

Mačul'skij, I.I. (Kand.d.techn.Wiss.), Kinjakin, G.G. (Ing.)  
Moskauer Institut für Eisenbahn-Ingenieure

KLASSIFIZIERUNG DER ARBEITSWEISE VON STAPLERN

Deutsche Vollübersetzung aus:

Promyšlennyj transport. Moskva, 13 (1984), Nr 3, S. 9 - 12.

Russ.: **Классификация режимов эксплуатации автопогрузчиков**  
Klassifikacija režimov ékspluatácii avtogruzčikov

Es wird eine neue Methode zur Bestimmung des Koeffizienten für die Belastungsänderungen der Fahr- und Hubantriebe und des Fahrzeugrahmens unter Betriebsbedingungen vorgestellt. Das mathematische Modell und das Blockschema für die Berechnung dieses Koeffizienten mit Hilfe der elektronischen Rechner EC-1033 und EC-1022 werden beschrieben. Die Rechenergebnisse finden in Nomogrammen Eingang, wodurch die numerischen Werte der Belastungsklassen leicht bestimmt werden können.

Nach den theoretischen und experimentellen Untersuchungen über die Belastbarkeit von Flurförderzeugen /1, 2/ empfiehlt sich eine Einteilung in 6 Arbeitsgruppen. Diese ergeben sich aus der Kombination von 4 Belastungsklassen mit 9 Nutzungsklassen (Tab. 1).

T a b e l l e 1

Klassifikation der Flurförderzeuge und ihrer Teile nach der Arbeitsweise

Belastungs- klasse (H)	Koeffizient für die Belastungsänderung	Nominalkoeff. für d. Lastverteilung	Nutzungs-k-las-s-e									Bemerkungen
			unregel- mäßige Nutzung			regel- mäß., leichte	regel- mäß., mit Pause	regel- mäß., intensive	intensive			
			für Flurförderzeuge, 1000 Zykl									
			32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
für die Bauteile, in 1000												
			0,5	1	2	4	8	16	32	63	125	
0,5 leichte	0,5	0,125	1	1	1	2	3	4	5	6	6	Regelmäßig leichte Bela- stungen, sehr selten große
0,63 mittlere	0,63	0,25	1	1	2	3	4	5	6	6	6	Regelmäßig mäßige Bela- stungen, häufig große
0,8 schwere	0,8	0,5	1	2	3	4	5	6	6	6	6	Regelmäßig große Bela- stungen, häufig sehr große
1,0 schwerste	1,0	1,0	2	3	4	5	6	6	6	6	6	Regelmäßig größte Bela- stungen

Je nach Anzahl der Zyklen und der Koeffizienten für die Belastungsänderungen  $K_p$  und der Lastverteilung  $K_H$  wurden der Antrieb oder die Konstruktion der Stapler zu der einen oder anderen Nutzungsklasse gerechnet. Diese wurden bestimmt nach den Gleichungen

$$K_p = \Sigma \left[ \frac{C_i}{C_T} \left( \frac{P_i}{P_{max}} \right)^3 \right], \quad (1)$$

$$K_H = \sqrt[3]{K_p}, \quad (2)$$

- mit  $C_i$  durchschnittliche Arbeitszyklen mit unterschiedlich schweren Lasten oder Nutzungsdauer der Antriebe bei unterschiedlichen Belastungsbedingungen;
- $C_T$  Gesamtzahl der Arbeitszyklen mit unterschiedlich schweren Lasten (Belastungen) oder Gesamtnutzungsdauer;
- $P_i$  Schwere der Einzellasten (Belastungsniveau) unter charakteristischen Arbeitsbedingungen;
- $P_{max}$  Schwere der größten Last innerhalb der Nominallast (oder maximale Belastung).

Bei ein und demselben Fahrzeug können einige Antriebe und ihre Einzelteile verschiedenartig funktionieren. Dennoch ist es zweckmäßig, sich auf einen einzigen, am stärksten belasteten Mechanismus zu beschränken (Hub-, Fahr-, antriebe oder Konstruktionsteile).

Am schwierigsten für die Nutzer ist die Bestimmung der Belastungsklassen bei unterschiedlichen Nutzungsbedingungen. Nach der Fülle der Untersuchungen über die Belastbarkeit der Stapler und ihrer Teile /1, 4/ läßt sich dieses Problem vereinfachen. Es wurden über 250 im Einsatz befindliche Fahrzeuge untersucht. Außerdem wurden an acht neuen Stapler-Testmodellen die Beanspruchungen gemessen. Im Ergebnis wurden die Wahrscheinlichkeitsdichten der Beanspruchungsverteilungen auf die wichtigsten Fahrzeugteile bestimmt. Sie dienen als Grundlage zur Konstruktion der Nomogramme zur Bestimmung der Belastungsklassen.

