

STABILIREA PARAMETRILOR CUPELOR DE EXCAVATOR ÎN BAZA MODELELOR STATISTICE

M. Andriuță, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar

Universitatea tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

În ultimii ani, odată cu adâncirea crizei economice mondiale, problemei sporirii eficienței mașinilor de terasamente, și în special a excavatoarelor universale hidraulice, i-se acordă o înaltă atenție atât din partea producătorilor de lucrări, cât și din partea firmelor producătoare de mașini. Astăzi firmele constructoare de mașini propun beneficiarilor excavatoare înzestrate cu mai multe cupe schimbabile (de la 3 bucăți propuse de uzinele rusești până la 13-14 propuse de firma germană Liebherr și până la 24 de cupe propuse de firma franceză Poclain).

În aceste condiții eficiența exploatării excavatoarelor depinde în mare măsură de echiparea lor cu cupe de cele mai potrivite capacități. Însă rezolvarea practică a problemei alegerii celei mai raționale cupe este destul de dificilă din mai multe cauze și mai întâi de toate din cauza lipsei unor metode simple și veridice de determinare operativă a categoriei solurilor, a capacității cupei mașinii pentru lucru eficient în soluri concrete și de determinare a parametrilor dimensionali și masici ai cupelor.

Metodele existente pentru rezolvarea problemelor enumerate mai sus au fost elaborate cu mulți ani în urmă în baza informației privind tehnica învechită și la etapa actuală necesită precizări și perfecționări. Afară de aceasta, relațiile recomandate pentru determinarea parametrilor dimensionali ai cupelor erau bazate pe informația privind capacitatea cupei care timp de mulți ani se considera parametru principal al excavatorului. Astăzi, conform publicațiilor recente de specialitate, parametru de bază se consideră, și pe bună dreptate, masa mașinii [1]. O încercare de rezolvare a acestor probleme actuale reprezintă studiul, rezultatele cărui sunt oglindite în lucrare.

1. DETERMINAREA CAPACITĂȚII NECESARE A CUPEI PENTRU LUCRU EFICIENT ÎN CONDIȚII CONCRETE DE SOL

1.1. Metodele existente de calcul a capacității cupei de excavator.

Analiza informației tehnico-științifice în domeniul proiectării și producerii echipamentelor de lucru a excavatoarelor utilizate în construcții arată că la etpa actuală nu există o părere unanimă privitoare la alegerea capacității cupei pentru orice mașină și condiții de lucru. Firmele occidentale în prospecțiunile publicitare afișează parametrii dimensionali și masici ai echipamentelor schimbabile ale excavatoarelor, însă nu publică indicații privind argumentarea alegerii cupei de anumită capacitate pentru diferite categorii de soluri după excavabilitate. Nu sunt asemenea recomandări nici în literatura de specialitate din fostul spațiu sovetic.

Astfel, în lucrarea [2] excavatoarele hidraulice sunt caracterizate cu masa mașinii M , în t, și capacitatea nominală a cupei q , în m^3 , ca parametru de bază. Din analiza acestei informații reiese, că capacitatea nominală a cupei poate fi calculată cu relația $q = 0,041M$. Aceiași sursă recomandă determinarea puterii instalației de forță a mașinii N , în kW, în funcție de capacitatea cupei q , în m^3 , cu relația $N=88 \cdot q$. În privința categoriei solului pentru care-i destinată cupa standardă și despre posibila utilizare a cupelor schimbabile de alte capacități nu sunt indicații.

În lucrarea fundamentală [3], în tabelul 45, sunt prezentate patru relații ale autorului pentru determinarea capacității cupei standarde (nominale) q , în m^3 , în funcție de masa mașinii M , în t. Astfel, pentru excavatoare de construcții $q = M/(20-36)$, pentru cele de cariere $q = M/(40-45)$, pentru mașinile destinate lucrărilor de decapare $q = M/(80-100)$ și pentru excavatoarele pășitoare $q = M/(70-90)$. Tot acolo, în tab. 46, sunt prezentate încă trei relații similare, care se numesc precizate și-s destinate pentru aceleași grupe de mașini. Un dezavantaj comun a al relațiilor publicate în [2] și [3] constă în aceea, că nu se indică destinația lor (pentru mașini cu șenile, sau cu pneuri) și tipul cupelor (lingură directă, sau întoarsă).

