

## STABILITATEA MIȘCĂRII LONGITUDINALE A PLATFORMELOR TIP 4 x 4 PENTRU TRANSPORTAREA ECHIPAMENTELOR TEHNOLOGICE AGABARITICE

### STABILITY OF LONGITUDINAL MOVEMENT OF 4 X 4 TYPE PLATFORMS FOR TRANSPORTING OVERSIZED TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Radu I. IATAN<sup>1</sup>,  
Cristina SALCA<sup>2</sup>, Mihai STĂTESCU<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Prof. univ. emerit dr. ing. - Universitatea POLITEHNICA din București, Romania

<sup>2</sup> Drd. ing. - Universitatea POLITEHNICA din București, Romania

<sup>3</sup> Drd. ing. - Walter Tosto WTB

**Rezumat.** *Lucrarea abordează stabilitatea mișcării longitudinale a unui ansamblu echipament tehnologic – platformă pentru transportare, de tip 4 x 4, atât la urcarea rampei, cât și la coborârea unei pante. Se iau în considerație sarcinile existente, date de masa ansamblului și de efectul eolian, forțele respective fiind considerate concentrate în centrele de masă/greutate. Se verifică stabilitatea mișcării prin intermediul raportului dintre momentul încovoietor de răsturnare și cel de stabilitate, pe de o parte, și respectarea capacității portante a pneurilor, pe de altă parte.*

**Cuvinte cheie:** *Stabilitatea mișcării longitudinale, platformă pentru transportare*

**Abstract.** *The paper approaches the longitudinal movement stability of a technological equipment assembly - platform for transportation, 4 x 4 type, both uphill and downhill a ramp. Taking into account the existing loads, given by assembly weight and the wind effect, those forces are being considered to be concentrated in the mass / weight center. On the one hand it is verified the stability of movement through the ratio between the rollover bending moment and the stability moment, and on the other hand the compliance of the load-bearing capacity of the tires.*

**Keywords:** *Longitudinal movement stability, platform for transportation*

## 1. INTRODUCERE

Transportarea rutieră a echipamentelor industriale reprezintă un interes deosebit, în special a celor agabaritice, din punctul de vedere al maselor și geometriei lor (lungime, diametru circumscris). În acest sens trebuie să se realizeze o analiză atentă a traseelor urmate, a stării părții carosabile, a pantelor și rampelor existente, a condițiilor meteorologice efective. Ca urmare, alegerea platformelor adecvate pentru transportare, a ancorării necesare, precum și selectarea mijloacelor permanente sau locale pentru tractare se va realiza în condiții tehnice și economice bine justificate. Rezultatul acțiunii globale se va concretiza în siguranța transportului, în general, și a structurii deplasate, în special, cu ajutorul diferitelor tipuri de platforme industriale [1, 4].

În contextual subiectului lucrării de față trebuie să se aibă în vedere următoarele elemente esențiale:

► Ansamblul platformă pentru transport – încărcătură se consideră un sistem monobloc, neevidențiindu-se modul de sprijinire a echipamentului.

► Forțele care acționează asupra ansamblului menționat se acceptă a fi concentrate în punctele lor de aplicare.

**Notă:** Forța eoliană va avea semnul plus în relațiile stabilite dacă acționează în sens contrar deplasării platformei (ca o forță rezistentă), atât la urcarea rampei, cât și la coborârea pantei, sau pentru un drum orizontal.

► Se neglijează efectul denivelărilor curente ale suprafeței drumului asupra sarcinilor care solicită platforma încărcată și, totodată, oscilațiile produse la deplasarea convoiului și efectul lor dinamic.

► Ansamblul platformă – echipament, sprijinit pe pneuri, cu mai mult de trei osii, se studiază ca o grindă static nedeterminată [5 - 7], cu reazeme (subansamblul suspensie – pneuri) nedeformabile sau deformabile, cu suprafața drumului plană, identică. Platforma pentru transport este acceptată, în acest caz, cu rigiditate constantă pe toată lungimea sa.

► Se stabilesc expresiile reacțiunilor la contactul pneurilor cu drumul, apelând la metoda celor trei momente încovoietoare [5]. În analiza efectuată se are în vedere și forța dezvoltată la spatele platformei încărcate, considerată ca forță rezistentă (în cazul existenței unei alte platforme articulată la prima, de exemplu). Modificarea semnului acestei forțe o transformă într-o forță activă, produsă de un mijloc împingător, în timp ce anularea ei conduce la situația prezenței numai a unui vehicul trăgător.

► Se verifică condiția de stabilitate a deplasării ansamblului, care constă în faptul că momentul încovoietor de răsturnare ( $M_R$ ) în raport cu centrul de masă/greutate al sistemului studiat, înmulțit cu un coeficient de siguranță ( $c_s$ ), trebuie să fie mai mic decât momentul încovoietor de stabilitate ( $M_S$ ), calculat în raport cu același punct:

$$c_s \cdot M_R \leq M_S \quad (1)$$

**Notă:** Stabilitatea pozițională a platformei încărcate se poate studia și în cazul staționării acesteia, dar aflată sub acțiunea sarcinilor eoliene (dacă se consideră) și, evident, a maselor/greutăților corespunzătoare.