Ursprüngliche Informationsquelle zur Bestimmung der Koeffizienten für die Belastungsänderungen der Antriebe von Flurförderzeugen war das Belastungsspektrum, das die Graphik der Beanspruchungsänderung während eines gesamten Arbeitsganges darstellt /1/, konstruiert im Koordinatenkreuz: relative Last  $\beta_i = P_i/P_{max}$  (Ordinate), relative Zeit  $\gamma_i = C_i/C_T$  (Abszisse).

Die auf das Belastungsspektrum einwirkenden Faktoren sind zahlreich: Verladetechnologie, Reichweite (Weg) des Lasttransports, Zahl der betätigten Antriebe während eines Zyklus bei Fahrt, Fahrbahnzustand, Menge und Art der Hindernisse auf dem Transportweg, Nutzung nach der Hubkraft. Am stärksten wirken sich der Lasttransportweg  $L$ , der Fahrwiderstand  $f$  (abhängig von Zustand und Art der Fahrbahn) und die Betätigungszahl des Fahrtriebs während eines Zyklus  $n$  auf die Größe des Koeffizienten  $K_H$  aus.

Unter Berücksichtigung des Arbeitsaufwands für die Berechnung von  $K_H$  im vollen Meßbereich der Grundwerte, die für die vielfältigen Arbeitsbedingungen von Flurförderzeugen bezeichnend sind, wurden die elektronischen Rechner EC-1033 und EC-1022 benutzt. Durch ein mathematisches Rechenmodell lassen sich die Werte  $L$ ,  $f$  und  $n$  innerhalb der geforderten Grenzwerte variieren. Der Programmalgorithmus zur Berechnung von  $K_H$  ist als Blockschema in Abb. 1a) dargestellt. Die Ausgangsdaten und ihre Bezeichnungen gehen aus Tab. 2 hervor.