În lucrarea [4] pe baza analizei informațiilor difuzate de mai multe firme producătoare de excavatoare hidraulice cu echipament de cupă lingură inversă și considerând ca parametru principal masa mașinii M , în t, se propune o singură relație pentru calculul capacității standarde a cupei q , în m^3 . Astfel, pentru mașini cu masa între 2t și 200 t relația are forma

$$q = (0,02...12) M^{0,333} \quad (1)$$

Stabilirea parametrilor cupelor de excavator în baza modelelor statistice

Rezultatele calculelor exercitate de noi pentru toată gama de excavatoare produse de FR se deosebesc substanțial de informația publicată în literatura de specialitate [5].

În manualul de specialitate [6] se propune determinarea capacității cupei q , în m^3 , din graficul funcției

$$q = f(H_c, R_c), \quad (2)$$

unde H_c și R_c – respectiv adâncimea maximă și raza maximă de săpare, în m.

Utilizarea acestei metode presupune cunoașterea valorilor factorilor-argumenti, ceea ce este imposibil la etapa inițială de proiectare. Afară de aceasta nu există indicații privitoare la capacitățile cupelor schimbabile pentru lucru în diverse soluri. În baza analizei efectuate se poate face concluzia, că metodele existente de rezolvare a problemelor practice legate de proiectarea și exploatarea eficientă a excavatoarelor hidraulice universale necesită perfecționare.

1.2. Elaborarea modelului statistic pentru calculul capacității cupelor

Studiul actual s-a inițiat cu scopul elaborării în baza materialelor existente și cu utilizarea informației tehnice recente a unei metode noi, care ar permite alegerea cupei necesare în funcție de masă, ca parametru principal al mașinii, și de categoria solului după excavabilitate.

În rezultatul analizei materialelor existente ne-a atras atenția relația propusă cu mulți ani în urmă de profesorul A.Zelenin [7] pentru aprecierea masei cupei excavatorului de următoarea formă

$$m_c = q(0,5 + 0,04C), \quad \text{în } t, \quad (3)$$

unde: q – capacitatea cupei, în m^3 ; C – indicațiile penetrometrului dinamic de tipul DorNII, în baza cărora a fost elaborată renumita clasificare a solurilor după excavabilitate.

În concepția autorului, expresia din parantezele relației (1) reprezintă masa specifică a cupei $K_g = (0,5 + 0,04C)$, în t/m^3 . Luând în considerație că valorile factorului „C” pentru solurile care pot fi excavate nemijlocit de mașinile de terasamente variază în diapazonul de la 1 până la 35 (toată gama de soluri neînghețate), se poate face concluzia, că masa specifică a cupelor variază în limite considerabile în funcție de categoria solurilor.

S-ar părea, că totul e simplu – introducem în partea dreaptă valorile numerice ale factorilor „q” și „C” și se determină masa cupei. Însă în această simplă formulă toți factorii sunt necunoscuți. Capacitatea cupei nu poate fi cunoscută măcar din simplul motiv, că aceeași capacitate a cupei poate avea și o mașină grea și puternică, dar și una mult mai ușoară. De exemplu, din informația publicată în prospecțiunile firmei Liebherr reiese, că cupa de $5,1 m^3$ a excavatorului R-984 cu masa de 110 tone cântărește 5160 kg, iar cupa de $5,1 m^3$ a excavatorului R 974 cu masa de 80 tone cântărește numai 4160 kg. Același coraport dintre masa cupelor de aceeași capacitate pentru mașini cu mase proprii diferite se observă din analiza datelor din prospecțiunile altor firme cu renume mondial. Din cauza aceasta nu se știe ce valori raționale pot fi atribuite factorului „C”.

