BETRIEBSVERHÄLTNISSE VON SCHLEPPERMOTOREN BEI VERÄNDERLICHER BELASTUNG

Von

I. RÁZSÓ und G. SITKEI

Lehrstuhl für Landmaschinen, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 21. April 1960)

Einleitung

Die mittlere Leistung der Schleppermotoren wird so gewählt, daß der Motor auf der Regelungskennlinie der Drehmomentenlinie (d. h. auf dem regulierten Teil der Drehmomentenlinie) arbeite. Vom Standpunkt der guten Ausnützung des Motors aus ist es aber erwünscht, daß das mittlere Belastungsmoment das Nenndrehmoment M_e des Motors je besser annähere.

Bei landwirtschaftlichen Arbeiten ist jedoch das Belastungsmoment niemals konstant, es schwankt vielmehr stets um einen mittleren Wert, der sogar selbst zeitweiligen Änderungen unterworfen ist [1, 2]. Wegen der erwähnten Belastungsschwankung ist der periodische Übergang auf den nicht geregelten Teil der Kennlinie unvermeidlich. Diese Übergänge dauern umso länger, je größer die mittlere Belastung ist. Besäße der Motor keinen ungeregelten Teil der Drehmomentenlinie, so würde er bei jedem Übergang zum Stocken kommen, oder man müßte ihn auf eine kleinere Geschwindigkeitsstufe zurückschalten. Vom betrieblichen Gesichtspunkt aus ist keine der beiden Erscheinungen erwünscht, weshalb der Ablauf des nicht geregelten Teiles der Drehmomentenlinie von großer Bedeutung ist.

1. Kennzeichen des Belastungsmomentes

Das Belastungsmoment auf der Kurbelwelle des Motors schreibt sich bei gradliniger Fahrt zu

$$M_k = M_f + M_v + M_a,$$

worin M_k das mittlere Belastungsmoment,
M_f das Moment des Rollwiderstandes,
M_v das Moment der Zugkraft,
M_a das Widerstandsmoment der ansteigenden Fahrbahn bedeuten.

Im Laufe der Verrichtung der verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten ändern sich die einzelnen Komponenten, womit sich auch das Belastungsmoment ändert.

Verfügt der Boden über eine gleichartige Mikrohügeligkeit, gleichartigen Bewuchs, Feuchtigkeit und mechanische Eigenschaften, dann verläuft die Änderung des Belastungsmoments ähnlich der Kurve in Abb. 1a, d. h. der Wert von M_k bleibt konstant.

Der Ungleichförmigkeitsgrad des Belastungsmomentes ist

$$\delta = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_k} \tag{1}$$

und die Änderung des Moments

$$\Delta M = \frac{\delta}{2} M_k \tag{2}$$

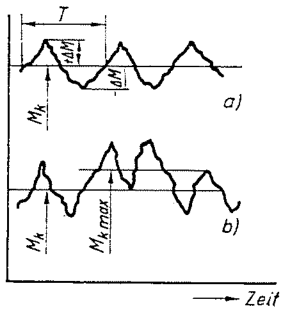

Abb. 1

Der Ungleichförmigkeitsgrad ist eine wichtige Kennzahl der Änderung des Belastungsmomentes. Je größer der Wert δ, desto größer wird der $\pm\Delta M$ Wert, was die Belastungsmöglichkeit des Motors verringert.

Der Einfluß der periodischen Änderung des Belastungsmoments hängt ferner von einem weiteren Faktor ab, u. zw. von der Zeitdauer T [sec] der Periode. Es ist leicht verständlich, daß der Einfluß der Momentenänderung um so größer sein wird, je länger die Zeitdauer T der Periode ist. Aus diesem Grunde ist die zweite wichtige Kennzahl des Belastungsmomentes die Zeitdauer T der Periode.

Bisher war der mittlere Wert des Belastungsmoments konstant. Außer der periodischen Änderung des Momentes kann jedoch auch die Änderung des mittleren Moments (Abb. 1b) beobachtet werden. Die Abweichung des $M_{k\,\max}$-Wertes vom durchschnittlichen M_k beeinflußt die Arbeit des Schleppermotors weitgehend und stellt einen der Hauptgründe dafür dar, daß der Schlepper nicht bis zu 100% seiner Nennleistung belastet werden kann. Je größer diese Abweichung ist, um so mehr muß die Belastung im Vergleich zur 100%igen verringert werden.

Die vorübergehend mögliche Erhöhung der gegebenen Komponente des Belastungsmoments drücken wir mit dem Koeffizienten

$$\nu = \frac{M_{k\,\max}}{M_k} \tag{3}$$

aus.

Um den Grad der Ungleichförmigkeit des Belastungsmomentes ermitteln zu können, müssen wir den Grad der Ungleichförmigkeit der Komponenten kennen.

