

PROBLEME SPECIFICE DE CALCUL PENTRU EXCAVATOARE CU CUPA DREAPTA CU PLACA TRIUNGHIULARA ARTICULATA PE BRAT

Prof.univ.dr.ing.Vladeanu Alexandru ,Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti
Cercet. st. ing. Vladeanu Gabriela, Institutul Mecanica Solidelor al Academiei Romane

Abstract.

In this work following specific problems for hydraulic shovel excavators with triangle link articulated on the boom (O&K TriPower system) was analysed: the establishment of the articulation position of the connector rod on the basic machine, the correlation between the arm cylinder and the boom cylinder for obtaining of the horizontal trajectory of the shovel, the calculus of the forces in the hydraulic cylinders and in the connector rod during the loading of the shovel and during the lifting of the full shovel.

1.INTRODUCERE

Excavatoarele hidraulice cu cupa dreapta realizate dupa schema clasica prezentata in figura 1 necesita comenzi simultane ale cilindrilor hidraulici de manevrare a bratului, manerului si cupei pentru a obtine o traiectorie orizontala a muchiei taietoare a cupei la incarcarea materialului. De asemenea in faza de ridicare a cupei pline sunt necesare corectii ale pozitiei cupei prin comenzi ale cilindrului cupei, pentru a evita caderea materialului din cupa. O solutie de crestere a productivitatii si de reducere a consumului de combustibil la aceste excavatoare de mare capacitate, utilizate in cariere la lucrari de incarcare a materialului dislocat prin explozie, este echipamentul cu placa triunghiulara articulata pe brat (sistem TriPower fig.2).

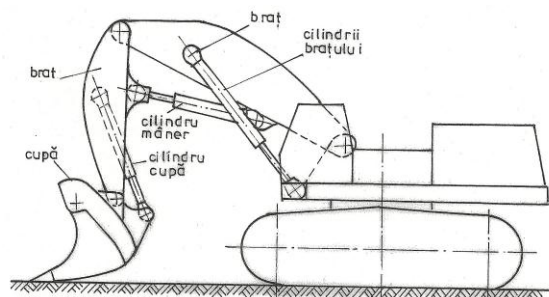


Fig.1

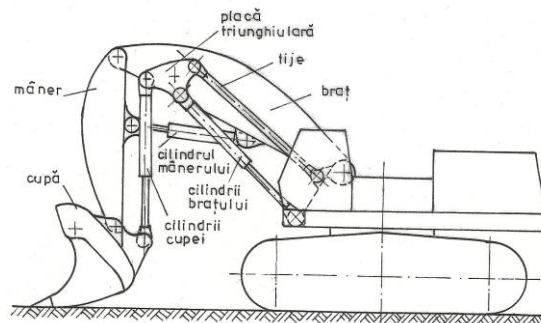


Fig.2

Particularitatea acestui echipament este faptul ca atat cilindrii bratului, cat si cilindrii cupei au un capat fixat pe placa triunghiulara articulata pe brat (fig.3, fig.4).Pe aceeasi placa se monteaza si tija articulata la platforma rotitoare a excavatorului in apropierea articulatiei bratului.



Fig.3



Fig.4

La o alegere corespunzatoare a pozitiei si dimensiunilor placii triunghiulare si a articulatiei tijei la masina de baza, se obtin avantaje importante fata de excavatorul cu echipamentul clasic din figura 1:

- menținerea inclinării optime a cupei pline în timpul ridicării echipamentului fără a fi necesare corecții prin acționarea cilindrului cupei;
- realizarea cu ușurință a traiectoriei orizontale a muchiei tăietoare a cupei la încărcarea cupei prin acționarea cilindrului manerului, în timp ce la schema clasică pentru a realiza această operație este necesară acționarea corelată a cilindrului manerului, bratului și cupei;
- creșterea importanței a forței de săpare, utilizând aceiași cilindri hidraulici ca la schema clasică;
- reducerea duratei ciclului de lucru, creșterea productivității și reducerea consumului de combustibil.

2.Stabilirea pozitiei articulatiei tijei la masina de baza si a lungimii tijei

Se presupune cunoscute:

-dimensiunile bratului, manerului și cupei, stabilite din condiția realizării parametrilor tehnologici;

-dimensiunile placii triunghiulare și poziția articulației acestora la brăt, stabilite astfel încât să se îndeplinească condiția de montaj a cilindrului hidraulic de manevrare a bratului.

