenilelor; Z_s, Z_d – încărcările repartizate în plan transversal pe șenile; X – rezistența frontală la șenilă.

Pentru $X=0$, condiția de mișcare fără derapare a mașinii, este ca forța de tracțiune dezvoltată la șenilă la limita de aderență, să fie mai mică sau egală cu φZ_i , adică:

$$F_m \leq \varphi (Z_s + Z_d) = \varphi \cdot P, \quad (i=1,2)$$

unde: F_m – este forța de tracțiune dezvoltată la șenile; φ – coeficientul de aderență dintre șenilă și teren, având în vedere o eventuală forțare a deplasării datorită existenței denivelărilor din teren.

Se consideră valoarea coeficientului de aderență $\varphi = 0,25$, iar $P = Z_s + Z_d$ – componenta greutăților repartizate pe șenile în plan transversal, calculată aici pentru o masă majorată redusă la vârf de 50%.

$$F_{m1} + F_{m2} \leq 0,25 \cdot (26741,4 + 46586,3) \text{ daN} = 18331,75 \text{ daN};$$

Observații cu privire la cauzele accidentării unei macarale pe șenile cu braț cu zăbrele la deplasarea în santier cu sarcina la carlig (I)

$$F_m > Z_s f_1 + Z_d f_2 + (Z_s + Z_d) \sin \alpha ;$$

$$\sin \alpha \leq \frac{F_m - Z_s f_1 + Z_d f_2}{Z_s + Z_d} = 0,2 \quad \text{adică unghiul rampei } \alpha \leq 11,5^\circ$$

În lucrarea [1], pentru pante $\alpha = 1^\circ - 20^\circ$, se dă: $\sin \alpha = 0,016\alpha$ și $f_1 = f_2 = 0,05$,

$$\alpha = \frac{F_m - Z_s f_1 + Z_d f_2}{0,016(Z_s + Z_d)}, \text{ rezultă cu această formulă unghiul rampei: } \alpha = 12,5^\circ$$

Valorile forței de tracțiune reale la celor două șenile F_{m1} , F_{m2} se pot determina cunoscând caracteristicile motoarelor electrice de translație ale macaralei și schema cinematică a transmisiei motor - roată stelată la șenile.

Condiția a doua de aderență a șenilelor, pentru cazul când o șenilă urcă și cealaltă coboară față de sol, exprimată prin coeficientul de aderență, se poate considera de forma:

$$\alpha_1 = \frac{Z_s(\varphi - f) - Z_d(\varphi - f)}{16(Z_s + Z_d) + 5\varphi Z_d} \quad \text{și} \quad \alpha_2 = \frac{Z_d(\varphi - f) - Z_s(\varphi - f)}{16(Z_s + Z_d) + 5\varphi Z_s},$$

$$\text{rezultă unghiurile } \alpha_1 = -0,0325^\circ; \quad \alpha_2 = 0,0033^\circ$$

Se observă că apare un unghi negativ în condiția a doua de aderență în raport cu solul, când încărcarea pe șenile este $Z_s < Z_d$.

În acest caz, șenila cu încărcarea Z_s mai mică s-a ridicat de la sol, fapt confirmat.

La coborare pantă, transportul este periculos, deoarece la dezvoltarea unor viteze mari poate avea loc pierderea stabilității și răsturnarea macaralei. Se pune problema asigurării unor viteze constante și sigure ale mișcării. Aici forța de acționare la deplasarea în panta este:

$$F_m = F_{r1} + F_{r2} - (Z_s - Z_d) \sin \alpha,$$

La valori mari ale unghiurilor de înclinare ale terenului, reacțiunile Z_s , Z_d pot atinge valori atât de mari, încât să depășească forțele de rezistență $F_{r1} + F_{r2}$, imprimând macaralei o mișcare accelerată chiar și la oprirea motorului.

Pentru prevenire, este necesar ca forța de frânare F_f împreună cu forțele de rezistență $F_{r1} + F_{r2}$ să fie mai mari decât forța de accelerare, adică:

$$F_f + F_{r1} + F_{r2} \geq F_d.$$

$$\text{de unde: } F_f = F_d - (F_{r1} + F_{r2});$$

Pentru varianta I de calcul, rezultă: $F_f = 5132,9 \text{ daN}$.

Acționând frâna, se micșorează viteza și chiar oprirea macaralei, după care începe să se deplaseze prin patinare, cea ce înseamnă că energia forțelor de mișcare (componentele greutatei proprii pe direcția deplasării) este consumată numai la învingerea rezistențelor în mișcarea de patinare.