Das Belastungsmoment tritt am Anfang des Triebrades als Umfangskraft auf. Den Fall eines abschüssigen Hanges außer acht gelassen, setzt sich die Umfangskraft aus zwei Komponenten zusammen, u. zw. aus der nützlichen Kraft am Zughaken und dem Rollwiderstand, d. h.

$$P_k = P_f + P_v.$$

Der Ungleichförmigkeitsgrad der Umfangskraft ist

$$\delta = \frac{\delta_f P_f + \delta_v P_v}{P_k}. \tag{4}$$

Ähnlich kann der Wert des möglichen Überlastungs-Koeffizienten zu

$$\nu = \frac{\nu_f M_f + \nu_v M_v}{M_k} \tag{5}$$

berechnet werden.

Der Ungleichförmigkeitsgrad der Zugkraft hängt von den Eigenschaften des Bodens und vom Charakter der zu verrichtenden Arbeit, so z. B. beim Pflügen von der Anzahl der Pflugkörper ab. Bei mehreren Pflugkörpern gleichen sich die bei den einzelnen Pflugkörpern mit verschiedenem Vorzeichen auftretenden Kraftänderungen besser aus, d. h. die Ungleichförmigkeit wird kleiner.

Ähnlich hängt auch der Wert des möglichen Überlastungs-Koeffizienten vom Charakter der zu verrichtenden Arbeit und von der die Arbeit verrichtenden Maschine ab.

Den Ungleichförmigkeitsgrad und die Zugkraft selbst beeinflußt wesentlich auch die Zuggeschwindigkeit. Abb. 2. zeigt den mittleren Zugkraftbedarf eines vierscharigen Pfluges sowie den Ungleichförmigkeitsgrad der Zugkraft in Abhängigkeit von der Zuggeschwindigkeit. Wie man sieht, steigt die Zugkraft sowie deren Ungleichförmigkeitsgrad mit zunehmender Geschwindigkeit.

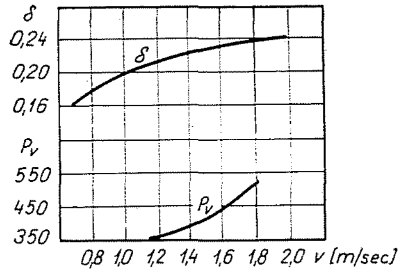

Abb. 2

Für das Pflügen berechnet sich die Zugkraft nach der Formel von Gorjatschkin zu

$$P_v = G_e f' + k_n ab + \xi abv^2,$$

worin

G_e = Gewicht des Pfluges,
a = Furchentiefe,
b = Furchenbreite,
v = Zuggeschwindigkeit,
f', k_n und ξ = Faktoren.

Nach Boltinskij [1] ist mit guter Annäherung $\xi = (0{,}1 \sim 0{,}2) k_n$ und damit

$$P_v = G_e f' + k_n ab\,[1 + (0{,}1 \sim 0{,}2)\, v^2], \tag{6}$$

was die Erhöhung der Zugkraft in Abhängigkeit der Geschwindigkeit klar erkennen läßt.

Die üblichen Werte der Kennzahlen δ, T und ν enthält die hier folgende Tabelle:

	δ	T	ν
Rollwiderstand:			
Schlepper mit Eisenrad u. Greifer	0,58–1,16	0,1 –0,3	1,33–2,00
Gummibereifter Schlepper	0,70–1,70	0,1 –0,3	
Kettenschlepper	0,80–0,15	0,1 –0,2	1,80–2,10
Zugkraft:			
Pflügen	0,15–0,40	0,2 –2,0	1,33–1,00
Eggen	0,06–0,20	0,1 –0,8	1,00–1,10
Säen	0,12–0,25	0,15–0,40	1,00–1,10
Drusch	0,08–0,22	0,08–0,50	1,35–1,40
Mähdrescher-Zug	0,15–0,50	0,20–1,50	1,33–1,41

2. Dynamische Kennwerte des Schleppermotors

Vom dynamischen Gesichtspunkt aus [1, 2] kennzeichnen den Schleppermotor folgende Parameter:

α) Faktor der Überlastungsfähigkeit (k),
β) das Verhältnis der dem maximalen Moment zugehörigen Drehzahl zur Nenndrehzahl (a_1),
γ) die Nenndrehzahl (n_e),
δ) Gesamtträgheitsmoment, auf die Kurbelwelle reduziert (Θ_Σ),
ε) Unempfindlichkeitsgrad des Reglers (ε_r).

Bei Dieselmotoren liegt der Wert der Überlastungsfähigkeit ohne Korrektor zwischen 1,0—1,08, bei Motoren mit Korrektor hingegen zwischen 1,1—1,22. Wie im weiteren noch gezeigt werden wird, hängt der Belastungsfaktor weitgehend von der Überlastungsfähigkeit ab, weshalb man bestrebt sein muß, für k Werte von 1,15—1,20 zu erzielen.