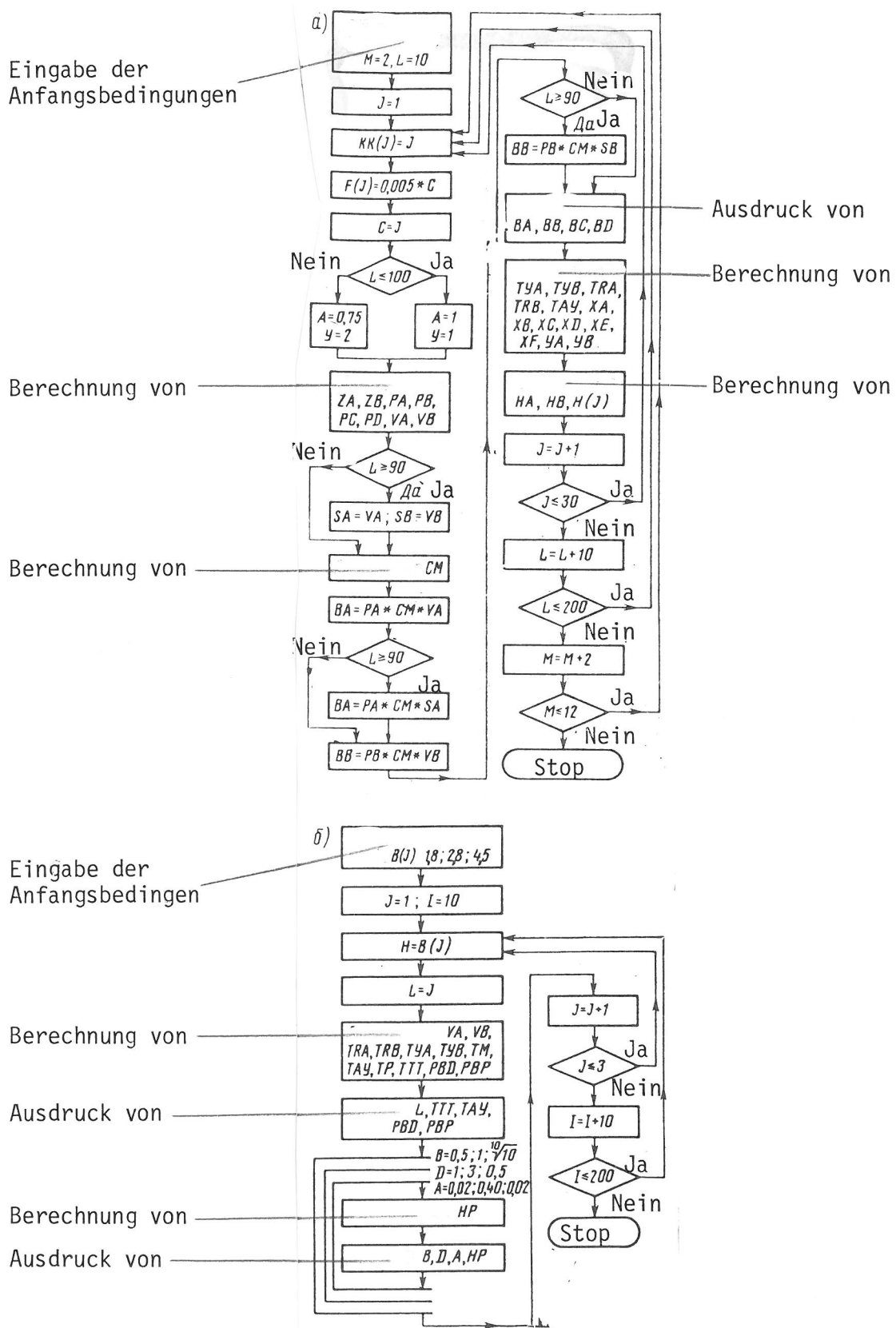


Abb. 1. Blockscheema zur Berechnung der Belastungswerte des Fahrtriebes (a) und des Hubantriebes (b)

T a b e l l e 2

Ausgangswerte zur Berechnung des Koeffizienten für die Belastungsänderungen der Staplerantriebe

Kennwert	Numerischer Wert	Bezeichnung im Programm
Hublast, kg	5.000	Q
Eigengewicht des Staplers, kg	6.300	G
Fahrtwiderstandswert	0,01 - 0,15	F(J)
Transportentfernung, m	10 - 200	L
Zahl der Betätigungen	2 - 12	M
Leistung, W	51.470	N
Raddurchmesser, m	0,31	R
Beschleunigung bei Fahrt, m/s <sup>2</sup>	0,2	W
Übersetzungen des Achsantriebs und des 1. - 4. Ganges	9,04; 6,4; 3,09; 1,69; 1,0	U; UA; UB; UC; UD
Maximales Drehmoment, N·m	210	MK
Maximale Fahrgeschwindigkeit, m/s	10	V
Fahrzeit, s		TAY
Beschleunigungsdauer, s:		
ohne Last		TRA
mit Last		TRB
Standzeit, s:		
ohne Last		TYA
mit Last		TYB
Relative Zeiten		XA; XB; XC; XD; XE; XF
Relative Lasten		BA; BB; BC; BD
Koeffizient der Belastungsänderungen des Fahrwerkes		H(J)
Hubzeit, s		TP
Zyklusdauer, s		TTT
Dauer der Betätigungen, %:		
a) des Fahrtrieb		PBD
b) des Hubantriebes		PBP
Hubgeschwindigkeit, m/s	0,267	SP
Hubhöhe, m	1,8; 2,8; 4,5	H
Geschwindigkeitsverhältnis von Lasthub und Ablassen des Staplers ( $v_0/v_{II}$ )		D
Verhältnis von Staplergewicht mit Hubeinrichtung und Hublast ( $q/Q$ )		A
Nutzungskoeffizient nach der Hublast	0,5; 0,63; 0,8; 1,0	B
Koeffizient der Belastungsänderungen des Hubantriebs		HP

Aufgrund der Berechnungen erhielten wir die Matrizen der Koeffizienten für die Belastungsänderungen des Fahrantriebes bei verschiedenartigstem Einsatz. Die Gesamtzahl der Varianten betrug ca. 3.500. Nach Auswertung der Matrizen wurde ein Nomogramm konstruiert (Abb. 2a), mit dem man bei bekannten  $L$ ,  $n$  und  $f$  den Wert von  $K_H$  bestimmen kann.