În literatura de specialitate lipsesc recomandările privind utilizarea în practică a relației (1). În rezultatul analizei informației difuzate de firmele producătoare de mașini s-a ajuns la concluzia, că determinarea capacității raționale a cupei s-ar putea efectua în baza informației factologice privind masa cunoscută a cupelor schimbabile realizate recent de firme pentru o gamă cât mai mare de mașini cu diverse mase.

Pentru rezolvarea complexă a acestei probleme s-a colectat și analizat informația fragmentară publicată de firmele cele mai cunoscute în domeniul proiectării, producerii și comercializării în plan mondial a excavatoarelor universale hidraulice. Astfel, s-a prelucrat masivul de informație privind mai mult de 30 tipuri de excavatoare hidraulice cu masa de la 9 tone până la 110 tone cu echipamente schimbabile de cupă lingură inversă (în total 126 cupe) cu capacitățile între $0,1 m^3$ și $9,6 m^3$ și masele cupelor respective între 134 kg și 6200 kg. În rezultatul prelucrării acestei informații după un program special s-a obținut relația pentru determinarea capacității cupei q , în m^3 , în funcție de masa mașinii M , în t, și de masa specifică a cupei K_g , în t/m^3 , de forma

$$q = e^{-5} \cdot M^{1,42} \cdot K_g^{-1,93}, \quad \text{în } m^3 \quad (4)$$

Relația (4) se caracterizează cu devierea medie a rezultatelor calculelor de la valorile reale ale cupelor utilizate $\varepsilon = 0,0609$ și cu coeficientul de corelare multiplă egal cu 0.9907, ceea ce confirmă posibilitatea utilizării ei pentru exercitarea calculelor inginerești. Relația (4) permite determinarea capacității cupei pentru orice excavator, dacă se cunoaște masa mașinii și categoria solului, în care se preconizează utilizarea lui.

Stabilirea parametrilor cupelor de excavator în baza modelelor statistice

Pentru a demonstra importanța relației (4) tab.1 sunt prezentate rezultatele calculelor capacității cupelor în funcție de masa mașinilor și de categoria solurilor excavate, care-i exprimată prin numărul de lovituri ale penetrometrului dinamic de tipul DorNII.

Tabelul1. Capacitățile cupelor schimbabile pentru săparea solurilor de diverse categorii

Masa excavatorului, M, în t	Capacitatea cupei q, în m ³ , (masa cupei, m _c , în kg), pentru categoriile de soluri I – IV caracterizate cu indicele „C” conform relației (3)			
	I (C = 3)	II (C = 6)	III (C = 12)	IV (C = 24)
10	0,445 (276)	0,32(234)	0,184(181)	0,085(124)
30	2,19(1357)	1,52(1127)	0,876(858)	0,4(590)
50	4,42(2742)	3,145(2328)	1,8(1772)	0,84(1220)
70	7,133(4422)	5072(3753)	2,916(2858)	1,347(1967)
90	10,19(6319)	7,247(5363)	4,167(4084)	1,925(2810)
110	13,55(8400)	9,636(7131)	5,54(5,430)	2,56(3737)

Analiza datelor tab.1 permite să afirmăm următoarele constatații de mare importanță practică.

Pentru lucru în solurile medii de categoria I, cupa excavatorului poate avea capacitatea de circa cinci ori mai mare, decât cupa pentru solurile medii de categoria a IV-a. Pentru solurile extrem de slabe (C=1) capacitatea cupei poate fi de 11 ori mai mare, decât cupa pentru solurile extrem de tari, cu C=35.

Pentru orice excavator cupa cu masa specifică de 620 kg/m³ pentru soluri medii (C=3) de categoria I cântărește de circa 2,2 ori mai mult, decât cupa cea mai mică (dar cu masa specifică de 1459 kg/m³), pentru solurile medii de categoria a IV-a.