Auch das Verhältnis der dem maximalen Moment zugehörigen Drehzahl zur Nenndrehzahl (a_1) beeinflußt die Betriebsverhältnisse wesentlich. Die Bewältigung vorübergehender Überlastung ist dadurch möglich, daß der Motor seine Geschwindigkeit — beim Übergang auf den nicht geregelten Teil der Kennlinie — verringert, wobei das Drehmoment wächst, das Belastungsmoment hingegen kleiner wird. Der relative Wert der durchführbaren Geschwindigkeitsverringerung, der noch nicht zum Stocken des Motors führt, hängt von der oben angeführten Verhältniszahl a_1 ab. Je kleiner der Wert a_1 ist, desto größer die vorübergehende Überlastung, die der Motor zu bewältigen vermag.

Durch Erhöhung der Drehzahl läßt sich der relative Wert der durch Belastungsschwankungen verursachten Drehzahlschwankungen verringern und zugleich ein Verbleiben der Drehzahlschwankungen innerhalb des Unempfindlichkeitsbereiches des Reglers sichern.

Das auf die Kurbelwelle reduzierte Gesamtträgheitsmoment ist ein wichtiger Faktor des wirtschaftlichen Motorbetriebes. Wenn das Trägheitsmoment klein ist und dem Charakter der zu verrichtenden landwirtschaftlichen Arbeit nicht entspricht, dann tritt die Drehzahlschwankung aus dem Bereich der Unempfindlichkeit des Reglers, der in diesem Falle ständig regeln wird. *Labor- und Feldversuche zeigen* [3, 4, 5], *daß in einem solchen Fall die Leistung des Motors sinkt und der Kraftstoffverbrauch steigt (15—25%).*

Das Gesamtträgheitsmoment, welches benötigt wird, um die Drehzahlschwankung noch nicht aus dem Unempfindlichkeitsbereich des Reglers heraustreten zu lassen, schreibt sich zu

$$\Theta_\Sigma = \frac{2 M_k \delta_k}{\varepsilon_r \omega_k m}, \tag{7}$$

worin

$$m = \frac{2\pi}{T}.$$

Bei ausgeführten Typen schwankt der Unempfindlichkeitsgrad des Reglers zwischen 0,01—0,04. Es ist nicht ratsam, einen höheren Unempfindlichkeitsgrad anzuwenden, weil der Regler bei Erhöhung des Mittelwertes des Belastungsmoments auf die Änderung verspätet reagiert und die Gefahr einer Überregelung auftritt. Überdies beanspruchen einige landwirtschaftliche Arbeiten — wie z. B. der Drusch —, daß der Unempfindlichkeitsgrad des Reglers den Wert von 0,04 nicht überschreite. Andererseits ist auch ein zu empfinglicher Regler unzweckmäßig, da sich Drehzahlschwankungen mit einem solchen nur mit großen Schwierigkeiten innerhalb des Unempfindlichkeits-Bereiches halten ließen.

3. Die Arbeit des Motors auf dem nicht geregelten Teil der Kennlinie

a) *Charakter des Belastungsmomentes und die tatsächliche Überlastungsfähigkeit*

Einen großen Teil der landwirtschaftlichen Arbeiten kennzeichnet die Tatsache, daß der Mittelwert der Zugkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit nicht konstant ist. So wird die Zugkraft z. B. beim Pflügen mit zunehmender Geschwindigkeit fühlbar größer (Abb. 2). Gemäß BOLTINSKIJ [1] kann die Formel Gorjatschkin in der Form

$$P = G_c f' + k_n ab\,[1 + (0{,}1 \sim 0{,}2)\, v^2]$$

angewendet werden, was die Erhöhung der Zugkraft mit zunehmender Geschwindigkeit ebenfalls klar zum Ausdruck bringt.

Das mittlere Belastungsmoment pflegt man so zu wählen (Abb. 3), daß es noch auf der Regelungslinie verbleibt. Falls sich das Belastungsmoment aus irgend einem Grunde erhöht, geht der Motor auf den nicht geregelten Teil der Kennlinie über, und bei steigendem Motorenmoment und fallender Drehzahl wird auch die Überwindung des größeren Belastungsmoments möglich.

Wie aus der Abbildung ersichtlich, kann das noch überwindbare Belastungsmoment M_k' bzw. M_k'' eben zufolge der oben angeführten Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, größere Werte ausnehmen als das maximale Motorenmoment (M_M). Aus der Abbildung ist weiters ersichtlich, daß der Wert von $M_{k\,\max}$ im Verhältnis zum maximalen Motorenmoment umso höher liegen kann, je kleiner der Faktor a_1 ist, d. h. je weiter entfernt die Stelle des maximalen Momentes von der Nenndrehzahl liegt. (Änderung des Momentes gemäß