Poziția articulației tijei la mașina de bază se stabilește din condiția menținerii aproximativ constante a inclinării cupei pline la ridicarea echipamentului de lucru cu cilindrul de manevrare a bratului. Problema se poate rezolva grafic în felul următor (fig.5):

-se reprezintă schematic echipamentul de lucru în trei poziții: poziția I la începutul ridicării cupei pline, poziția intermediară II și poziția III corespunzătoare înălțimii maxime de ridicare; în cele trei poziții inclinarea cupei este aceeași (unghiul format de segmentele F_1E_1 , F_2E_2 , F_3E_3 cu verticala este constant);

-cunoscând poziția placii triunghiulare corespunzătoare poziției inferioare a echipamentului D_1 , A_1 , B_1 , C_1 , se determină grafic pozițiile D_2 , D_3 ale articulației placii triunghiulare la brăt, precum și pozițiile varfurilor placii triunghiulare A_2 , B_2 , C_2 , A_3 , B_3 , C_3 , corespunzătoare pozițiilor II și III ale echipamentului;

-se pune condiția ca tija să aibă lungime constantă (unind punctul B_1 cu B_2 și B_2 cu B_3 și intersectând mediatoarele segmentelor B_1B_2 și B_2B_3 , se obține poziția articulației tijei O_2);

-se verifică soluția obținută punând următoarele condiții:

-articulația tijei trebuie să se afle în apropierea articulației bratului;

-îndeplinirea condiției de montaj a cilindrului bratului.

Dacă condițiile de mai sus nu sunt îndeplinite trebuie modificată poziția placii triunghiulare și/sau poziția articulației bratului.

Din figura 5 rezulta și lungimea tijei : $O_2B_1=O_2B_2=O_2B_3$.