Pentru lucru în soluri de toate categoriile excavatorul cu masa de 11 ori mai mare (de exemplu, cel cu masa de 110 t față de cel cu masa de 10 t) se va echipa cu cupă cu capacitatea de circa 30 ori mai mare. Rezultatul calculelor exercitate cu metodele cunoscute arată, că la timpul unui ciclu de lucru de 26 s excavatorul cu masa de 110 t și cupa de 13,55 m³ va realiza productivitatea teoretică de 1876 m³/h, iar mașina cu masa de 10 t și cupa de 0,445 m³ la timpul unui ciclu de 14,23 s va realiza productivitatea de 112,6 m³/h. Astfel, conform cunoscutului criteriu (productivitatea raportată la masa mașinii), în aceleași condiții de sol mașina cu masa de 110 t va avea o eficiență de 1,5 ori mai mare [17,15 m³/(h.t) față de 11,26 m³/(h.t)].

2.DETERMINAREA LUNGIMII MUCHIEI TĂIETOARE ȘI A LUNGIMII CINEMATICE A CUPEI

2.1.Calculul lungimii muchiei tăietoare

Lungimea muchiei tăietoare a cupei determină parametrul principal de producție a mașinii- lățimea brazdei de pământ dislocat de la masiv, care-i egală de regulă cu lățimea cupei. Acest parametru dimensional este foarte important atât pentru determinarea eforturilor de rezistență a solului la săpare în procesul de proiectare a excavatoarelor de la organul executiv spre motorul de acționare, cât și la alegerea mașinii pentru anumite condiții de lucru.

Actualmente lungimea muchiei tăietoare B, în m, se determină în funcție de capacitatea cupei q, în m³, ca parametru de bază, cu relația publicată în [6]

$$B = 1,51 \cdot q^{0,333} - 0,26, \text{ în m,} \quad (5)$$

Practica demonstrează, că în multe cazuri rezultatele calculelor exercitate cu relația (3) deviază considerabil de la valorile reale ale lățimii cupelor mașinilor moderne. Analiza informației moderne privind parametrii dimensionali ai echipamentelor de lucru arată, că lățimile cupelor de aceeași capacitate destinate pentru mașini de diferite mase se deosebesc considerabil. Astfel, lățimile cupelor cu aceeași capacitate, de 3 m³, ale excavatoarelor firmei Liebherr cu masele de 110, 80 și 64 tone constituie respectiv 1300, 1550 și 1850 mm. Din această cauză considerăm, că este necesară exercitarea unui studiu în scopul perfecționării metodei existente de calcul a lungimii muchiei tăietoare a cupelor.

Pentru rezolvarea acestei probleme s-a analizat informația publicată în prospecțiunile firmelor producătoare de excavatoare performante privitoare la masa mașinilor, capacitatea cupelor schimbabile și lungimile muchiilor tăietoare ale cupelor schimbabile (în total 85 cupe) prezentată în tabelul 1. Tabelul 1. Informația privitoare la masele mașinilor și parametrii principali ai cupelor schimbabile