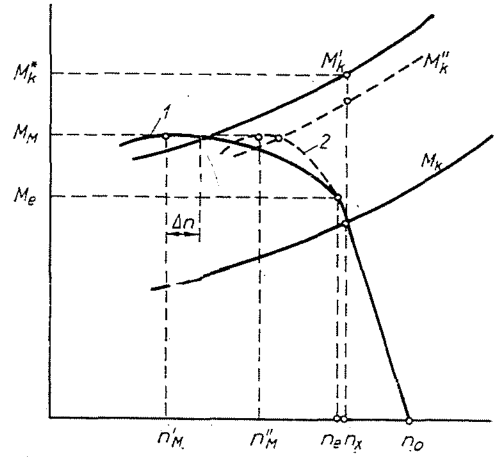

Abb. 3

Kurve 1.) Aus diesem Grunde kann eine neue reduzierte Überlastungsfähigkeit eingeführt werden, derzufolge

$$k^* = \frac{M_{k\,\max}}{M_e}. \tag{8}$$

Legt man der Berechnung das Pflügen als die schwerste landwirtschaftliche Arbeit zugrunde, dann ergibt sich für den auf die Stelle des maximalen Momentes reduzierten Wert $M_{k\,\max}$ die Beziehung

$$kM_e = \frac{[G_T f + G_e f' + k_n ab + (0{,}1 \sim 0{,}2)\, k_n ab\, v_M^2]\, D}{2\, \eta_m \cdot i_g} \tag{9}$$

bzw.

$$M_{k\,\max} = \frac{[G_T f + G_e f' + k_n ab + (0{,}1 \sim 0{,}2)\, k_n ab\, v_x^2]\, D}{2\, \eta_m \cdot i_g} \tag{10}$$

Aus (9) und (10) erhalten wir durch einfacher Umordnung

$$M_{k\,\max} = kM_e + \frac{(3 \sim 6)\, k_n abv_x^3}{\eta_m \pi \cdot n_x}\,(1 - a_1^2) \tag{11}$$

während sich die reduzierte Überlastungsfähigkeit auf Grund der Gleichung (8) zu

$$k^* = k + \frac{(3 \sim 6)\, k_n abv_x^3}{M_e \eta_m \pi n_x}\,(1 - a_1^2)$$

oder zu

$$k^* = k + \gamma\,(1 - a_1^2) \tag{12}$$

schreibt. Darin bedeuten

v_M die der Drehzahl n_M zugehörige Fahrgeschwindigkeit,
v_x die der Drehzahl n_x zugehörige Fahrgeschwindigkeit,
η_m den mechanischen Wirkungsgrad des ganzen Getriebes,
i_g das Gesamtübersetzungsverhältnis.

Die ziffernmäßige Auswertung des Faktors γ (Abb. 4) zeigt, daß sich sein Wert in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (schraffierte Fläche) je

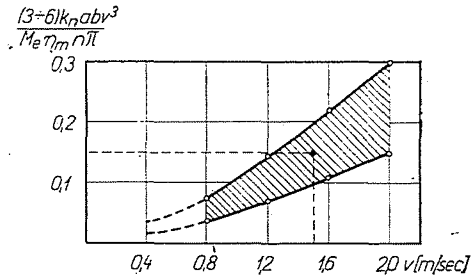

Abb. 4

nach dem Bodenwiderstand verschieden ändert. Im Mittel können wir mit einem $\gamma = 0{,}15$ rechnen, und damit ist

$$k^* = k + 0{,}15\,(1 - a_1^2). \tag{13}$$

Den Wert des zweiten Gliedes der obigen Gleichung als Funktion der Verhältniszahl a_1 zeigt die Abb. 5. Wie ersichtlich, kann der günstige Verlauf der Drehmomentenlinie die Überlastungsfähigkeit bedeutend heben.

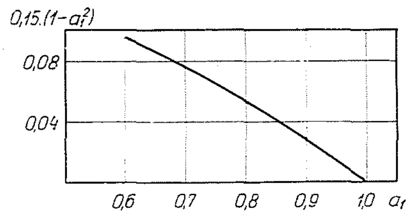

Abb. 5

Der Wert des Faktors γ hängt sehr wesentlich von der Fahrgeschwindigkeit ab (Abb. 4). Bei Geschwindigkeiten von weniger als 1 m/sec (3,6 km/St) ist der Mittelwert von γ kleiner als 0,08, die Stelle des maximales Momentes läßt mithin die Arbeit des Motors im wesentlichen unbeeinflußt. In Richtung der größeren Geschwindigkeiten wächst der Wert γ schnell an, und sein Einfluß kann vom Gesichtspunkt der Belastungsmöglichkeit aus keinesfalls vernachlässigt werden.

Heutzutage trachtet man bei einem großen Teil der landwirtschaftlichen Arbeiten die Geschwindigkeiten zu erhöhen, eine Tendenz, die dem entsprechenden Verlauf der Drehmomentenlinie eine erstklassige Bedeutung verleiht.

Die hier folgende Tabelle zeigt die Faktoren k, k^* und a_1 einiger europäischen Schlepper.