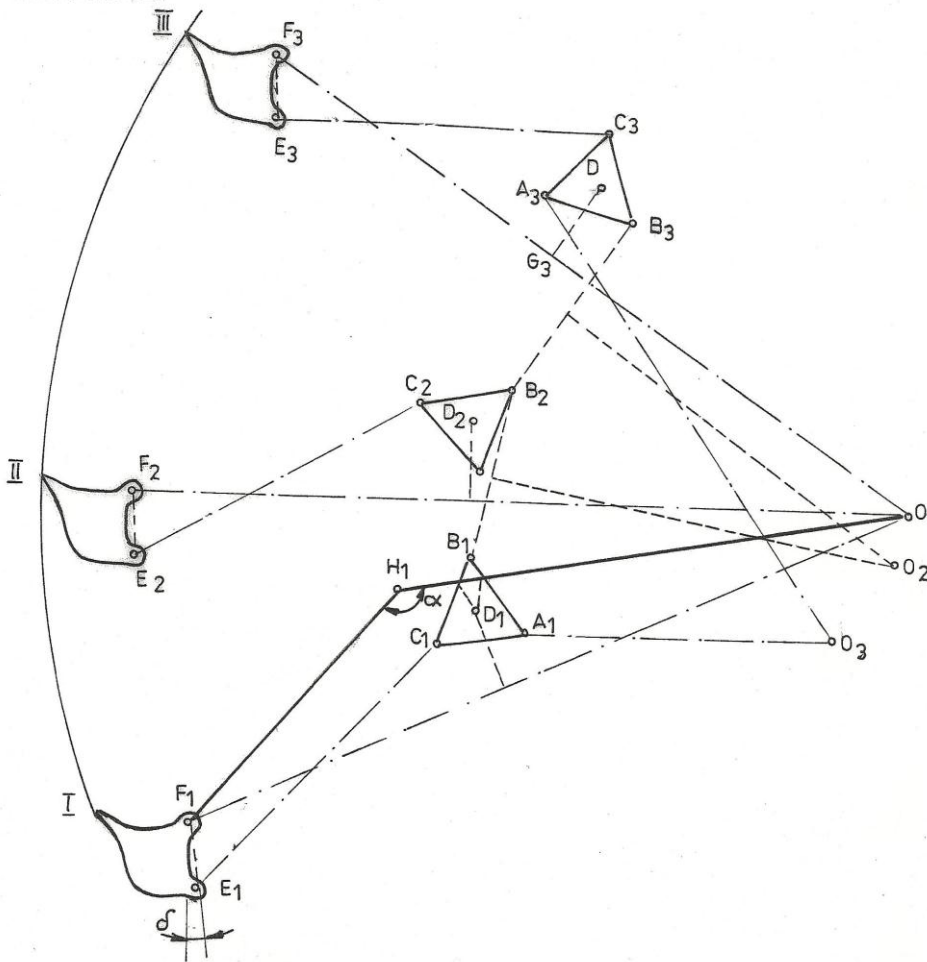


Fig.5. Constructie grafica pentru determinarea pozitiei articulatiei O_2 a tijei la masina de baza (O_1H_1 , H_1F_1 – axa bratului, respectiv axa manerului pentru pozitia I; O_1F_1 – axa ce uneste articulatia O_1 a bratului cu articulatia maner-cupa F_1 pentru pozitia I a echipamentului; O_2F_2 , O_3F_3 – idem pentru pozitiiile II, respective III; D_1 , D_2 , D_3 – articulatia placii triunghiulare la brat pentru pozitiiile echipamentului I, respectiv II si III; A_1 , B_1 , C_1 , A_2 , B_2 , C_2 , A_3 , B_3 , C_3 – varfurile placii triunghiulare pentru pozitiiile echipamentului I, respectiv II si III; δ – unghiul de inclinare a cupei; O_3 – articulatia bratului).

3. Realizarea traiectoriei orizontale a muchiei taietoare a cupei la incarcarea cupei

La excavatoarele de cariera cu cupa dreapta, incarcarea cupei se poate realiza prin deplasarea muchiei taietoare a cupei pe orizontala la actionarea cilindrului de manevrare a manerului, asigurandu-se si nivelarea terenului. Pentru obtinerea acestei traiectorii este necesara o corectie a pozitiei bratului in timpul incarcarii cupei, care se poate realiza in doua moduri:

- prin trecerea cilindrilor bratului pe pozitia flotant atunci cand materialul de incariat se afla pe o suprafata suport aproximativ orizontala, caz in care corectia pozitiei bratului se face fara comanda cilindrilor bratului;
- prin alimentarea cilindrilor bratului cu debitul corespunzator realizarii corectiei, in concordanta cu debitul din circuitul hidraulic al cilindrului de manevrare a manerului.

In cel de al doilea caz, se stabileste variatia lungimii cilindrilor bratului, necesara pentru realizarea corectiei pozitiei bratului. Utilizand schema din figura 6, se observa ca de la inceputul umplerii cupei (pozitia I'_s) pana la sfarsitul umplerii cupei (pozitia I_s) lungimea cilindrilor bratului trebuie redusa de la valoarea $O_3A'_1$ pana la valoarea O_3A_1 , pentru a se obtine coborarea axei bratului din pozitia $O_1H'_1$ in pozitia O_1H_1 .