Stabilirea parametrilor cupelor de excavator în baza modelelor statistice

Nr Crt	Firma produ- cătoare, nu mărul cupe schimbabile	Masa mași- nii, în t	Capacitatea cupelor,min. -max., în m ³	Lățimea cupelor, B _{min.} -B _{max.} , în m		
				De facto	Calculată cu relația (5) și (devierea, %)	Calculată cu relația (6) și (devierea,%)
1	Liebherr-11	110	2,5- 8	1,3-2,4	1,92-2,76 (48-15)	1,29-2,8 (0,7-17,3)
2	Liebherr-13	80	2,2 – 6,6	1,2 – 2,5	1,7-2,57 (23-2,8)	1,32-2,76 (10-10)
3	Liebherr-13	64	1,4- 5	1,05 – 2,45	1,43-2,32 (36-5,3)	1,05-2,47 (0-0,8)
4	Caterpillar-5	63	1,94 – 3,25	1,08 -2,06	1,623-1,98 (16,3-39)	1,32-1,86 (22-9,7)
5	Caterpillar-3	40	2,49 – 3,35	1,8 – 1,93	1,78-2 (1,1-3,6)	1,81-2,21 (1,6-10,5)
6	Caterpillar-8	24,6	0,43 – 1,45	0,625 – 1,35	0,88-1,45 (40-0)	0,66-1,49 (5,6-7,4)
7	Caterpillar-3	19,3	0,5 – 1,2	0,85 – 1,33	0,94-1,34 (10,5-0,7)	0,79-1,43 (7.05-7,5)
8	Caterpillar-5	17,4	0,26 – 0,74	0,5 -1,2	0,7-1,1 (0,4-8,3)	0,53-1.06 (6-11.6)
9	Brăila- 5	16,7	0,3 – 0,85	0,52 – 1,2	0,75-1,17 (44-2,5)	0,59-1,185 (13.5-1.25)
10	Caterpillar-6	14,8	0,26 – 0,89	0,45 – 1,05	0,7-1,19 (55,5-19)	0,56-1,27 (24,4-21,8)
11	Caterpillar-7	13,75	0,22 – 0,72	0,5 – 1,2	0,65-1,09 (30-9,2)	0,51-1,137 (2-5,2)
12	Poclain-6	9	0,1 –0,4	0,32 – 0,95	0,44-0,85 (37,5-5,5)	0,35-0,886 (9,3-6,7)
Devierea medie a rezultatelor de la „de facto”, %				28,5-9,2	8,3-9,15	

În rezultatul prelucrării informației din coloanele 3, 4 și 5 ale tabelului 1 s-a obținut relația pentru determinarea lungimii muchiei tăietoare a cupelor de tipul lingură întoarsă modelul matematic de forma

$$B = e^{1,24} \cdot q^{0,67} \cdot M^{-0,34}, \text{ în m,} \quad (6)$$

unde: q – capacitate cupei, în m³; M – masa excavatorului, în t. Din punct de vedere statistic relația (4) se caracterizează cu devierea medie relativă a rezultatelor de 0,0745 și valoarea coeficientului de corelare multiplă egală cu 0,9778. Diferența dintre această valoare a devierii relative medii de 0,0745 și cea indicată în coloană a șaptea a tabelului 1 se explică prin faptul, că în această coloană s-au luat în considerație numai datele privitoare la valorile maxime și minime ale lățimilor cupelor (deci, numai 24 de variante din cele 85, în baza cărora s-a elaborat relația de mai sus).

Analiza datelor tab.1 arată, că rezultatele calculelor exercitate cu relația (6) descriu cu înalt grad de exactitate valorile reale ale lungimilor muchiilor tăietoare pentru tot diapazonul de cupe existente, ceea ce dovedește că lungimea muchiei depinde nu numai de capacitatea cupei, cum se afirma prin relația (5).

Din conținutul relației (6) reiese, că la aceiași capacitate lățimea cupei excavatorului cu masa mai mare trebuie să fie mai mică. Aceasta se confirmă, de exemplu, din analiza comparativă a datelor prezentate în rândurile 1 și 5 ale tabelului 2: lățimea cupei cu capacitatea de 2,5 m³ a excavatorului firmei Liebherr cu masa de 110 t cunstituie 1,3 m (e destinat pentru dislocarea celor mai tari soluri !), iar cupa de aceeași capacitate a excavatorului firmei Caterpillar cu masa de 40 t are lățimea mai mare – de 1,8 m (e destinat pentru soluri mai slabe).

2.2. Calculul lungimii cinematice a cupei

Acest parametru, de rând cu lungimea muchiei tăietoare, determină în mare măsură capacitatea cupei, dar și reprezintă factorul principal dimensional al schemei de calcul și proiectare a mecanismelor

Stabilirea parametrilor cupelor de excavator în baza modelelor statistice

de săpare prin rotirea mânerului, cât și aceluși de săpare prin metoda rotirii cupei, ceea ce permite determinarea puterii instalației de forță a mașinii.