Fabrikat	k	a_1	k*
Hanomag R 27.........	1,025	0,684	1,105
Hanomag R 35.........	1,051	0,90	1,080
Fahr D 60 L	1,069	0,79	1,125
Fahr D 45 L	1,081	0,69	1,160
Deutz F 1 L 514/51	1,115	0,69	1,193
Güldner ADN 7	1,010	0,94	1,028
Fahr D 160 H	1,023	0,78	1,081
Allgaier A 122	1,137	0,65	1,223
Hanomag R 35/45	1,100	0,82	1,150
Farmall D 217	1,047	0,66	1,132
Farmall D 324	1,113	0,66	1,198
Deutz F 21 612/5	1,084	0,86	1,123
Fendt F 17/L	1,110	0,74	1,177
Ferguson FE 35	1,022	0,90	1,050
KD—35	1,220	0,715	1,294
D—54 M	1,190	0,67	1,272
U—28	1,080	0,85	1,122
DT—413	1,100	0,85	1,142

b) *Drehzahlschwankung und Leistungsverlauf bei wechselnder Belastung*

Die beständige Schwankung des Belastungsmomentes zieht die Änderung der Drehzahl des Motors nach sich. Der Wert der momentanen Winkelgeschwindigkeit kann aus folgender Gleichung berechnet werden [2]:

$$\omega = \omega_k + \left(\frac{1}{e^{Bt}} - 1\right) - \frac{M_k \delta_k}{2\,\Theta_\Sigma \sqrt{B^2 + m^2}} \left[\sin(mt - \varphi) + \frac{m}{\sqrt{B^2 + m^2}}\right] \qquad (14)$$

in der

$$B = \frac{M_e}{\Theta_\Sigma} \cdot \frac{k-1}{\omega_e (1 - a_1)}\,; \qquad \varphi = \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{m}{B}\right).$$

Aus (14) errechnet sich die Amplitude der Drehzahlschwankung zu

$$\Delta n = \frac{M_k \delta_k 9{,}55}{2\Theta_\Sigma \sqrt{B^2 + m^2}} \qquad (15)$$

Sowohl Labor- als auch Feldversuche haben bewiesen, daß bei wechselnder Belastung die Leistung des Motors sinkt und der spezifische Kraftstoffverbrauch steigt.

Bei ständiger Belastung gilt für die Motorleistung

$$N_e = \frac{a \cdot \eta_v \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot n}{\alpha},$$

wenn

η_v = der volumetrische Wirkungsgrad,
η_i = der indizierte Wirkungsgrad,
η_m = der mechanische Wirkungsgrad,
α = die Luftüberschußzahl,

während bei wechselnder Belastung

$$N_{ev} = \frac{A \cdot \eta_v' \cdot \eta_i' \cdot \eta_m' \cdot n}{\alpha'}$$

worin A eine von den Dimensionen des Motors abhängige Konstante bedeutet, d. h. der Grund des Leistungsrückganges ist in der Änderung der Faktoren η_v, η_i, η_m und α zu suchen.

Wie sich die obigen Faktoren in Abhängigkeit von den Drehzahlschwankungen ändern, ist heute noch nicht bekannt.* Die bisherigen Versuchsergebnisse bieten aber die Möglichkeit, auf empirischem Wege den Leistungsabfall als Funktion von Δn zu ermitteln.

Im allgemeinen Fall kann für die Leistung bei wechselnder Belastung

$$N_{ev} = N_e - \Delta N_{ev} \tag{16}$$

geschrieben werden, worin ΔN_{ev} die Funktion der Drehzahlschwankung Δn ist.

Die Auswertung von Versuchsdaten [6] zeigt, daß die Funktion $\frac{N_{ev}}{N_e} = f(\Delta n)$ von der Belastung unabhängig ist.

Das bedeutet, daß eine gegebene Drehzahlschwankung Δn die Leistung unabhängig von der Belastung um den gleichen Prozentsatz herabsetzt.

Den relativen Leistungsrückgang in Abhängigkeit von der Drehzahlschwankung Δn beim Motor KD-35 zeigt die Abb. 6. Die Kurve *a* bezieht sich auf den Fall, daß der Motor auf dem nicht geregelten Teil arbeitet, bzw. die

* Versuche zur Klärung dieser Frage sind derzeit auf der MIMESzh (Moskau) unter Leitung des Akademikers Boltinskij im Gange.

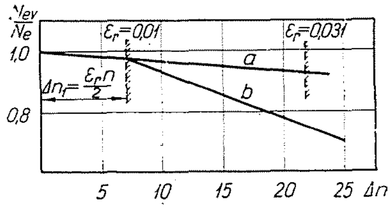

Abb. 6

Drehzahlschwankung nicht aus dem Unempfindlichkeitsbereich des Reglers heraustritt. Die Kurve b hingegen gilt für den Fall, daß die Drehzahlschwankung aus dem Unempfindlichkeitsbereich des Reglers hinaustritt.

Auf Grund der Vorhergesagten kann die Gleichung (16) in der Form

$$N_{ev} = N_e - a' N_e \Delta n = N_e (1 - a' \Delta n) \tag{17}$$

geschrieben werden, wobei a' den Tangens des Steigungswinkels der Kurve a bedeutet.

