

PÕLLUTÖÖMASINA VÕIMSUSTARBE KATSELINE HINDAMINE

V. Meriloo, K. Laas

SUMMARY. *Experimental estimation of engine power of agricultural machine. Relationship between power of diesel engine and engine speed has a linear character if we take into account automatically regulated branch of curve. With help of appliance ИМД-ЦМ (indicator of engine power) it is possible to indicate the power of diesel engine in relationship of temperature of engine. So it is possible to find driving power of potato digger by engine speed with help formula (6). We see that the formula (6) gives a relationship between N_m and some independent variables. To compute a quantity of N_m as a function of these independent variables and taking into account absolute limits on the individual errors the absolute error of ΔN_m is given by formula (7). Example of calculations by formula (7) in the case of using one-row rotation potato digger is given in tab. 1. Maximum computed absolute error of needed power of potato digger ΔN_m is $\pm 0,40$ kW or 8% as seen in table 1. Calculations with help formula (6) are given in table 2.*

Diiselmootorite regulaatorkarakteristik seostab mootori väntvõlli pöörete kaudu mitmed mootorile iseloomulikud näitsuurused nagu väändemoment, võimsus, kütusekulu jt. Nende näitsuuruste nimiväärtused kujundavad mootori nn. nimirežiimi ehk parimate majanduslike näitsuurustega töörežiimi. Nimirežiim jaotab regulaatorkarakteristiku väntvõlli pöörete alusel ülekoormus- (minimaalse ja nimipöörete vahemik) ja regulaatorosaks (nimi- ja tühikäigu pöörete vahemik). Käesolevas kirjutises käsitleme regulaatorkarakteristiku regulaatorosas töötava mootori väntvõlli pöörete n_a ja mootori poolt tarbija käitamiseks mineva efektiivvõimsuse N_a vahet (Krivenko, Fedossov, 1970).

Koormusgraafiku regulaatorosas moodustub mootori nimi- ja tühikäigu- ning hetkvõimsuspunktidest ning vastavatest pööretest kaks täisnurkset kolmnurka, mille sarnasuse alusel saame välja tuua järgmise seose:

$$N_a = \frac{N_n(n_{tk} - n_a)}{(n_{tk} - n_n)}, \quad (1)$$

kus N_a – tarbija käitamiseks kasutatav võimsus;

N_n – mootori nimivõimsus;

n_{tk} – mootori tühikäigu pöörded;

n_a – tarbija poolt kasutatavale võimsusele vastavad mootori väntvõlli pöörded (s.o. traktori töötamise ajal mõõdetuna);

n_n – mootori nimipöörded.

Üldjuhul on traktoriagregaadi, s.o. traktori ja masina kompleksi töötamisel mootori võimsuse tarbijaks lisaks masinale ka traktor ise oma transmissiooni- ja veeretakistusega N_t , mille alusel traktoriagregaadi töötamisel vajalik võimsus avaldub $N_a = N_m + N_t$. Avaldades toodud seosest põllutöömasina käitamiseks vajaliku võimsuse N_m ja võttes arvesse seose (1), saame avaldise põllutöömasina võimsustarbeks:

$$N_m = \frac{N_n(n_t - n_a)}{(n_{tk} - n_n)}, \quad (2)$$

kus n_t – töötava mootori väntvõlli pöörded traktori tühisõidul;

n_a – mootori väntvõlli pöörded traktoriagregaadi töötamisel.