► Se verifică condiția ca cea mai mică valoare a reacțiunilor normale  $Z_i$  să fie pozitivă:

$$Z_m = \min \{ Z_i \}_{i=1, n_0} \geq 0, \quad (2)$$

respectiv cea mai mare valoare să fie sub capacitatea portantă  $Z_{0a}$  pentru osia cea mai solicitată:

$$Z_M = \max \{ Z_i \}_{i=1, n_0} \leq Z_{0a}, \quad (3)$$

unde  $n_0$  reprezintă numărul osiilor platformei pentru transportare.

► Pe baza valorilor reacțiunilor, al condițiilor de drum, al caracterului deplasării și al sarcinilor eoliene, se poate determina forța de tractare, necesară [7, 8].

► La stabilirea reacțiunilor corespunzătoare osiilor platformelor pentru transport se are în vedere încărcătura concentrată în centrul său de masă/greutate. Atunci când rezemarea echipamentului pe o platformă se realizează pe mai multe reazeme, este posibil să se deducă mai întâi reacțiunile pe aceste suporturi. Ulterior, studiul reacțiunilor din dreptul osiilor se face în funcție de noua schemă de poziționare a sarcinilor pe platformă.

## Stabilitatea mișcării longitudinale a platformelor tip 4 x 4 pentru transportarea echipamentelor tehnologice agabaritice

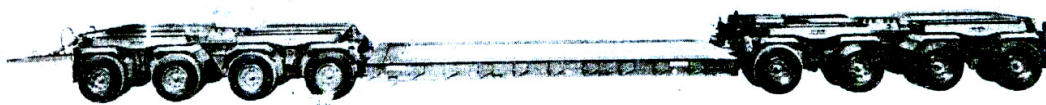


Fig. 1. Configurația unei platforme de tipul 4 x 4 – vedere laterală [7]

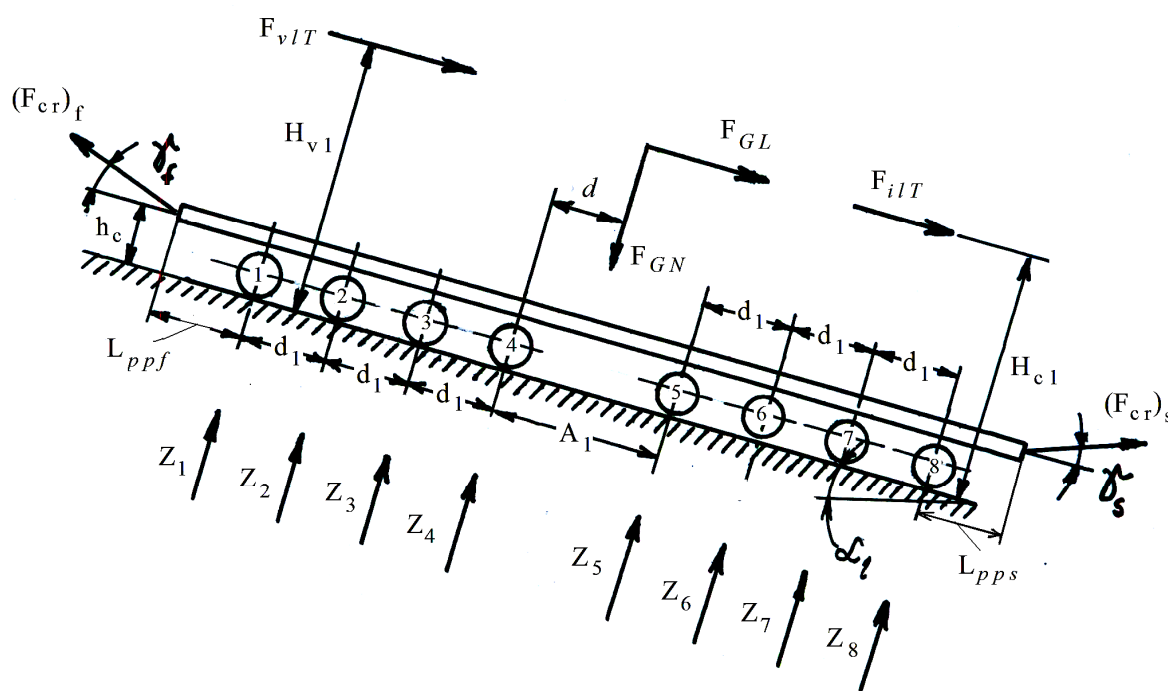


Fig. 2. Schema încărcării platformei – sarcini externe și reacțiuni

## 2. URCAREA RAMPEI

### 2. 1. SE NEGLIJEAZĂ DEFORMAREA SUSPENSIEI ȘI A PNEURILOR

Pentru analiza care urmează, se notează cu  $\overline{1, 4}$  primele osii (fig. 1, 2), în sens contrar celui de deplasare (înaintare, iar cu  $\overline{5, 8}$ , ultimele osii. Componenta greutateii, normală la suprafața drumului, acceptată concentrată în centrul de masă al ansamblului platformă – echipament, se consideră că acționează între reazemele 4 și 5 (fig. 2), la distanța  $d$  de primul. Pe baza ecuațiilor corespunzătoare cazului analizat rezultă sistemul algebric [7]:

$$\{M_{M6}\} = - [A_{M6}]^{-1} \cdot \{T_{IM6}\}, \quad (4)$$

unde  $\{M_{M6}\} = \{M_j\}_{j=2,7}^T$  este vectorul transpus al momentelor încovoietoare;

$$[A_{M6}] = \begin{bmatrix} A_{61} & A_{62} \\ A_{63} & A_{64} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

reprezintă factorilor de influență, în care:

$$A_{61} = \begin{bmatrix} 4 \cdot d_1 & d_1 & 0 \\ d_1 & 4 \cdot d_1 & d_1 \\ 0 & d_1 & 2 \cdot (d_1 + A_1) \end{bmatrix}; \quad A_{62} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ A_1 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad (6)$$

$$A_{63} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & A_1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad A_{64} = \begin{bmatrix} 2 \cdot (d_1 + A_1) & d_1 & 0 \\ d_1 & 4 \cdot d_1 & d_1 \\ 0 & d_1 & 4 \cdot d_1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

respectiv, vectorul transpus al termenilor liberi:

$$\{T_{lM6}\} = \{d_1 \cdot M_f, 0, 6 \cdot A_{45/5}, 6 \cdot A_{45/4}, 0, d_1 \cdot M_s\}^T, \quad (8)_1$$

în care reacțiunile grinzii reciproce  $A_{45/4} = A_{12/1}$ ,  $A_{45/5} = A_{23/3}$ .

Expresiile reacțiunilor grinzilor reciproce se prezintă sub forma:

$$A_{12/1} = \frac{d}{3 \cdot A_1} \cdot \left(1 - \frac{d}{A_1}\right) \cdot (M_i + M_p) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (A_1 - d) \cdot (2 \cdot d + A_1) + d^2\right] \cdot g \cdot \cos \alpha_l -$$

$$- \frac{1}{3} \cdot \left[\frac{d^3}{A_1^2} - \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{d}{A_1}\right)^2 \cdot (2 \cdot d + A_1)\right] \cdot M_{c2}; \quad (8)_2$$

$$M_{c2} = \left[ (M_i + M_p) \cdot g \cdot \sin \alpha_l + F_{ilT} \right] \cdot H_{c1} + F_{vlT} \cdot H_{v1}; \quad (8)_3$$

$$A_{23/3} = \frac{d}{3} \cdot \left(1 - \frac{d}{A_1}\right) \cdot \left(A_1 - \frac{d}{2}\right) \cdot g \cdot (M_i + M_p) \cdot \cos \alpha_l -$$

$$- \frac{1}{A_1^2} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot d^2 \cdot \left(A_1 - \frac{2 \cdot d}{3}\right) - \frac{1}{3} \cdot (A_1 - d)^3\right] \cdot M_{c2}. \quad (8)_4$$

Reacțiunile normale  $Z_i$  ( $i = \overline{1, 8}$ ) au expresiile:

$$Z_1 = -k_{crf} \cdot (F_{cr})_f \cdot \sin \gamma_f + (M_2 - M_f) / d_1; \quad (9)_1$$

Stabilitatea mișcării longitudinale a platformelor tip 4 x 4 pentru transportarea echipamentelor tehnologice agabaritice

$$Z_2 = (M_f - 2 \cdot M_2 + M_3) / d_1; \quad Z_3 = (M_2 - 2 \cdot M_3 + M_4) / d_1; \quad (9)_2$$

$$Z_4 = \left(1 - \frac{d}{A_1}\right) \cdot (M_i + M_p) \cdot g \cdot \cos \alpha_l + \frac{M_3}{d_1} - \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1}\right) \cdot M_4 + \frac{M_5}{A_1}; \quad (9)_3$$

$$Z_5 = \frac{d}{A_1} \cdot (M_i + M_p) \cdot g \cdot \cos \alpha_l + \frac{M_4}{A_1} - \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1}\right) \cdot M_5 + \frac{M_6}{d_1}; \quad (9)_4$$

$$Z_6 = (M_5 - 2 \cdot M_6 + M_7) / d_1; \quad Z_7 = (M_6 - 2 \cdot M_7 + M_8) / d_1; \quad (9)_5$$

$$Z_8 = -k_{crs} \cdot (F_{cr})_s \cdot \sin \gamma_s - (M_8 - M_7) / d_1. \quad (9)_6$$