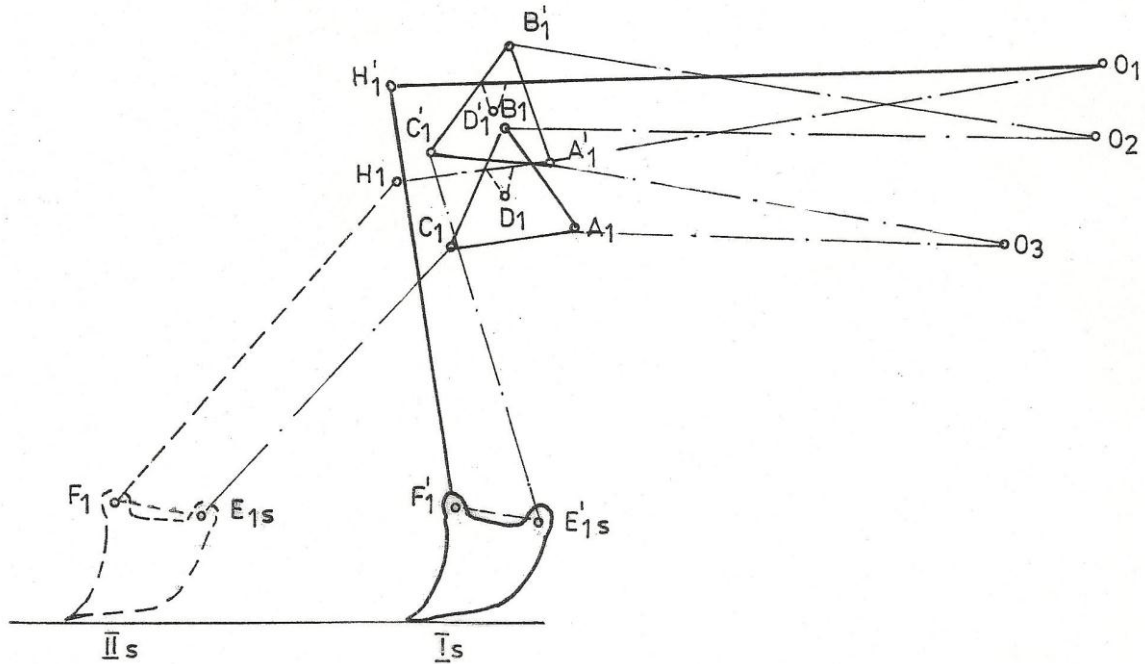


Fig.6. Constructie grafica pentru determinarea variatiei lungimii cilindrilor bratului la deplasarea pe orizontala a muchiei taietoare a cupei in faza de incarcare (I_s' - pozitia de inceput a incarcarii cupei; I_s - pozitia de sfarsit a incarcarii cupei; O_3A_1' - lungimea cilindrilor bratului la inceputul incarcarii cupei; O_3A_1 - lungimea cilindrilor bratului la sfarsitul incarcarii cupei)

Se determina debitul necesar Q_b pentru corectia pozitiei bratului cu relatia:

$$Q_b = Q_m \cdot \frac{2(D_b^2 - d_b^2) \cdot \Delta_b}{D_m^2 \cdot \Delta_m} \quad (1)$$

in care Q_m este debitul de alimentare a cilindrului manerului; D_b, D_m - diametrele cilindrilor de manevrare a bratului, respectiv manerului, d_b - diametrul tijei cilindrului bratului; Δ_m - variatia lungimii cilindrului de manevrare a manerului; Δ_b - variatia lungimii cilindrului de manevrare a bratului, determinata grafic conform figurii 6.

$$\Delta_b = O_3A_1' - O_3A_1 \quad (2)$$

La o pozitionare corespunzatoare a cilindrului cupei si a placii triunghiulare, nu este necesara comanda cilindrului de manevrare a cupei in timpul fazei de incarcare pentru corectia unghiului de sapare a cupei. Doar la sfarsitul fazei de incarcare (pozitia I_s) se comanda bascularea cupei in vederea incarcarii complete pentru a se trece apoi la faza de ridicare a cupei pline.

4. Calculul fortei maxime la cupa in timpul fazei de incarcare (sapare)

Cunoscand forta maxima din cilindrul manerului F_m si greutatile bratului, manerului si cupei G_b , respectiv G_m si G_c , se pune problema de a determina forta la dintii cupei R_c , forta din cilindrii bratului F_b , din cilindrul cupei F_c si forta din tije F_t (fig.7)