Nagu nähtub valemist (2), on põllutöömasina käitamiseks kuluvat võimsust N_m võimalik määrata ka kaudselt, teades suurusi N_n , n_{tk} , n_t , ja n_a . Kolme viimase mõõtmine on suhteliselt lihtne selleks sobiva mõõteriista olemasolu korral. Nimipöörlemissageduse n_n leidmiseks tuleks aga läbi viia mootori pidurikatse. Selleks on vajalik vastav pidur ja spetsialist. Üldjuhul on pidurid keerukad ja kallid ning nende vähesuse tõttu on katse organiseerimine tülikas. Teatud marki traktorite puhul võime nimipöörded avaldada ka analüütiliselt. Vene maal toodetud traktoritel T-25 (kasutame oma katsete läbiviimisel), millel kasutatakse kõrgrõhupumpasid ДД 21/2, on nimipöörlemissagedust võimalik leida seosest

$$n_n = n_{tk}(1 - \delta), \quad (3)$$

kus δ on kõrgrõhupumba regulaatori ebaühtlusaste, $\delta=0,04\dots0,06$ (Belskihh, 1973).

Valemi (2) abil põllutöomasina käitusvõimsust leides on meil vajalik teada ka mootori nimivõimsust N_n . Seda saab leida vaid pidurikatsega. Pidurikatsed on keerukad ja täpsemaid tulemeid andvad, kuid suhteliselt kallid. Pidurit teenindab selleks eriettevalmistuse saanud töötaja. Kaasajal on laialdaselt kasutusel pidurdusmeetodid, mille puhul imiteeritakse mootori koormust inertsi jõudude abil. Inertsijõudude tekitamiseks tuleb mootor panna tööle kiirendusrežiimil ja tulemit fikseeritakse elektrooniliste seadmete abil. Kiirenduse (aeglustuse) mõõtmiseks kasutatakse väntvõlli pöörlemisagedusega võrdeliselt pulseerivat voolu, kusjuures impulsside sagedust loendab vastav elektrooniline seade. Meie kasutuses oleva võimsusindikaatori ИМД-ЦМ kasutamisel saadakse katsemeetodika kohaselt signaal mootori hooratta hammasvöö hammaste kohale paigaldatud induktsioonanduri poolt genereeritud pulseeriva voolu alusel. Abivariandina võib andur olla paigaldatud vastava seadme abil ka mujale (näiteks traktori voolugeneraatori ventilaatori tiiviku labade ringi vastu). Seadme ИМД-ЦМ abil saab mõõta väntvõlli pöördeid ja kiirendust (aeglustust). Reaalsete tulemuste saamiseks tuleb seade eelnevalt kalibreerida, et sobitada näidud katsealuse mootori parameetritega. Kui me soovime hinnata mootori nimivõimsust, siis tuleb mõõta väntvõlli nurkkiirendust ε_m hetkel, mil kütuse etteande suurendamisel algsuurusest (see peab tagama mootori töötamise umbes 1000 min^{-1} juures) kuni täisetteandeni (peab kindlustama mootori tühikäigupöörded) on väntvõlli pöörded tõusnud nimiväärtuseni. Seadme kasutamise meetodika kohaselt toimub kiirenduselt võimsusele üleminek lineaarse funktsiooni abil. Näitena olgu toodud paar sellekohast funktsiooni (Samoilov jt., 1981):

$$\text{traktor MT3-80} - N = 0,42\varepsilon_m - 17,2; \quad \text{traktor T-25} - N = 0,065\varepsilon_m + 11,96,$$

kusjuures N – mootori võimsus kW, ε_m seadmega ИМД-ЦМ mõõdetud väntvõlli nurkkiirendus $\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$. Katsetamise ajal peab olema välja lülitatud hüdroüsteemi pump ja mootor peab olema töösoe, s.o. jahutusvedeliku või karteriõli temperatuur peab olema piirides $70\dots90^\circ\text{C}$. Katsetatav mootor peab olema sisse töötatud.

Üldjuhul on raske osaliselt koormatud mootori töötemperatuuri tõsta normaalseni. Et saada praktika jaoks vastuvõetavaid katsetulemusi ka alla normaalset töötemperatuuri töötava mootori korral näeb katsemeetodika ette vastava paranduse sisseviimise järgneva seose järgi (Samilov jt., 1981):

$$\varepsilon_{teg} = \varepsilon_m(1 + 0,01\Delta\varepsilon), \quad (4)$$

kus ε_{teg} – seadme ИМД-ЦМ nurkkiirenduse näit temperatuuriparandust arvestades mootori nimirežiimil mõõdetuna $\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$;

ε_m – tegelikul temperatuuril mõõdetud nurkkiirendus $\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$;

$\Delta\varepsilon$ – nurkkiirenduse temperatuuriparandus temperatuuril t $\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$.