Analiza materialelor existente în domeniul calculelor de proiectare și de exploatare a excavatoarelor hidraulice arată, că cea mai recentă și solicitată este relația din manualul de specialitate [6], care reprezintă opinia institutului Stroidormaș și prevede determinarea lungimii cinematice a cupei L_c , în metri, în funcție de capacitatea cupei q , în m^3 , și are forma

$$L_c = 1,25 \cdot q^{0,333} + 0,25 \quad (7)$$

Din analiza vizuală a acestei relații se înțelege, că ea putea fi folosită în timpurile trecute, când parametru de bază a excavatorului se considera capacitatea cupei și că în condițiile actuale utilizarea ei reprezintă dificultăți. Deaceia, în baza analizei statistice a informației factologice (masa excavatorului M , în t , capacitatea cupei q , în m^3 , și lungimea cinematică a cupei L_c , în m), publicate de firmele Liebherr și Caterpillar (un masiv din 73 variante) s-a elaborat modelul matematic pentru calculul lungimii cinematice a cupei de forma

$$L_c = e^{-1} \cdot M^{0,43}, \quad (8)$$

care se caracterizează cu coeficientul de corelare multiplă de 0.97195, coeficientul de determinare multiplă de 0,97155 și devierea medie a rezultatelor calculelor de la valorile reale ale lungimilor cupelor egale cu 0,0417. Factorul „capacitatea cupei” s-a arătat nesemnificativ. Valorile numerice arătate mai sus ale caracteristicilor statistice confirmă posibilitatea utilizării relației (6) pentru exercitarea calculelor inginerești

3.CONCLUZII

Analiza informației tehnice și științifice în domeniul mașinilor de terasamente a demonstrat, că la etapa actuală baza științifică existentă pentru rezolvarea unor probleme importante privitoare la proiectarea și exploatarea excavatoarelor hidraulice universale, cu care se exercită majoritatea lucrărilor în construcții, s-a învechit și necesită studii speciale pentru perfecționare.

În urma prelucrării unui mare masiv de informație publicată de principalii producători de mașini hidraulice moderne s-a elaborat un model statistic, care permite determinarea, cu înaltă precizie, a capacității cupei schimbabile pentru excavatoarele hidraulice universale cu cupa inversă, în funcție de masa mașinii și categoria excavabilității solului excavat.

S-au elaborat modele veridice pentru determinarea celor mai importanți parametri dimensionali ai cupelor -lungimea muchiei tăietoare și lungimea cinematică.

Utilizarea modelelor elaborate va ajuta producătorii de lucrări la rezolvarea problemei alegerii cupei de capacitatea optimă pentru realizarea productivității maxime în anumite condiții de sol, iar constructorii vor rezolva mai eficient problema proiectării mașinilor și echipamentelor de lucru.

Bibliografie

1. **Volcov D.P., Cricun V.Ia.** Stroitelinie mașinâ n sredstva maloi mehanizații. Moscva.:Izdatelischii țentr Academii nauc, 2008.-480 pag.
2. **Stroitelinâe mașini.** Spravocinic, tomI. Moscva.:Mașinostroenie, 1976.-502 pag.
3. **Dombrovski N.G.** Excavatorâ. Moscva.:Mașinostroenie, 1969.-320 pag.
4. **Dombrovski N.G. și a.** Stroitelinie mașini. Moscva.:Vâșșaiia școla, 1985.-224 pag.
5. **Cuzin Ă.I.** Stroitelinie mașini. Tom I. Moscva.:Mașinostroenie, 1991.-496 pag.
6. **Volcov D.P. și a.** Mașini dlea zemleanih rabot. Moscva.:Mașinostroenie, 1992.-448 pag..
7. **Pavlov V.I.** Proiectirovanie odnocovșovih excavatorov. Izdatelstvo Crasnoiarscogo universiteta. Crasnoiarsc, 1988.-188 pag.