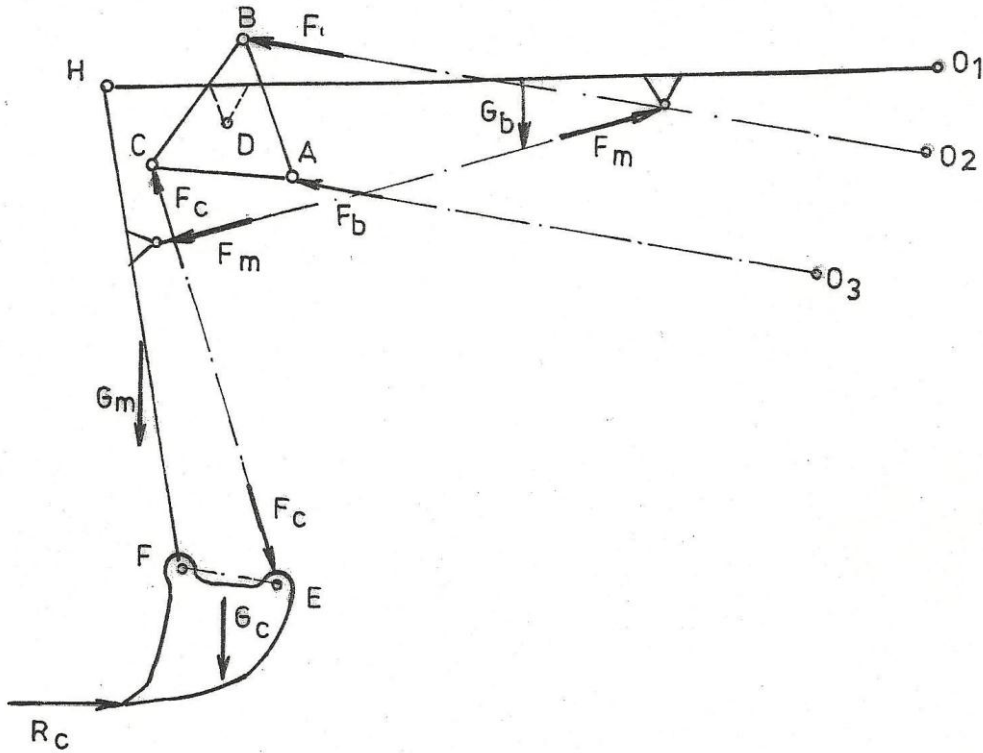


Fig.7

Din conditia de echilibru a echipamentului de lucru și a componentelor sale, se obtin urmatoarele relatii:

a) Conditia de echilibru a manerului si cupei (ecuatia de momente fata de articulatia H pentru ansamblul maner-cupa)

$$F_m d_{fm}^H + F_c d_{fc}^H + G_c d_{gc}^H + G_m d_{gm}^H - R_c d_{rc}^H = 0 \quad (3)$$

in care $d_{fm}^H, d_{fc}^H, d_{gc}^H, d_{gm}^H, d_{rc}^H$ sunt distantele de la articulatia H la directiile fortelor F_m respectiv F_c, G_c, G_m, R_c .

b) Conditia de echilibru a intregului echipament (ecuatia de momente fata de articulatia O_1 pentru echipamentul de lucru)

$$R_c d_{rc}^{O_1} + G_c d_{gc}^{O_1} + G_m d_{gm}^{O_1} + G_b d_{gb}^{O_1} - F_b d_{fb}^{O_1} - F_t d_{ft}^{O_1} = 0 \quad (4)$$

in care $d_{rc}^{O_1}, d_{gc}^{O_1}, d_{gm}^{O_1}, d_{gb}^{O_1}, d_{fb}^{O_1}, d_{ft}^{O_1}$ sunt distantele de la articulatia O_1 la directiile fortelor R_c respectiv G_c, G_m, G_b, F_b, F_t .

c) Conditia de echilibru a placii triunghiulare (ecuatia de momente fata de articulatia D pentru placa triunghiulara)

| | |
|--|-----|
| $F_b d_{fb}^D + F_c d_{fc}^D - F_t d_{ft}^D = 0$ | (5) |
|--|-----|

in care $d_{fb}^D, d_{fc}^D, d_{ft}^D$ sunt distantele de la articulatia D la directiile fortelor F_b respectiv F_c, F_t .

d) Conditia de echilibru a cupei (ecuatia de momente fata de articulatia F pentru cupa)

$$R_c d_{rc}^F - F_c d_{fc}^F - G_c d_{gc}^F = 0 \quad (6)$$

in care $d_{fc}^F, d_{gc}^F, d_{rc}^F$ sunt distantele de la articulatia F la directiile fortelor F_c respectiv G_c, R_c .