Nurkkiirenduse temperatuuriparanduse $\Delta\varepsilon$ ja mootori töötemperatuuri vahel on pöördvõrdeline sõltuvus, mille lähendfunktsioon korrelatsiooniteguri $r=0,9964$ korral temperatuurivahemikul $40\leq t \leq 80$ avaldub

$$\Delta\varepsilon = \frac{143,6}{t} - 1,455.$$

Seda arvesse võttes võime valemi (4) esitada kujul

$$\varepsilon_{teg} = \varepsilon_m \left[1 + 0,01 \left(\frac{143,6}{t} - 1,455 \right) \right], \quad (5)$$

kus t on mootori jahutusvedeliku või karteriõli temperatuur $^\circ\text{C}$.

Kui on vajadus hinnata mingisuguse töomasina võimsustarvet, tuleb traktor mõõtmiseks ette valmistada. Selleks tuleb seadmega ИМД-ЦМ mõõta mootori tühikäigupöörded (seade mõõdab pöörlemisagedust min^{-1}). Kiirenduse mõõtmisel tuleb hinnata mootori jahutusvedeliku või karteriõli temperatuuri ja siis leida ε_m , pannes mootori väntvõlli pöörlema kiirendusega. Arvesse võttes valemeid (3), ja (5) ning seost $N=0,065\varepsilon_{teg}+11,96$, saame valemi (2) esitada meile sobival kujul järgmiselt:

$$N_m = \left\{ 0,065\varepsilon_{teg} \left[1 + 0,01 \left(\frac{143,6}{t} - 1,455 \right) \right] + 11,96 \right\} \frac{n_t - n_a}{\delta n_{tk}}. \quad (6)$$

Muutujatel on nende mõõteviga. Seega sõltub masina poolt tarbitav võimsus N_m kui kaudel mõõtmisel saadud suurus kõikide argumentide veast. Vigade teooria kohaselt saame funktsiooni (N_m) absoluutse vea ΔN_m leida järgmise valemi kohaselt (Doebelin, 1990):

$$\Delta N_m = \left| \Delta \varepsilon_{teg} \frac{dN_m}{d\varepsilon_{teg}} \right| + \left| \Delta t \frac{dN_m}{dt} \right| + \left| \Delta \omega_t \frac{dN_m}{d\omega_t} \right| + \left| \Delta \omega_a \frac{dN_m}{d\omega_a} \right| + \left| \Delta \omega_{tk} \frac{dN_m}{d\omega_{tk}} \right| + \left| \Delta \delta \frac{dN_m}{d\delta} \right|, \quad (7)$$

kus $\Delta \varepsilon_{teg}$, Δt , $\Delta \omega_t$, $\Delta \omega_a$, $\Delta \omega_{tk}$, $\Delta \delta$ – vastavate suuruste vigade absoluutväärtused;

$$\frac{dN_m}{d\varepsilon_{teg}}, \frac{dN_m}{dt}, \frac{dN_m}{d\omega_t}, \frac{dN_m}{d\omega_a}, \frac{dN_m}{d\omega_{tk}}, \frac{dN_m}{d\delta} - \text{funktsiooni } N_m \text{ tuletis vastava muutuja järgi.}$$

Suhtelise vea saame leida järgmise avaldisega (Doebelin, 1990):

$$\frac{\Delta N_m}{|N_m|} = \frac{\Delta \varepsilon_{teg}}{|\varepsilon_{teg}|} + \frac{\Delta t}{|t|} + \frac{\Delta \omega_t}{|\omega_t|} + \frac{\Delta \omega_a}{|\omega_a|} + \frac{\Delta \omega_{tk}}{|\omega_{tk}|} + \frac{\Delta \delta}{|\delta|}. \quad (8)$$