Condiția de stabilitate a mișcării longitudinale, scrisă în raport cu centrul de masă/greutate al ansamblului echipament – platformă, capătă forma (pericolul de răsturnare în jurul centrului de masă, componenta masei totale în lungul drumului și forța de inerție, acționând către baza rampei, neinfluențând fenomenul):

$$\begin{aligned} & c_s \cdot \left\{ F_{vlT} \cdot (H_{v1} - H_{c1}) + (F_{cr})_f \cdot \left[ k_{crf} \cdot (L_{ppf} + 3 \cdot d_1 + d) \cdot \sin \gamma_f + \right. \right. \\ & \left. \left. + (H_{c1} - h_c) \cdot \cos \gamma_f \right] + Z_1 \cdot (3 \cdot d_1 + d) + Z_2 \cdot (2 \cdot d_1 + d) + Z_3 \cdot (d_1 + d) + \right. \\ & \left. + Z_4 \cdot d \right\} \leq f \cdot \left[ (M_i + M_p) \cdot g \cdot \cos \alpha_l - k_{crf} \cdot (F_{cr})_f \cdot \sin \gamma_f - \right. \\ & \left. - k_{crs} \cdot (F_{cr})_s \cdot \sin \gamma_s \right] \cdot H_{c1} + Z_5 \cdot (A_1 - d) + Z_6 \cdot (A_1 - d + d_1) + \\ & \left. + Z_7 \cdot (A_1 - d + 2 \cdot d_1) + Z_8 \cdot (A_1 - d + 3 \cdot d_1) + (F_{cr})_s \cdot \left[ k_{crs} \cdot (L_{pps} + \right. \right. \\ & \left. \left. + 3 \cdot d_1 + A_1 - d) \cdot \sin \gamma_s + (H_{c1} - h_c) \cdot \cos \gamma_s \right]. \quad (10) \end{aligned}$$

În inegalitatea (10) se au în vedere:

$$(F_{cr})_f = \frac{(M_i + M_p) \cdot g \cdot (\sin \alpha_l + f \cdot \cos \alpha_l) + F_{vlT} + F_{ilT}}{\cos \gamma_f + f \cdot \sin \gamma_f}; \quad (11)_1$$

$$F_{vlT} = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot C_i \cdot \rho_a \cdot (A_{ti} + A_{tp}) \cdot \cos^2 \beta_l; \quad (11)_2$$

$$H_{v1} = (F_{vli} \cdot H_{vi} + F_{vlp} \cdot H_{vp}) / (F_{vli} + F_{vlp}); \quad (11)_3$$

$$H_{c1} = (F_{il\dot{i}} \cdot H_{ci\dot{i}} + F_{il\dot{p}} \cdot H_{ci\dot{p}}) / (F_{il\dot{i}} + F_{il\dot{p}}). \quad (11)_4$$

## 2. 2. NU SE NEGLIJEAZĂ DEFORMAREA SUSPENSIEI ȘI A PNEURILOR

După scrierea corespunzătoare a ecuațiilor celor trei momente încovoietoare pentru grupări de câte trei reazeme (numerotate în cazul de față de la 1 la 8, în sensul invers deplasării platformei) se obține sistemul:

$$\{M_{M6}^\bullet\} = -[A_{M6}^\bullet]^{-1} \cdot \{T_{lM6}^\bullet\}, \quad (11)$$

unde  $\{M_{M6}^\bullet\} = \{M_j\}_{j=2,7}^T$  este vectorul transpus al momentelor încovoietoare necunoscute;

$$[A_{M6}^\bullet] = [a_{ij}]_{i=1,6; j=1,6}, \quad (12)$$

este matricea factorilor de influență, unde:

$$a_{14} = a_{15} = a_{16} = a_{25} = a_{26} = a_{36} = a_{41} = a_{51} = a_{52} = a_{61} = a_{62} = a_{63} = 0; \quad (12)_1$$

$$a_{11} = 4 \cdot d_1 + \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1^2 \cdot k_{ap}^\bullet} \cdot \left( \frac{1}{n_{p1}} + \frac{4}{n_{p2}} + \frac{1}{n_{p3}} \right); \quad a_{12} = d_1 + \frac{12 \cdot E \cdot I}{d_1^2 \cdot k_{ap}^\bullet} \cdot \left( \frac{1}{n_{p2}} + \frac{1}{n_{p3}} \right); \quad (12)_2$$

$$a_{13} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{n_{p3} \cdot d_1^2 \cdot k_{ap}^\bullet}; \quad a_{21} = d_1 - \frac{12 \cdot E \cdot I}{d_1^2 \cdot k_{ap}^\bullet} \cdot \left( \frac{1}{n_{p2}} + \frac{1}{n_{p3}} \right); \quad (12)_3$$

$$a_{22} = 4 \cdot d_1 + \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1^2 \cdot k_{ap}^\bullet} \cdot \left( \frac{1}{n_{p2}} + \frac{4}{n_{p3}} + \frac{1}{n_{p4}} \right); \quad (12)_4$$

$$a_{23} = d_1 - \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1 \cdot k_{ap}^\bullet} \cdot \left[ \frac{2}{n_{p3} \cdot d_1} + \frac{1}{n_{p4}} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right) \right]; \quad (12)_5$$

$$a_{24} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{n_{p4} \cdot d_1 \cdot A_1 \cdot k_{ap}^\bullet}; \quad a_{31} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{n_{p3} \cdot d_1^2 \cdot k_{ap}^\bullet}; \quad (12)_6$$

$$a_{32} = d_1 - \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1 \cdot k_{ap}^\bullet} \cdot \left[ \frac{2}{n_{p3} \cdot d_1} + \frac{1}{n_{p4}} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right) \right]; \quad (12)_7$$