S-a obtinut un sistem de patru ecuatii de gradul 1 cu patru necunoscute, care se poate scrie astfel:

$$\begin{cases} R_c d_{rc}^H - F_c d_{fc}^H + 0 \cdot F_b + 0 \cdot F_t = F_m d_{fm}^H + G_c d_{gc}^H + G_m d_{gm}^H = a \\ -R_c d_{rc}^{O_1} + 0 \cdot F_c + F_b d_{fb}^{O_1} + F_t d_{ft}^{O_1} = G_c d_{gc}^{O_1} + G_m d_{gm}^{O_1} + G_b d_{gb}^{O_1} = b \\ 0 \cdot R_c + F_c d_{fc}^D + F_b d_{fb}^D - F_t d_{ft}^D = 0 \\ R_c d_{rc}^F - F_c d_{fc}^F + 0 \cdot F_b + 0 \cdot F_t = G_c d_{gc}^F = c \end{cases} \quad (7)$$

Aplicand regula lui Cramer, se obtin solutiile:

$$R_c = \frac{\Delta_1}{\Delta}; F_c = \frac{\Delta_2}{\Delta}; F_b = \frac{\Delta_3}{\Delta}; F_t = \frac{\Delta_4}{\Delta} \quad (8)$$

in care:

$$\Delta = \begin{vmatrix} d_{rc}^H & -d_{fc}^H & 0 & 0 \\ -d_{rc}^{O_1} & 0 & d_{fb}^{O_1} & d_{ft}^{O_1} \\ 0 & d_{fc}^D & d_{fb}^D & -d_{ft}^D \\ d_{rc}^F & -d_{fc}^F & 0 & 0 \end{vmatrix}; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} a & -d_{fc}^H & 0 & 0 \\ b & 0 & d_{fb}^{O_1} & d_{ft}^{O_1} \\ 0 & d_{fc}^D & d_{fb}^D & -d_{ft}^D \\ c & -d_{fc}^F & 0 & 0 \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} d_{rc}^H & a & 0 & 0 \\ -d_{rc}^{O_1} & b & d_{fb}^{O_1} & d_{ft}^{O_1} \\ 0 & 0 & d_{fb}^D & -d_{ft}^D \\ d_{rc}^F & c & 0 & 0 \end{vmatrix}; \quad (9)$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} d_{rc}^H & -d_{fc}^H & a & 0 \\ -d_{rc}^{O_1} & 0 & b & d_{ft}^{O_1} \\ 0 & d_{fc}^D & 0 & -d_{ft}^D \\ d_{rc}^F & -d_{fc}^F & c & 0 \end{vmatrix}; \quad \Delta_4 = \begin{vmatrix} d_{rc}^H & -d_{fc}^H & 0 & a \\ -d_{rc}^{O_1} & 0 & d_{fb}^{O_1} & b \\ 0 & d_{fc}^D & d_{fb}^D & 0 \\ d_{rc}^F & -d_{fc}^F & 0 & c \end{vmatrix} \quad (10)$$

Din ecuatia (3) rezulta ca forta la dintii cupei R_c depinde nu numai de forta maxima din cilindrul manerului F_m , ci si de forta din cilindrul cupei F_c :

$$R_c = \frac{F_m d_{fm}^H + G_c d_{gc}^H + G_m d_{gm}^H}{d_{rc}^H} + \frac{F_c d_{fc}^H}{d_{rc}^H} = R_c' + \frac{F_c d_{fc}^H}{d_{rc}^H} \quad (11)$$

in care R_c' este forta la dintii cupei in cazul echipamentului clasic din figura 1.

In cazul cand se actioneaza simultan si cilindrul manerului si cilindrul cupei, se obtine forta maxima:

$$R_{c \max} = R_c' + \frac{F_{c \max} d_{fc}^H}{d_{rc}^H} \quad (12)$$

Rezulta ca echipamentul cu placa triunghiulara articulata pe brat asigura o forta la dintii cupei sensibil mai mare, la aceiasi cilindri hidraulici, comparativ cu echipamentul clasic.

5. Calculul fortelor din cilindrii echipamentului in faza de ridicare a cupei pline

Se considera pozitia cea mai defavorabila in faza de ridicare a cupei pline si anume pozitia in care cupa plina se afla la raza maxima (fig. 8). Din conditia de echilibru a echipamentului de lucru și a componentelor sale, se obtin urmatoarele relatii:

a) Conditia de echilibru a cupei (ecuatia de momente fata de articulatia F pentru cupa)

$$F_{c1} d_{fc1}^F - G_{c1} d_{gc1}^F = 0 \quad , \text{ de unde rezulta: } F_{c1} = \frac{G_{c1} d_{gc1}^F}{d_{fc1}^F} \quad (13)$$

in care G_{c1} este greutatea cupei si a materialului din cupa, F_{c1} – forta din cilindrii cupei la ridicarea echipamentului de lucru, d_{fc1}^F, d_{gc1}^F - distantele de la articulatia F la directiile fortelor F_{c1} respectiv G_{c1} .