Et leida põllutöömasina poolt tarbitava võimsuse viga sõltuvana selle mõjurite veast, teeme kindlaks nende absoluutsed vead. Nurkkiirenduse ε_{teg} suhtelise vea leiame teades, et mõõteriista ИМД-ЦМ täpsusklass on 1,0 (Ustroistvo..., 1989). See tähendab, et mõõteriista lugemi absoluutne viga ei ületa 1,0% skaala lugemi maksimaalväärtusest ε_k . Antud juhul ε_k on maksimaalselt $300 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$. Arvutused näitavad, et seadmega ИМД-ЦМ mõõdetud nurkkiiruse ε_m viga on seega $\Delta \varepsilon_m = \pm 3,0 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$. Karteriõli temperatuuri mõõdamise elavhõbetermomeetriga ТЛ-3 mõõtepiirkonnaga $-10 \text{ }^\circ\text{C} \dots 510 \text{ }^\circ\text{C}$. Temperatuuriühikuks on sel termomeetril $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Seega $\Delta t = \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nagu eespool märgitud, kasutame oma katsetes traktorit Т-25 kõrgrõhupumbaga ИД 21/2. Selle regulaatori ebaühtlusaste kõigub piirides $\delta = 0,05 \pm 0,01$ ehk $\Delta \delta = \pm 0,01$.

Seadme ИМД-ЦМ täpsusklass mõõtepiirkonnas $n = 100 \dots 5000 \text{ min}^{-1}$ on 0,5 (Ustroistvo..., 1989) mis tähendab, et mõõtepiirkonna pöörete lõppväärtus $n_k = 5000 \text{ min}^{-1}$ ja mõõdetud pöörete absoluutne viga seega $\Delta n = \pm 25 \text{ min}^{-1}$.

Valemiga (6) põllutöömasina (antud juhul kartulivõtturi) poolt tarbitava võimsuse absoluutse vea hindamiseks võtame aluseks valemi (7). Toome näitena nurkkiirenduse ε_{teg} poolt esiletoodud osatuletise arvutuse.

$$\frac{dN_m}{d\varepsilon_{teg}} = \frac{d}{d\varepsilon_{teg}} \left\{ 0,065 \varepsilon_{teg} \left[1 + 0,01 \left(\frac{143,6}{t} - 1,455 \right) \right] + 11,96 \right\} \frac{n_t - n_a}{\delta n_{tk}}.$$

Arvestades, et meie katsetes

$$\begin{aligned} t &= 50 \text{ }^\circ\text{C}, \\ n_t &= 1687 \text{ min}^{-1}, \\ n_a &= 1658 \text{ min}^{-1}, \\ \delta_{max} &= 0,06, \\ n_{tk} &= 1714 \text{ min}^{-1}, \text{ saame} \end{aligned}$$

$$\left| \frac{dN_m}{d\varepsilon_{teg}} \Delta \varepsilon_{teg} \right| = \left| 0,065 \left[1 + 0,01 \left(\frac{143,6}{50} - 1,455 \right) \right] \frac{1687 - 1658}{0,06 \times 1714} \times 2,065 \right| = 0,0223 \times 3,0 = 0,0669 \text{ kW}.$$

Tehes analoogsed arvutused valemi (7) alusel kõikide valemis (6) esinevate tundmatute korral, saame tulemuseks põllutöömasina võimsuse absoluutse vea ΔN_m . Arvutuse käik on koondatud tabelisse 1. Nagu näitab tulemus, ei ületa katseviga $\pm 0,4 \text{ kW}$ (tabel 1) ja seega valitud katsete meetodika rahuldab praktika vajadused.