Stabilitatea mișcării longitudinale a platformelor tip 4 x 4 pentru transportarea echipamentelor tehnologice agabaritice

$$a_{33} = 2 \cdot (d_1 + A_1) + \frac{6 \cdot E \cdot I}{k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left[ \frac{2}{n_{p3} \cdot d_1^2} + \frac{1}{n_{p4}} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right)^2 + \frac{1}{n_{p5} \cdot A_1^2} \right]; \quad (12)_8$$

$$a_{34} = A_1 - \frac{6 \cdot E \cdot I}{A_1 \cdot k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right) \left[ \frac{1}{n_{p4}} + \frac{1}{n_{p5}} \right]; \quad (12)_9$$

$$a_{35} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{n_{p5} \cdot d_1 \cdot A_1 \cdot k_{ap}^{\bullet}}; \quad a_{42} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{n_{p4} \cdot d_1 \cdot A_1 \cdot k_{ap}^{\bullet}}; \quad (12)_{10}$$

$$a_{43} = A_1 - \frac{6 \cdot E \cdot I}{A_1 \cdot k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right) \left[ \frac{1}{n_{p4}} + \frac{1}{n_{p5}} \right]; \quad (12)_{11}$$

$$a_{44} = 2 \cdot (d_1 + A_1) + \frac{6 \cdot E \cdot I}{k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left[ \frac{1}{n_{p4} \cdot A_1^2} + \frac{1}{n_{p5}} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right)^2 + \frac{1}{n_{p6} \cdot d_1^2} \right]; \quad (12)_{12}$$

$$a_{45} = d_1 - \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1 \cdot k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left[ \frac{1}{n_{p5}} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right) + \frac{2}{n_{p6} \cdot d_1} \right]; \quad (12)_{13}$$

$$a_{46} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{n_{p6} \cdot d_1^2 \cdot k_{ap}^{\bullet}}; \quad a_{53} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{n_{p5} \cdot d_1 \cdot A_1 \cdot k_{ap}^{\bullet}}; \quad (12)_{14}$$

$$a_{54} = d_1 - \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1 \cdot k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left[ \frac{1}{n_{p5}} \cdot \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right) - \frac{2}{n_{p6} \cdot d_1} \right]; \quad (12)_{15}$$

$$a_{55} = 4 \cdot d_1 + \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1^2 \cdot k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left( \frac{1}{n_{p5}} + \frac{4}{n_{p6}} + \frac{1}{n_{p7}} \right); \quad (12)_{16}$$

$$a_{56} = d_1 - \frac{12 \cdot E \cdot I}{d_1^2 \cdot k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left( \frac{1}{n_{p6}} + \frac{1}{n_{p7}} \right); \quad a_{64} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{n_{p6} \cdot d_1^2 \cdot k_{ap}^{\bullet}}; \quad (12)_{17}$$

$$a_{65} = d_1 - \frac{12 \cdot E \cdot I}{d_1^2 \cdot k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left( \frac{1}{n_{p6}} + \frac{1}{n_{p7}} \right); \quad a_{66} = 4 \cdot d_1 + \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1^2 \cdot k_{ap}^{\bullet}} \cdot \left( \frac{1}{n_{p6}} + \frac{4}{n_{p7}} + \frac{1}{n_{p8}} \right); \quad (12)_{18}$$

$\{T_{lM6}^{\bullet}\} = \{b_i\}_{i=1,6}^T$  – vectorul transpus al termenilor liberi care au expresiile:

$$b_1 = d_1 \cdot M_f + \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1} \cdot (f_{10} + 2 \cdot f_{20}); \quad b_2 = \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1} \cdot f_{20}; \quad (13)_1$$

$$b_3 = 6 \cdot A_{45/5} - 6 \cdot E \cdot I \cdot \left[ \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right) \cdot f_{40} - \frac{f_{50}}{A_1} \right]; \quad (13)_2$$

$$b_4 = 6 \cdot A_{45/4} + 6 \cdot E \cdot I \cdot \left[ \frac{f_{40}}{A_1} - \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{A_1} \right) \cdot f_{50} \right]; \quad (13)_3$$

$$b_5 = \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1} \cdot (f_{50} + f_{70}); \quad b_6 = d_1 \cdot M_s - \frac{6 \cdot E \cdot I}{d_1} \cdot (2 \cdot f_{70} - f_{80}), \quad (13)_4$$