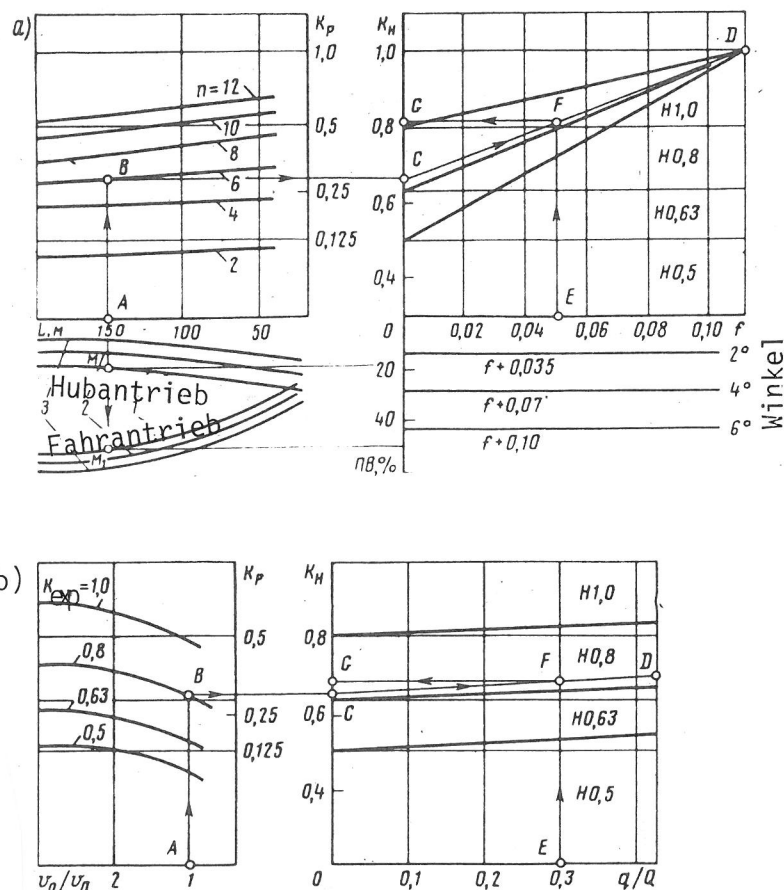


Abb. 2. Nomogramm zur Bestimmung des Belastungskoeffizienten der Fahrantriebe (a) und der Hubantriebe (b) von Staplern (1, 2, 3 Einschaltdauer der Antriebe bei Hubhöhen von 4,5; 2,8 und 1,8 m)

Das zweite Quadrat des Nomogrammes stellt die Abhängigkeit des Belastungskoeffizienten vom Transportweg unter Berücksichtigung der Anzahl der Betätigungen des Fahrantriebes während eines Zyklus dar. Wie aus Abb. 2a) hervorgeht, wird  $K_H$  mit zunehmendem Transportweg kleiner. Bei nur wenigen

Betätigungen ( $n = 2 - 4$ ) bleibt  $K_H$  praktisch konstant, auch wenn man den Transportweg innerhalb von 80 - 200 m variiert. Bei geringen Transportwegen und nur wenigen Betätigungen vergrößert sich  $K_H$  auf einen bestimmten stabilen Wert. Nimmt die Zahl der Betätigungen zu, steigt  $K_H$  konstant von 0,45 auf 0,85. Das erste Quadrat des Nomogrammes besitzt eine Korrektur zu  $K_H$ , die den Widerstandskoeffizienten berücksichtigt. Dabei steigt  $K_H$  mit zunehmendem Fahrwiderstand des Staplers geradlinig an. Das vierte Quadrat des Nomogramms enthält eine Korrektur für die Neigung. Mit dem dritten läßt sich die Einschaltdauer des Antriebes bei verschiedenen Hubhöhen bestimmen.

Zur besseren Verwendung des Nomogramms betrachten wir einen konkreten Fall. Angenommen, man sollte den  $K_H$  des Fahrtriebes eines Staplers unter folgenden Arbeitsbedingungen bestimmen: Lasttransportweg  $L = 150$  m, Zahl der Betätigungen in einem Zyklus  $n = 6$ , Fahrbahn Erdboden ( $f = 0,05$ ), eben und waagrecht. Im Nomogramm finden wir den Punkt A, der dem ursprünglichen Transportweg entspricht, errichten daraus das Lot bis zum Schnitt mit der Geraden, die der Einschaltfrequenz des Antriebs in einem Zyklus entspricht. Wir erhalten den Punkt B. In diesem Fall (und ohne Berücksichtigung des Widerstandskoeffizienten) ist  $K_H = 0,66$  (Punkt C).