In Abb. 6 ist $a' = 0{,}0033$ und somit

$$N_{ev} = Ne (1 - 0{,}0033 \Delta n). \tag{18}$$

Die Gleichung (18) hat Gültigkeit, wenn

$$\Delta n \leqq \Delta n_1 = \frac{\varepsilon_r \cdot n}{2},$$

d. h. wenn die Drehzahlschwankung nicht aus der Unempfindlichkeitsbereich des Reglers tritt; ebenso ist sie auf dem nicht geregelten Teil der Kennlinie gültig.

Wenn

$$\Delta n > \Delta n_1 = \frac{\varepsilon_r n}{2},$$

so ist

$$N_{ev} = N_e - [N_e a' \Delta n + N_e b' (\Delta n - \Delta n'); \tag{19}$$

wo b' der Tangens des Steigungswinkels der Kurve b ist.

Aus der Gleichung (19) erhalten wir mit dem Wert $b' = 0{,}015$

$$N_{ev} = N_e (1 + 0{,}00584 \varepsilon_r n - 0{,}015 \Delta n). \tag{20}$$

Auf dem regulierten Teil kann die Amplitude der Drehzahlschwankung aus der Gleichung

$$\Delta n = \frac{M_k \delta_k \cdot 9{,}55}{2\sqrt{\Theta_\Sigma^2 m^2 + \mathrm{tg}^2\, \alpha}} \tag{21}$$

berechnet werden [2].

Wie aus Abb. 6 ersichtlich, vermag der Leistungsrückgang, wenn die Drehzahlschwankung aus dem Unempfindlichkeitsbereich des Reglers tritt, sehr bedeutend zu sein. Deshalb muß man bei gegebenen Kennwerten für das Belastungsmoment die dynamischen Kennwerte des Motors so wählen, daß sie nach Möglichkeit die Bedingung $\Delta n \leq \Delta n_1$ erfüllen.

Die oben abgeleiteten Gleichungen (18) und (20) sind streng genommen nur für den Schlepper KD-35 gültig, können aber für annähernde Berechnungen auch in anderen Fällen angewendet werden.

c) *Belastungsfaktor des Schleppers*

Unter Belastungsfaktor des Schleppers verstehen wir das Verhältnis zwischen dem mittleren Belastungsmoment und dem Nennmoment des Schleppers

$$K_t = \frac{M_k}{M_e}. \tag{22}$$

Die zeitweilige Erhöhung des Belastungsmomentes in Betracht gezogen, der Wert M_k kann nicht größer sein als

$$M_k = \frac{1}{\nu_k} M_{k\,\max}.$$

Mit diesem Wert schreibt sich die Gleichung (22) zu

$$K_t = \frac{1}{\nu_k} \cdot \frac{M_{k\,\max}}{M_e} = \frac{k^*}{\nu_k}. \tag{23}$$

Da unter M_e das unter stationären Verhältnissen gemessene Nennmoment zu verstehen ist, muß an der Gleichung (23), wegen des durch die wechselnde Belastung verursachten Leistungsrückganges, eine Korrektion vorgenommen werden, womit man für den Belastungsfaktor des Motors die endgültige Form

$$K_t = \frac{N_{ev}}{N_e} \cdot \frac{k^*}{\nu_k} \tag{24}$$

erhält.

Obzwar der Belastungsfaktor sehr einfach ausgedrückt erscheint, ist er von sehr vielen Faktoren abhängig, da doch $\frac{N_{ev}}{N_e}$ und k^* ebenfalls Funktionen einer ganzen Reihe von Faktoren bilden:

$$\frac{N_{ev}}{N_e} = f(\delta_k, T, M_k, \Theta_\Sigma),$$

$$k^* = f(k, a_1, v).$$

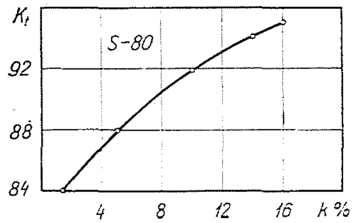

Abb. 7

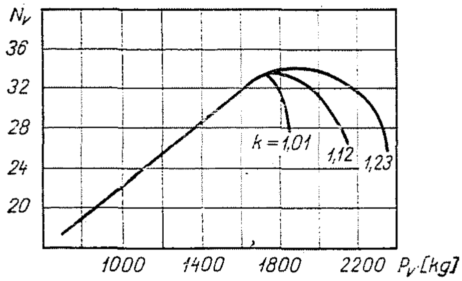

Abb. 8

Ausschlaggebend beeinflußt den Wert des Belastungsfaktors die Überlastungsfähigkeit k. In Abb. 7 sehen wir die Kurve des experimentell ermittelten Belastungsfaktors beim Schlepper S-80 in Abhängigkeit von der Überlastungsfähigkeit. Wie ersichtlich, steigt der Belastungsfaktor mit zunehmender Überlastungsfähigkeit von 84% auf 95%.