în care:  $A_{45/4} = A_{34/3} = A_{12/1}$ ,  $A_{45/5} = A_{34/4} = A_{23/3}$ .

$$f_{10} = - \frac{1}{n_{p1} \cdot k_{ap}} \cdot \left[ k_{crf} \cdot (F_{cr})_f \cdot \sin \gamma_f + \frac{M_f}{d_1} \right]; \quad f_{20} = \frac{M_f}{n_{p2} \cdot d_1 \cdot k_{ap}}; \quad (13)_5$$

$$f_{40} = \frac{1}{n_{p4} \cdot k_{ap}} \cdot \left( 1 - \frac{d}{A_1} \right) \cdot (M_i + M_p) \cdot g \cdot \cos \alpha_l; \quad (13)_6$$

$$f_{50} = \frac{1}{n_{p5} \cdot k_{ap}} \cdot \frac{d}{A_1} \cdot (M_i + M_p) \cdot g \cdot \cos \alpha_l; \quad f_{70} = \frac{M_s}{n_{p7} \cdot d_1 \cdot k_{ap}}; \quad (13)_7$$

$$f_{80} = - \frac{1}{n_{p8} \cdot k_{ap}} \cdot \left[ k_{crs} \cdot (F_{cr})_s \cdot \sin \gamma_s + \frac{M_s}{d_1} \right]. \quad (13)_8$$

Expresiile reacțiunilor normale  $Z_i \cdot (i = \overline{1, 8})$  au formele (9) în care momentele încovoietoare  $M_j \cdot (j = \overline{2, 7})$  sunt înlocuite cu  $M_j \cdot (j = \overline{2, 7})$ , deduse cu ajutorul egalității (11). Condiția de stabilitate a mișcării longitudinale a platformei încărcate are exprimarea (10), ținând seama de adaptările indicate anterior.

### 3. COBORÂREA PANTEI

#### 3. 1. SE NEGLIJEAZĂ DEFORMAREA SUSPENSIEI ȘI A PNEURILOR

Reacțiunile normale la drum  $Z_i \cdot (i = \overline{1, 8})$  au expresiile de forma (9), în care se valorifică rezultatul egalității (4), corespunzător momentelor încovoietoare  $M_j \cdot (j = \overline{2, 7})$  care acționează pe reazemele specifice acestui caz. Și de această dată, în estimarea



## Stabilitatea mișcării longitudinale a platformelor tip 4 x 4 pentru transportarea echipamentelor tehnologice agabaritice

elementelor vectorului termenilor liberi  $\{T_{lM6}\}$  se vor înlocui mărimile  $A_{45/4}$  și  $A_{45/5}$  cu  $A_{12/1}^{\bullet}$  și  $A_{23/3}^{\bullet}$ . Astfel, mărimea  $A_{12/1}^{\bullet}$  are forma (8)<sub>2</sub>, respectiv (8)<sub>4</sub>, în care se înlocuiește momentul încovoietor  $M_{c2}$  cu:

$$M_{c2}^{\bullet} = \left[ (M_i + M_p) \cdot g \cdot \sin \alpha_l - F_{iIT} \right] \cdot H_{c1} + k_v \cdot F_{vIT} \cdot H_{v1}; \quad (14)$$

în care  $k_v = +1,0$  când vântul bate din spate, respectiv  $k_v = -1,0$ , când vântul (rezistent) bate din față. În același context se precizează că forța de inerție  $F_{iIT}$  este o forță îndreptată în sens invers mișcării (de frânare).

Condiția de stabilitate a mișcării longitudinale a ansamblului platformă – echipament, în acest caz, se prezintă sub forma:

$$\begin{aligned} c_s \cdot \left\{ -F_{vIT} \cdot (H_{v1} - H_{c1}) + (F_{cr})_f \cdot \left[ k_{crf} \cdot (A_1 + L_{pps} + 3 \cdot d_1 - d) \cdot \sin \gamma_s + \right. \right. \\ \left. \left. + (H_{c1} - h_c) \cdot \cos \gamma_s \right] + \sum_{i=5}^8 Z_i \cdot \left[ A_1 - d + (i-5) \cdot d_1 \right] + Z_4 \cdot d \right\} \leq \\ \leq -f \cdot \left[ (M_i + M_p) \cdot g \cdot \cos \alpha_l - k_{crf} \cdot (F_{cr})_f \cdot \sin \gamma_f - \right. \\ \left. - k_{crs} \cdot (F_{cr})_s \cdot \sin \gamma_s \right] \cdot H_{c1} + (F_{cr})_f \cdot \left[ k_{crf} \cdot (d + 3 \cdot d_1 + L_{ppf}) \cdot \sin \gamma_f + \right. \\ \left. + (H_{c1} - h_c) \cdot \cos \gamma_f \right] + \sum_{i=1}^4 Z_i \cdot \left[ d + (4-i) \cdot d_1 \right]. \quad (15) \end{aligned}$$

### 3. 2. NU SE NEGLIJEAZĂ DEFORMAREA SUSPENSIEI ȘI A PNEURILOR

Influența deformațiilor pneurilor sub acțiunea sarcinilor exterioare prezente în această stare se remarcă în structura factorilor de influență (12) și a termenilor liberi (13), unde locul mărimilor  $A_{45/4}$  și  $A_{45/5}$  este ocupat de expresiile corespunzătoare  $A_{12/1}^{\bullet}$  și  $A_{23/3}^{\bullet}$ . Cu valorile reacțiunilor  $Z_i^{\bullet}$  ( $i = \overline{1, 8}$ ), existente în această situație, se verifică condiția (15).