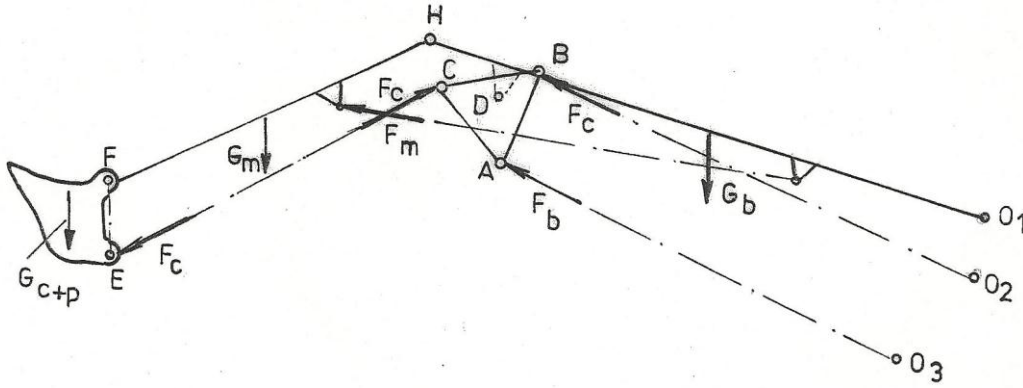


Fig.8

b) Conditia de echilibru a manerului si cupei (ecuatia de momente fata de articulatia H pentru ansamblul maner-cupa)

$$F_{m1}d_{fm1}^H + F_{c1}d_{fc1}^H - G_{c1}d_{gc1}^H - G_m d_{gm1}^H = 0, \quad (14)$$

$$\text{de unde rezulta: } F_{m1} = \frac{G_{c1}d_{gc1}^H + G_m d_{gm1}^H}{d_{fm1}^H} - \frac{F_{c1}d_{fc1}^H}{d_{fm1}^H} \quad (15)$$

in care F_{m1} este forta din cilindrul manerului la ridicarea echipamentului de lucru, $d_{fm1}^H, d_{fc1}^H, d_{gc1}^H, d_{gm1}^H$ - distantele de la articulatia H la directiile fortelor F_{m1} respectiv F_{c1}, G_{c1}, G_m .

c) Conditia de echilibru a intregului echipament (ecuatia de momente fata de articulatia O_1 pentru echipamentul de lucru)

$$G_{c1}d_{gc1}^{O_1} + G_m d_{gm1}^{O_1} + G_b d_{gb1}^{O_1} - F_{b1}d_{fb1}^{O_1} - F_{t1}d_{ft1}^{O_1} = 0 \quad (16)$$

in care F_{b1}, F_{t1} sunt fortele din cilindrii de manevrare a bratului, respectiv fortele din tije la ridicarea echipamentului de lucru, $d_{gc1}^{O_1}, d_{gm1}^{O_1}, d_{gb1}^{O_1}, d_{fb1}^{O_1}, d_{ft1}^{O_1}$ - distantele de la articulatia O_1 la directiile fortelor G_{c1}, G_m, G_b, F_{b1} respectiv F_{t1} .

d) Conditia de echilibru a placii triunghiulare (ecuatia de momente fata de articulatia D pentru placa triunghiulara)

$$F_{b1}d_{fb1}^D + F_{c1}d_{fc1}^D - F_{t1}d_{ft1}^D = 0 \quad (17)$$

in care $d_{fb1}^D, d_{fc1}^D, d_{ft1}^D$ sunt distantele de la articulatia D la directiile fortelor F_{b1} respectiv F_{c1}, F_{t1} .