Beträchtliche Abweichungen in Abhängigkeit von der Zugkraft zeigt bei verschiedener Überlastungsfähigkeit auch die Kurve der Zughakenleistung (Abb. 8). Mit erhöhter Überlastungsfähigkeit steigt auch die Zugkraft erheblich. Da die Geschwindigkeit auf dem nicht geregelten Teil der Kennlinie sinkt, zeigt die Zughakenleistung in jedem Falle eine sinkende Tendenz, weshalb es unzweckmäßig ist, dauernd auf dem nicht geregelten Teil zu arbeiten.

d) *Der optimale Belastungsfaktor bei wechselnder Belastung*

Es ist bekannt, daß die Flächenleistung eines Schlepperaggregates in geradem Verhältnis zur Zughakenleistung steht. So beträgt z. B. die Arbeitsleistung beim Pflügen, ausgedrückt durch das Volumen des stündlich gepflügten Bodens,

$$V = \frac{27 \cdot 10^4}{k_0} \cdot N_{v\,\max} \cdot \eta \cdot \tau \ [\mathrm{m^3/St}],$$

worin

k_0 den spezifischen Widerstand des Pfluges [kg/cm²],
$N_{v\,\max}$ die maximale Zughakenleistung,
η den Grad der Ausnützung der Zughakenleistung,
τ den Zeitdauerausnützungsfaktor bedeutet.

Aus der Gleichung geht hervor, daß die maximale Leistung im Falle $\eta = 1$, also bei Vollast erreicht wird. Dieser Fall kann aber bloß unter stationären Belastungsverhältnissen verwirklicht werden, die unter Feldverhältnissen niemals vorkommen.

Bei wechselnder Belastung kann man mit einer mittleren Zughakenleistung rechnen, die sich in dem einem Widerstand von $R_{\min} - R_{\max}$ entsprechenden Leistungsintervall zu

$$N_{v\,\mathrm{mittl}} = \frac{\Sigma N_v^i n_i}{n_i}$$

errechnet, wobei

n_i die Häufigkeitszahl der einzelnen Werte der Zughakenleistung bedeutet.

Die maximale Arbeitsleistung erhält man beim möglichsten Höchswert für $N_{v\,\mathrm{mittl}}$.

Liegt die mittlere Belastung nahe bei 100%, dann wird der Motor wegen des wechselnden Charakters des Belastungsmoments häufig auf dem nicht geregelten Teil der Kennlinie arbeiten, was nicht nur wegen der Überlastung ungünstig ist, denn auf dem nicht geregelten Teil der Kennlinie sinkt die Fahrgeschwindigkeit und damit auch die Zughakenleistung, was den Wert von $N_{v\,\mathrm{mittl}}$ herabsetzt.

Das Diagramm in Abb. 9 veranschaulicht die Belastungsverhältnisse des Schleppermotors. Die Belastung ist bei gegebener Übersetzung durch die Abschnitte $\widehat{AB}$ bzw. $\widehat{A'B}$ gegeben, die der Schwankung des Belastungsmomentes entsprechen, die den Versuchsdaten gemäß eine Normalverteilung (Kurven c bzw. c') zeigen. Je kleiner der Wert $\delta_{\max}$ ist, desto größer kann die mittlere Belastung und damit die verrichtete Arbeitsleistung sein.

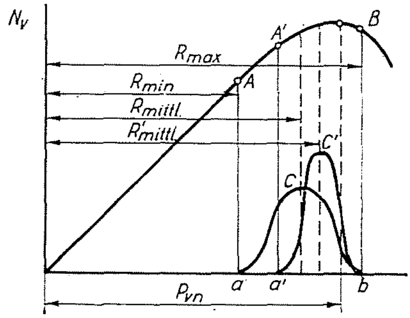

Abb. 9

In den bisherigen Untersuchungen war vorausgesetzt, daß beim Schlepper aus Adhäsionsgründe wesentliche Schlupfverluste nicht auftreten. Diese Voraussetzung wird bei Kettenschleppern in den meisten Fällen erfüllt. Bei gummibereiften Schleppern, besonders bei geringeren Geschwindigkeiten wächst der Schlupf mit zunehmender Zugkraft wesentlich an. In Abb. 10 ist, gleiche Motornennleistung vorausgesetzt, die Zugleistung für ein Kettenlaufwerk (Kurve 1) bzw. für ein gummibereiftes Laufwerk (Kurve 2) aufgetragen. Wie aus diesen Kurven hervorgeht, ist die optimale mittlere Belastung (R'_{mittl})

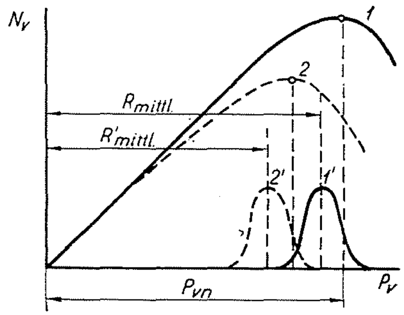

Abb. 10

beim letzteren wesentlich kleiner als bei einem Kettenlaufwerk. Aus diesem Grunde wird man für die Entfaltung von großen Zugkräften zweckmäßig keinen gummibereiften Schlepper einsetzen.