#### Notații folosite:

$c_s$  – coeficient de răsturnare;  $M_R$  – moment încovoietor de răsturnare a ansamblului pentru transportare;  $M_S$  – moment încovoietor de stabilitate a mișcării;  $Z_i$  – reacțiune la nivelul pneurilor;  $Z_m, Z_M$  – valoarea minimă a reacțiunilor, respectiv valoarea maximă a acestora, la nivelul pneurilor;  $d$  – distanța dintre verticala osiei cu numărul 4 și centrul de masă al ansamblului;  $d_1$  – distanța dintre două osii consecutive (se consideră că distanțele dintre osiile din față și cele din spate sunt identice);  $A_1$  – distanța

dintre centrele osiilor 4 și 5  $M_f = [k_{c r f} \cdot L_{p p f} \cdot \sin \gamma_f - h_c \cdot \cos \gamma_f] \cdot (F_{c r})_f$  - momentul încovoietor dezvoltat de forța de tractare  $(F_{c r})_f$ , cu direcția aflată sub unghiul  $\gamma_f$  față de orizontală ( $\gamma_f > 0$  atunci când înclinarea este deasupra orizontalei, caz în care  $k_{c r f} = 1$ , iar când  $\gamma_f < 0$ ,  $k_{c r f} = -1$ ), la nivelul primului reazem (contactul primelor pneuri cu suprafața de rulare);  $L_{p p f}$  - distanța măsurată de la cârligul de tractare până la axa primei osii a platformei;  $h_c$  - înălțimea cârligului platformei sau a locului de fixare a proțapului la platforma pentru transport;  $M_s = [k_{c r s} \cdot L_{p p s} \cdot \sin \gamma_s - h_c \cdot \cos \gamma_s] \cdot (F_{c r})_s$  - momentul încovoietor dezvoltat de forța  $(F_{c r})_s$  în raport cu normala la drum, care conține planul ultimelor osii ale platformei;  $(F_{c r})_s$  - forță rezistentă la înaintare, de exemplu în cazul unei platforme aflată în spatele celei analizate sau o forță de frecare dezvoltate de un mijloc de transport, prevăzut special pentru o astfel de acțiune (forța menționată poate fi înclinată cu unghiul  $\gamma_s$  față de orizontală ( $\gamma_s > 0$  când direcția forței este deasupra orizontalei,  $k_{c r s} = 1$ , respectiv  $k_{c r s} = -1$ , când forța menționată este înclinată invers);  $M_i, M_p$  - masa încărcăturii, respectiv masa platformei;  $g$  - accelerația gravitației;  $f$  - coeficientul de rezistență la rulare a pneurilor (considerat același pentru toate pneurile);  $H_{v_1}$  - înălțimea la care acționează forța vântului  $F_{v l T}$ , ca forță rezistentă, raportată la suprafața drumului;  $\alpha_l$  - unghiul de înclinare a drumului în raport cu orizontala;  $\beta$  - coeficient aerodinamic (pentru cele mai uzuale cazuri,  $\beta = 1,0$ );  $C_t$  - coeficientul rezultantei acțiunii vântului (pentru cele mai frecvente cazuri,  $C_t = 0,8 \dots 1,0$ );  $\rho_a$  - densitatea aerului ( $\rho_a = 1,1226 \text{ kg/m}^3$  la  $15^0 \text{ C}$ );  $A_{t i}$  - aria secțiunii transversale a echipamentului/încărcăturii;  $A_{t p}$  - aria transversală a platformei pentru transportare;  $\beta_l$  - unghiul dintre direcția de acțiune a vântului și axa longitudinală a echipamentului/încărcăturii;  $H_{c_1}$  - înălțimea centrului de masă/greutate al ansamblului încărcătură - platformă;  $F_{v l i}, F_{v l p}$  - forța eoliană corespunzătoare încărcăturii, respectiv a platformei;  $F_{v l T} = F_{v l i} + F_{v l p}$  - forța totală datorită acțiunii vântului;  $H_{v i}, H_{v p}$  - înălțimile la care acționează forțele vântului, corespunzătoare încărcăturii și platformei;  $F_{i l i}, F_{i l p}$  - forța de inerție corespunzătoare încărcăturii, respectiv a platformei;  $F_{i l T} = F_{i l i} + F_{i l p}$  - forța totală datorită acțiunii inerției;  $H_{c i i}, H_{c i p}$  - înălțimile la care acționează forțele de inerție, corespunzătoare încărcăturii și platformei;  $F_{G L} = (M_i + M_p) \cdot g \cdot \sin \alpha_l$  - componenta longitudinală a greutatei ansamblului transportat;  $F_{G N} = (M_i + M_p) \cdot g \cdot \cos \alpha_l$  - componenta normală la suprafața de rulare a greutatei ansamblului transportat;  $k_{a p}^* = k_a^* \cdot k_p^* / (k_a^* + k_p^*)$  - factorul de elasticitate