Ecuatiile (16), (17) se pot scrie sub forma:

$$\begin{cases} F_{b1}d_{fb1}^{O_1} + F_{t1}d_{ft1}^{O_1} = G_{c1}d_{gc1}^{O_1} + G_m d_{gm1}^{O_1} + G_b d_{gb1}^{O_1} = a1 \\ -F_{b1}d_{fb1}^D + F_{t1}d_{ft1}^D = \frac{G_{c1}d_{gc1}^F}{d_{fc1}^F} d_{fc1}^D = b1 \end{cases} \quad (18)$$

Aplicand regula lui Cramer, se obtin solutiile:

$$F_{b1} = \frac{\Delta_1}{\Delta}; F_{t1} = \frac{\Delta_2}{\Delta} \quad (19)$$

in care :

$$\Delta = \begin{vmatrix} d_{fb1}^O & d_{ft1}^O \\ -d_{fb1}^D & d_{ft1}^D \end{vmatrix}; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} a1 & d_{ft1}^O \\ b1 & d_{ft1}^D \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} d_{fb1}^O & a1 \\ -d_{fb1}^D & b1 \end{vmatrix} \quad (20)$$

Din ecuatia (16) se obtine:

| | |
|---|------|
| $F_{b1}' = \frac{G_{c1}d_{gc1}^{O1} + G_m d_{gm1}^{O1} + G_b d_{gb1}^{O1}}{d_{fb1}^{O1}} - \frac{F_{t1}d_{ft1}^{O1}}{d_{fb1}^{O1}} = F_{b1}' - \frac{F_{t1}d_{ft1}^{O1}}{d_{fb1}^{O1}}$ | (21) |
|---|------|

in care F_{b1}' este forta in cilindrul de manevrare a bratului in cazul echipamentului clasic din figura 1.

Rezulta ca echipamentul cu placa triunghiulara articulata pe brat asigura o forta in cilindrul de manevrare a bratului mai mica comparativ cu echipamentul clasic.

6. Concluzii

Echipamentul cu cupa dreapta cu placa triunghiulara articulata pe brat permite mentinerea aproximativ constanta a inclinarii cupei pline la ridicarea echipamentului de lucru, actionandu-se numai cilindrul de manevrare al bratului. In lucrare s-a indicat o metoda grafica de determinare a pozitiei articulatiei tijei echipamentului de lucru la masina de baza in vederea satisfacerii cerintei de mai sus.

De asemenea echipamentul studiat asigura deplasarea muchiei taietoare a cupei pe o traiectorie aproximativ orizontala la incarcarea cupei prin actionarea cilindrului de manevrare a manerului, cu conditia corectiei pozitiei bratului prin alimentarea cilindrului de manevrare a bratului cu un debit corelat cu debitul de alimentare a cilindrului manerului. In cazul existentei unei suprafete suport corespunzatoare pentru materialul de incarcat, in faza de incarcare cilindrul bratului pot fi trecuti pe pozitia flotant.

Fortele obtinute la dintii cupei sunt mai mari ca la echipamentul clasic, utilizand aceeasi cilindri hidraulici, iar fortele in cilindrul de manevrare a bratului sunt mai reduse.

Se obtine astfel o reducere a duratei ciclului de lucru, cresterea productivitatii si reducerea consumului de combustibil, folosind un echipament de lucru mai simplu si mai ieftin, comparativ cu solutiile moderne de control automat a traiectoriei si pozitiei cupei cu ajutorul senzorilor si sistemelor electronice de comanda.

Se mentioneaza si posibilitatea efectuarii unui studiu de optimizare a echipamentului pe baza unui program de calcul a abaterilor pozitiei cupei fata de pozitia dorita atat la ridicarea echipamentului, cat si la incarcarea cupei, pentru diferite variante de amplasare a placii articulate pe brat si pentru diferite dimensiuni ale placii. Studiul dinamic al echipamentului TriPower este prezentat in lucrarea [3].

Bibliografie

- [1] Barlow C., High production puts contract ahead of schedule, International Mining, november 1984
- [2] Mihăilescu Șt., Bratu P., Goran V., Vlădeanu A. – Mașini de construcții vol.2 Construcția, calculul și încercarea mașinilor pentru lucrări de pământ, Editura Tehnică, București 1985.
- [3] Mitrev R., Gruychev R., Pobegailo P., CAD/CAE investigation of a large hydraulic mining excavator, Machine Design vol.3 (2011) no.1
- [4] TEREX / O&K, Hydraulic Mining Excavator RH40-E,
<http://www.terexafrica.co.za/downloads/mining/excavators/RH40-E%20Brochure.pdf>