Wir berücksichtigen, daß  $K_H$  vom Widerstandskoeffizienten linear abhängig ist, und ziehen somit die Gerade CD, auf der wir den Punkt F finden. Er entspricht dem angenommenen  $f$  (dem Punkt E). Auf der Skala für  $K_H$  finden wir die gesuchte Größe des Koeffizienten für die Belastungsänderung des Fahrtriebes, nämlich  $K_H = 0,82$  (Punkt G). Beim Arbeiten auf Schrägen wird dem Wert des Widerstandskoeffizienten noch der Wert des Neigungswiderstandes hinzugefügt. Die Einschaltdauer (PB) der Hub- und Fahrtriebe bei einem Transportweg von 150 m wird durch die Punkte M,  $M_1$  bestimmt. Dies entspricht  $PB = 18$  und 50 %. Die Einschaltdauer genügt zur Bestimmung der gesamten Arbeitszeit des Antriebes in Abhängigkeit von Dauer und Umfang der Arbeitszyklen bei verschiedenen Nutzungsklassen.

Analog zum Fahrtrieb des Staplers ist die Ausgangsgrundlage zur Bestimmung von  $K_H$  für den Hubantrieb ebenfalls das Belastungsspektrum. Ein Zyklus für den Hubantrieb besteht aus dem eigentlichen Heben der Last, wo die Belastung auf den Antrieb maximal ist, und dem Ablassen des Gabelträgers mit der Hub-

vorrichtung (hierbei wird die Belastung bestimmt als Last des Gabelträgers auf die Hubvorrichtung). Unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten (1) und (2) kann man  $K_H$  für den Hubantrieb nach Formel

$$K_H = \sqrt[3]{\left(\frac{K_{eff}Q + q}{Q + q}\right)^3 \frac{v_0}{v_0 + v_{II}} + \left(\frac{q}{Q + q}\right)^3 \frac{v_{II}}{v_0 + v_{II}}} \quad (3)$$

bestimmen, mit  $Q$  Last des Staplers, kg;  $q$  Masse des Gabelträgers mit den Gabeln, kg;  
 $v_{II}$  Hubgeschwindigkeit, m/s;  
 $v_0$  Senkgeschwindigkeit des Gabelträgers, m/s;  
 $K_{eff}$  Nutzungskoeffizient nach der Hublast.

Aus der Formel (3) geht hervor, daß die Größe von  $K_H$  für den Hubantrieb solche Faktoren beeinflussen wie Nutzungskoeffizient nach der Hublast  $K_{eff}$ , Geschwindigkeitsverhältnis von Lasthub und Ablassen des Gabelträgers  $v_0/v_{II}$  und Verhältnis des Gewichtes von Gabelträgern mit Gabeln und Last  $q/Q$ .

Der Programmalgorithmus zur Berechnung von  $K_H$  für den Hubantrieb ist in Abb. 1b) dargestellt. Tab. 2 enthält die Ausgangsdaten und ihre Bezeichnungen. Die Gesamtzahl der Varianten für die Konstruktion des Nomogramms (Abb. 2b) betrug 400 Werte. Im Nomogramm links ist die Abhängigkeit  $K_H$  von dem Geschwindigkeitsverhältnis  $v_0/v_{II}$  bei unterschiedlichen Nutzungskoeffizienten nach der Last angegeben. Bei zunehmendem Geschwindigkeitsverhältnis von Lasthub und Ablassen des Gabelträgers wird  $K_H$  des Hubantriebes größer. Im Nomogramm rechts ist die Abhängigkeit  $K_H$  von der Relation  $q/Q$  dargestellt. Sie zeigt, daß der Belastungskoeffizient praktisch nicht von der Größe  $q/Q$  abhängt. Als ein Beispiel zur Bestimmung von  $K_H$  nehmen wir folgende Bedingungen an:  $v_0/v_{II} = 1$ ;  $K_{eff} = 0,8$ ;  $q/Q = 0,3$ .

Die Reihenfolge der Operationen zum Auffinden von  $K_H$  für den Hubantrieb ist die gleiche wie beim Fahrtrieb: Punkte A - B - C - D - E - F - G (siehe Abb. 2b). Somit beträgt die gesuchte Größe des Belastungskoeffizienten für den Hubantrieb  $K_H = 0,68$ .

Im Unterschied zum Hub- und Fahrtrieb steht das Tragwerk während des gesamten Arbeitszyklus unter Belastung. Die Arbeitsdauer des Fahrzeugrahmens



ist bei beladenem oder unbeladenem Stapler gleich, d.h. der Zeitkoeffizient für die Arbeit ist während eines Arbeitszyklus gleichbleibend 0,5, egal ob der Stapler beladen oder unbeladen ist. Als Kriterium für die maximale Belastung des Fahrzeugrahmens von Staplern gilt das Biegemoment bei Lastbetrieb.