## Stabilitatea mișcării longitudinale a platformelor tip 4 x 4 pentru transportarea echipamentelor tehnologice agabaritice

echivalentă a pneului;  $k_a^*$ ,  $k_p^*$  – elasticitățile echivalente ale arcurilor și amortizoarelor, respectiv a pneurilor;  $n_{pi}$  ( $i = \overline{1, 8}$ ) - numărul pneurilor corespunzătoare osiilor existente;

**Notă:** Dacă se ia în discuție și deformarea suprafeței drumului, notând cu  $k_d$  elasticitatea acesteia, în relațiile corespunzătoare poate fi introdusă în locul mărimii  $k_{ap}^*$  se va introduce:

$k_{apd}^* = k_{ap}^* \cdot k_d / (k_{ap}^* + k_d)$ ;  $E \cdot I$  – rigiditatea echivalentă a ansamblului transportat, considerată aici ca fiind uniformă pe toată lungimea sa.

### 4. CONCLUZII

Exprimările anterioare au fost orientate spre stabilirea condițiilor de stabilitate a mișcării longitudinale a unei platforme de transport de tip 4 x 4, încărcată cu un echipament industrial agabaritic, atât la urcarea unei rampe, cât și la coborârea unei pante. În analiza concretă se au în vedere, pentru stabilirea și a recțiunilor dezvoltate sub pneurile platformei considerate, cu considerarea sau nu a deformațiilor suspensiei și a pneurilor. În categoria sarcinilor exterioare se au în vedere masele componentelor ansamblului, pe de o parte, și valorile sarcinilor date de vânt și de forțele de inerție, ca și forțele de frecare dintre pneuri și sol, pe de altă parte. Se menționează că distanța dintre verticala centrului de masă al ansamblului și cel de al patrulea pneu (numerotat din fața platformei) poate fi o valoare variabilă, stabilită în cazul concret. Totodată, deși nu este simplu, într-un studiu mai aprofundat se poate evalua rigiditatea structurii pentru o configurație corespunzătoare, evident dependentă de geometria reală. Studiul poate fi dezvoltat și în sensul considerării unui drum neliniar.

### Acknowledgments

Rezultatele prezentate în această lucrare au fost obținute cu sprijinul Ministerului Fondurilor Europene prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, Titlul Proiectului: Promovarea Științei și Calității în Cercetare prin Burse Doctorale, Cod Contract: 155420.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. **Iatan I. R., Dumitrescu Veronica**, *Longitudinal stability of platforms for the transportation of technological ne gauge equipments (I)*, Modelling and Optimization in the Machines Building Field, University of Bacău, MOCM 8, 2002, nr. 1, p. 74 – 77 (ISSN 1224 – 7480).
- [2]. **Iatan I. R., Dumitrescu Veronica**, *Longitudinal stability of platforms for the transportation of technological ne gauge equipments (II)*, Modelling and Optimization in the Machines Building Field, University of Bacău, MOCM 9, 2003, nr. 1, p. 47 – 51 (ISSN 1224 – 7480).
- [3]. **Iatan I. R., Dumitrescu Veronica**, *Stabilitatea longitudinală a platformelor pentru transportarea utilajelor tehnologice agabaritice (III)*, Buletinul științific al celei de a XXVIII – a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, Târgoviște, 28 – 29 mai 2004, p. 60 – 64.
- [4]. **Iatan I. R.**, *Stabilitatea longitudinală a platformelor pentru transportarea utilajelor tehnologice agabaritice (IV)*, Buletinul științific al celei de a XXVIII – a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, Târgoviște, 28 – 29 mai 2004, p. 65 – 69.
- [5]. **Buzdugan Gh.**, *Rezistența materialelor*, Editura tehnică, București, 1980.
- [6]. **Marin C.**, *Rezistența materialelor (partea I – solicitări simple)*, Editura Bibliotheca, Târgoviște, 2013.
- [7]. **Iatan I. R., Vasilescu I.**, *Transportarea utilajelor tehnologice agabaritice*, Editura MatrixRom, București, 2002.
- [8]. **Sârbu L., Legendi Amelitta**, *Utilaje și mașini de tracțiune și transport pentru construcții, operațiuni miniere și drumuri (construcție, elemente de calcul)*, vol. II, Editura MatrixRom, București, 2014.