Kartuli koristamisel rootortüüpi kartulivõtturiga saime erinevate töökiiruste juures ka erinevad masina käitusvõimsused koos nende katseviga (tabel 1). Näide kartulivõtturi katsetamise tulemuste kohta, millel rootori laba koosneb neljast piist, on esitatud tabelis 2. Arvutused on tehtud valemiga (6), kusjuures $\delta = 0,05$ ning $n_{tk} = 1712 \text{ min}^{-1}$. Nagu näha, ei ületa katseviga 8%, mida võib praktiliselt lugeda rahuldavaks tulemuseks.

Tabel 1. Kartulivõtturi käitusvõimsuse N_m vea hindamine**Table 1.** Estimation of measuring error of driving power of potato digger

Nr.	Valemi (6) argumentid x	Valemi (6) osatuletised dN_m/dx	Argumentide x vead Δx	Argumentide osatuletiste ja vigade korrutiste absoluutväärtused $ (dN/dx)\Delta x \text{ kW}$
1.	ε_{teg}	0,0223000	$\pm 3,0000$	0,0669000
2.	t	0,0005052	$\pm 2,0000$	0,0010000
3.	δ	-1,6030000	$\pm 0,0100$	0,1603000
4.	n_t	0,0028482	$\pm 25,000$	0,0712000
5.	n_a	0,0028482	$\pm 25,000$	0,0712000
6.	n_{tk}	-0,0000015	$\pm 25,000$	0,0000375
$\sum_{x_1}^{x_n} \frac{dN_m}{dx} \Delta x =$				$\pm 0,3706 \approx \pm 0,4$

Tabel 2. Kartulivõtturi käitusvõimsus ja selle mõõteviga**Table 2.** Potato diggers driving power and its measuring error

Valitud kiirusdiapasoon (käik)	Kiirus V m/s	Agregaadi tühisõidukitse		Agregaadi töökatse		Masina käitusvõimsus N_m kW	Katseviga ΔN_m	
		Väntvõlli pöörlemisagedus n_t min ⁻¹	Vajalik mootori võimsus N_t kW	Väntvõlli pöörlemisagedus n_a min ⁻¹	Vajalik võimsus N_a kW		Absoluutväärtus kW	Relatiivväärtus %
1	0,50	1687	4,80	1657,90	9,819	5,019	$\pm 0,4$	$\pm 8,0$
2	0,71	1684	5,25	1647,20	11,690	6,44	$\pm 0,4$	$\pm 6,2$
3	1,70	1676	6,85	1633,13	14,150	7,30	$\pm 0,4$	$\pm 5,5$

Agregaadi tegeliku töörežiimi (töökiiruse) määrab töö nõutav kvaliteet (mugulate vigastused, mulla alla mattumine) ja ökonomia (kütuse ja aja kokkuhoid). Praktiliselt on parim esimene kiirusdiapasoon. Agregaadi katsetamine reaalses tingimustes võimaldab välja töötada sellekohased soovitusel juhul, kui kasutame katsemetoodikat, mille tulemuste täpsus on vastuvõetav. Eelnevast selgus, et nüüdisaegsete kallite ja täpsete katseseadmete kõrval väärib tähelepanu ka lihtne ja kerge (alla 4 kg) elektrooniline aparaat ИМД-ЦМ ja seda eriti juhul, kui puuduvad vahendid praegusaegsete täiuslike seadmete muretsemiseks.

Kirjandus

- Belskih: Бельских В. И. Диагностика технического состояния и регулировка тракторов. – М., 1973. – 186 с.
- Doebelin, E. O. Measurement systems. Application and Display. – Mc Graw Hill, 1990. – 960 p.
- Krivenko, Fedosov: Кривенко П. М., Федосов И. М. Дизельная топливная аппаратура. – М., 1970. – 536 с.
- Samoilov jt.: Самойлов С. В., Дромов Д. В. и др. Технология диагностирования дизелей тракторов и комбайнов с применением прибора ИМД-ЦМ. Методические рекомендаций. – Новосибирск, 1981. – 72 с.
- Ustrojstvo...: Устройство измерительное ИМД-ЦМ. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 1989. – 82 с.