4. Frage des Schnellpflügens vom Gesichtspunkte der Betriebsverhältnisse des Schleppermotors

Wie aus den bisherigen Ausführungen ersichtlich, verschlimmert sich der Belastungsfaktor bei gummibereiften Schleppern wegen des bei großen Zugkräften auftretenden großen Schlupfes sehr stark. Aus diesem Grunde strebt man in aller Welt danach, die verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten mit größtmöglicher Fahrgeschwindigkeit zu verrichten. Die höhere Geschwindigkeitsstufe bedeutet eine geringere Zugkraft und damit auch einen geringeren Schlupf. Damit nähert sich die Kurve der Zughakenleistung immer mehr jener Kennlinie, die mit einem Kettentriebwerk erreicht werden kann.

Von diesem Gesichtspunkt aus muß das erwähnte Streben als unbedingt richtig angesehen werden, doch hat die Frage auch eine Kehrseite, der man leider nicht immer die gebührende Aufmerksamkeit widmet.

Wir haben weiter oben gesehen, daß der Belastungsfaktor des Schleppers und damit dessen Leistung und Wirtschaftlichkeit von einer Reihe von Faktoren abhängt, es muß also untersucht werden, wie sich diese Faktoren in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit gestalten.

Bei der derzeitigen Form der Streichbretter steigt der Zugkraftbedarf mit zunehmender Geschwindigkeit, so gesehen ist demnach das Schnellpflügen ungünstig. Es ist deshalb nötig, sich um Ausbildung eines Streichbrettes zu bemühen, das auch bei einer größeren Geschwindigkeit keine wesentlich größere Zugkraft beansprucht. Diese Frage scheint gelöst werden zu können.

Der Ungleichförmigkeitsgrad δ wächst sowohl mit Verringerung der Pflugkörperzahl als auch mit der Erhöhung der Zuggeschwindigkeit. Es bildet eine offene Frage, ob der Schnellpflug der Zukunft geeignet sein wird, die Gestaltung des Ungleichförmigkeitsgrades günstig zu beeinflussen.

Der mögliche Wert des Faktors ν der Überlastungsmöglichkeit erhöht sicht mit der Verringerung der Pflugkörperzahl ebenfalls. Nach BOLTINSKIJ [1] ist

$$
\begin{aligned}
&\text{bei 3 Pflugkörpern } \nu = 1{,}30-1{,}33,\\
&\text{bei 4 Pflugkörpern } \nu = 1{,}25-1{,}28,\\
&\text{bei 5 Pflugkörpern } \nu = 1{,}20-1{,}24,\\
&\text{bei 8 Pflugkörpern } \nu = 1{,}12-1{,}18.
\end{aligned}
$$

Neuerliche Messungen [5] bestätigen die Richtigkeit dieser Werte.

Da man beim Schnellpflügen im allgemeinen mit 1—2 Pflugkörpern arbeitet, kann auch dieser Faktor den mittleren Wert der Belastung erheblich verringern.

Die Zeitdauer T der Periode verringert sich mit der Erhöhung der Geschwindigkeit einigermaßen, was sich für den Betrieb des Motors günstig auswirkt.

Von den dynamischen Kennwerten des Motors kommt beim Schnellpflügen der Überlastungsfähigkeit k und dem Faktor a_1 besondere Bedeutung zu. Aus Abb. 4 ist ersichtlich, daß γ mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit auch Werte von 0,2—0,25 annehmen kann, was den Wert des reduzierten Faktors der Überlastungsfähigkeit bedeutend erhöht, so daß die mittlere Belastung erhöht werden kann.

Zusammenfassung

Die Abhandlung behandelt die veränderlichen Belastungsverhältnisse der Schleppermotoren mit besonderer Berücksichtigung des nicht geregelten Teils der Kennlinie.

Verfasser gelangen zu der Feststellung, daß der Verlauf des nicht geregelten Teiles der Drehmomentenlinie vom Gesichtspunkt der Belastungsmöglichkeit von großer Bedeutung ist, u. zw. besonders bei höheren Zuggeschwindigkeiten. Zur Charakterisierung der Drehmomentenlinien führten Verfasser den Begriff des reduzierten Faktors der Überlastungfähigkeit ein, was zu deren Vergleich eine reale Grundlage bietet.

Literatur

1. Болтинский, В.: Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке. Москва, 1949.
2. Sitkei, Gy.: Járművek és mezőgazdasági gépek 4, 180 und 221 (1957)
3. Кипшакбаев, И.: Канд. диссертация. Москва, 1954.
4. Козмоденянов: Канд. диссертация. Москва, 1954.
5. Фомичев, Л.: Канд. диссертация, Москва, 1956.
6. Болтинский, В.: Мех. и эл. сельского хозяйства. 19. № 2. 1959.

I. Rázsó
G. Sitkei
Budapest XI. Bertalan Lajos u. 1—3. Ungarn.