Rezistențele în acest caz se pot aproxima ca mărime egală cu forța de tracțiune în condiții de aderență cu solul, adică:

$$F_{r1} + F_{r2} = F_m. \quad \text{În variant I: } F_m = 3666,35 \text{ daN}$$

De unde, se pot determina unghiurile la care se poate obține mișcarea de patinare având frâna trasă la șenile:

$$\alpha_{1p} = \frac{1000 \cdot \varphi \cdot Z_s}{5Z_s + 16(Z_s + Z_d)} \quad \text{și} \quad \alpha_{2p} = \frac{1000 \cdot \varphi \cdot Z_d}{5Z_d + 16(Z_s + Z_d)}.$$

Unghiurile pentru care se poate obține mișcarea de patinare cu frâna trasă, pentru încărcările transversale pe șenile Z_s și Z_d , rezultate din calcul sunt:

$$\alpha_{1p} = 5,103^\circ \quad \text{și} \quad \alpha_{2p} = 0,827^\circ.$$

Pericolul apare când unghiul sub care se obține mișcarea de patinare la coborâre este dat la încărcarea pe șenila mai puțin încărcată $Z_s < Z_d$.

Notă:

În cazul de față, deserventul macaralei nu avea cum să gestioneze mișcarea de translație a macaralei sub sarcină, decât cu acționarea frânei la coborârea șenilei. Mișcarea de translație este sigură doar în condițiile în care, încărcările pe șenile în plan transversal sunt aproximativ egale, pe drum neted (fără denivelări și rezistent), cu sarcina ridicată de la sol la o înălțime maximă $h = 0,5\text{m}$.

În funcție de plasarea încărcărilor în plan transversal pe șenile, au fost determinate unghiurile posibile atinse la coborâre de pe denivelările terenului, cea ce a condus la apariția unor componente tangențiale suplimentare în plan longitudinal, la ridicarea părții din spate a șenilei și pierderea aderenței.

Mișcarea următoare, a fost o rotire bruscă a platformei cu brațul lung de 50 m lungime, (braț basculat la un unghi de aproximativ 80°) sub sarcină, și supus unei încărcări de forma:

$$F_{tv} = (G_b + F_c + G_m + Q) \sin \omega t,$$

în care: G_b – este greutatea totală a brațului de macara, F_c – forța din cablu de ridicare basculare; G_m - greutatea muflei cârligului; Q - sarcina alcătuită din panoul cu plasă de sârmă de dimensiuni mari (posibil și cu oscilații mici).

Acțiunea acestor oscilații s-a însumat, cu tendința de rotire la vârful brațului, și cu acțiunea sistemului de mers la nivelul terenului, unde s-a produs alunecarea șenilei, urmată de scăderea aderenței la contactul șenilă - sol.

Cunoscând datele concrete ale macaralei analizate, indicate în cartea tehnică, se pot face unele aplicații de calcul, folosind formulele date în modelele prezentate, de unde se pot deduce cauzele producerii accidentului.

Este vorba de o gestionare incorectă a mișcărilor de lucru ale macaralei în condiții din teren date, și de nerespectare a condițiilor de lucru ISCIR, cu privire la creșterea unghiului de înclinare al brațului și la executarea deplasării macaralei cu sarcină la cârlig peste denivelările din teren.

De exemplu în fig.9, s-a admis o valoare mică a rezistenței exterioare X , care acționează frontal pe șenile. S-a considerat acțiunea X doar la o șenilă, la valoarea: $X \approx \frac{F_X^S}{10} = \frac{13920 \text{ daN}}{10} = 1392 \text{ daN}$, deoarece înălțimea denivelării măsurate în teren este mică, și ca atare și X este mică.

Momentul de răsucire orizontal suplimentar va fi: $M_x = X \cdot \frac{B}{2} + R_v = 1392 \cdot 4,4 = 6124,8 \text{ daNm}$, care se adaugă în acest caz la M_{rez} ;

Direcția de mers a mașinii a fost asigurată prin efectuarea unor mișcări controlate asupra șenilelor, aplicând forțe de tracțiune diferite la șenile. Momentele de rezistență la viraj, care apar cu semn negativ la șenile, au fost date de rezistențele tangențiale la șenile de sens contrar, în condițiile în care o șenilă urcă și alta coboară în teren

Direcția de mers la șenile, a fost menținută prin aplicarea unor forțe de tracțiune diferite la șenile, care au impus astfel și o mișcare ușoară de viraj, însă care au condus la pierderea stabilității macaralei prin scăderea aderenței la șenilă, la deplasarea pe terenul accidentat din beton, când forța de tracțiune dezvoltată la limita de aderență nu a mai fost capabilă să învingă rezistențele obstacolelor întâlnit în teren.

În cazul c, din fig.11, parametrul de viraj $\nu = 0,209 < 0,5$, iar momentul de viraj este $M_v = 18842,5 \text{ daNm}$.

Observații cu privire la cauzele accidentării unei macarale pe șenile cu braț cu zăbrele la deplasarea în santier cu sarcina la carlig (I)

În aceste condiții, macaraua execută mișcarea de viraj în condiții de totală siguranță, unghiurile de înclinare ale terenului sunt mici, iar suprafața dacă este perfect plană, este asigurată forța de tracțiune necesară mișcării și stabilității macaralei.

Forța motoare de tracțiune la ambele șenile este de $F_m = 32190$ daN. Ea se află sub o valoare mai mică, în cea ce privește valoarea impusă de limita de aderență, adică

$$F_m = 32190 \text{ daN} \leq F_{m.la} = 32975 \text{ daN}.$$

În acest caz, se poate învinge rezistența care apare frontal chiar la ambele șenile $X = 26803$ daN, precum și învingerea obstacolelor întâlnite în cale calculate din condiții statice de deplasare atât pe orizontală $F_x = 13920$ daN, cât și în pantă de $F_x = 14565$ daN.

În celelalte cazuri de execuție a virajului la coborarea în pantă (v. fig.11, a și b), parametrul de viraj ν ia valori însă negative mici, sau foarte mici, iar momentele de viraj care se dezvoltă au valori mult mai mici sau chiar negative, față de situația considerată mai sus, cea ce implică schimbarea semnului la momentul de rezistență al șenilelor, datorită condițiilor cauzate de pierderea aderenței la șenila care urcă în raport cu cea care coboară.

În consecință, poate avea loc pierderea stabilității macaralei la viraje și pe înclinări de drum foarte mici, soldate cu lunecare laterală și cu ridicarea unei șenile de pe sol, existând pericolul de răsturnare.

6. CONCLUZII

Mecanicul a urmărit corectarea traiectoriei de mers a mașinii, prin executarea unor comenzi diferite asupra forțelor de tracțiune aplicate fiecărei șenile, care au determinat un efect de viraj pentru a elimina mărimea momentul M_x , majorat probabil și de forța axială X care acționa frontal la o șenilă. Pierderea condițiilor de aderență cu solul au condus la apariția unor vibrații periculoase în coloana brațului, care au afectat și ele stabilitatea construcției.

Aceste acțiuni au fost luate în considerare în ipotezele făcute la modelele de calcul prezentate mai sus (de la modelul nr. I până la nr.VI).

A urmat apoi, executarea de către macaragiu a unei mișcări riscante făcută voit, prin rotirea brațului spre clădire, astfel ca răsturnarea să se producă peste construcția aflată în demolare în mod controlat, însă datorită brațului foarte lung, el s-a împiedicat de clădire, și în cădere la sol a avariat două vehicule staționate pe drum.

Este de menționat și faptul că, la modelele de calcul prezentate, de la nr. I până la nr.VI, accelerațiile luate în calcul, pentru determinarea forțelor de inerție, au fost apreciate inițial la valoarea de $0,1 \text{ m/s}^2$. Lucru care corespunde în cazul manipulării atente a macaralei cu sarcină la cârlig, când acesta se deplasează pe un teren perfect plan și rezistent.

Macaraua accidentată este o macara cu o vechime de peste 30 de ani, specializată pentru lucrări de construcții-montaj, care însă, nu a fost prevăzută din fabricație, la timpul respectiv, cu dispozitive de siguranță - comandă performante care să atenționeze și să blocheze comenzile în situații periculoase de pierdere a stabilității și a aderenței șenilelor în raport cu calea de rulare.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. **H. Segall, I. Vîță, I. Popa** - *Macarale pentru construcții*, Vol. 1 și 2, INCERC –Redacția publicațiilor pentru construcții, București 1975;
- [2]. **Panait Ionescu, Fl. Olaru, L. Tăbăcaru, C-țin Bunea** - *Memorator tehnic pentru montaj*, Utilaje pentru ridicat și transportat. Trustul de Montaj Utilaj Chimic București.
- [3]. **L. Sârbu** – *Mașini de tracțiune și transport pentru construcții*, Vol. I și II, Editura Ion Creangă, București, 2002.
- [4]. **L. Sârbu, M. Neamțu, A. Davidescu** – *Utilaje de ridicat, manipulat și transportat pentru construcții, montaj-industrial și căi de comunicații în transporturi*, Elemente de calcul și tehnologii de lucru la sfârșitul secolului XX și începutul secolului XXI., Vol. I, II și III, Editura Matrix Rom, București, 2019.