Zieht man diese Umstände in Betracht und berücksichtigt die Abhängigkeit (1), kann man die Gleichung zur Berechnung des Belastungskoeffizienten für den Fahrzeugrahmen folgendermaßen darstellen:

$$K_H = \sqrt[3]{\left[\left(\frac{K(1-K)GB}{Qb}\right)^3 + K_{eff}^3\right]^{0,5}}, \quad (4)$$

- mit K      Koeffizient für die Lastverteilung auf die Vorderachse des Staplers;  
G      Eigengewicht des Staplers, kg;  
Q      Hublast, kg;  
B      Achsabstand, mm;  
b      Abstand von der Vorderachse bis zum Lastschwerpunkt, mm;  
K<sub>eff</sub>      Nutzungskoeffizient nach der Hublast.

Aus der Abhängigkeit (4) geht hervor, daß alle darin enthaltenen Größen mit Ausnahme von K<sub>eff</sub> den Wert K<sub>H</sub> gleich bestimmen. Die Rechenergebnisse für den Belastungskoeffizienten des Fahrzeugrahmens von Gabelstaplern sind unten angegeben.

Mit den Nomogrammen und den Angaben aus Tab. 1 kann man die Belastungsklassen von Flurförderzeugen und ihrer Teile unter verschiedenen Arbeitsbedingungen bestimmen.

K<sub>H</sub>- Werte des Fahrzeugrahmens in Abhängigkeit vom Nutzungskoeffizienten der Stapler

K <sub>eff</sub>	K <sub>H</sub>
0,5	0,55 — 0,82
0,63	0,61 — 0,85
0,8	0,71 — 0,91
1,0	0,85 — 0,99

Die Nomogramme und die  $K_H$ -Werte ergeben die Werte der Belastungsklassen bei Arbeitszyklen mit einem einzigen Ladevorgang während der gesamten Betriebsdauer. In der Praxis kommt dies höchst selten vor, da ein Stapler während seines Betriebes verschiedenartig genutzt werden kann. In diesem Fall wird der Nominalkoeffizient der Lastverteilung nach folgender Gleichung berechnet:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^z a_i K_{pi}}{z}, \quad (5)$$

mit  $a_1$  Koeffizient zur Berücksichtigung der zeitlichen Lastverteilung während der gesamten Betriebsdauer;

$z$  Anzahl der Ladevorgänge ( $z = 4$ ).

Betrachten wir nun ein konkretes Zahlenbeispiel zur Bestimmung des Nominalkoeffizienten für die Lastverteilung während der Betriebsdauer. Wir nehmen an, der Stapler arbeite unter den in Tab. 3 genannten Lastverteilungen.

T a b e l l e 3

Histogramme für die zeitliche Verteilung der Ladevorgänge eines Staplers während der gesamten Betriebsdauer

Kennwert	H 5	H 0,63	H 0,8	H 1,0
Nominalkoeffizient für die Lastverteilung	0,125	0,25	0,5	1,0
Arbeitsdauer bei jeweiligem Betrieb, %	30	50	15	5

In diesem Fall ist der Nominalkoeffizient für die Lastverteilung folglich

$$K_p = \frac{0,30 \cdot 0,125 + 0,50 \cdot 0,25}{4} + \frac{0,15 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 1,0}{4} = 0,2875.$$

Dementsprechend kann man annehmen, daß der untersuchte Stapler nach dem Ladevorgang H 0,8 arbeitet.

### Literaturverzeichnis

Mačul'skij, I.I., Alepin, E.A.  
Mašiny napol'nogo bezrel'sovogo transporta.  
Moskva: Verlag "Mašinostroenie", 1982, 233 S.  
/Flurförderzeuge; russ./

2. Ма ч у л ь с к и й И. И. Классификация машин напольного безрельсового транспорта по режимам эксплуатации. Межвузовский сборник «Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных, строительных и путевых работ и исследование машин», вып. 598. — М.: МИИТ, 1978, с. 66—76.

Mačul'skij, I.I.: Klassifikacija mašin napol'nogo bezrel'sovogo transporta po režimam êkspluatácii.  
In: Moskovskij institut inženerov železnodorožnogo transporta. Mežvuzovskij sbornik. Moskva, 598 (1978): Kompleksnaja mehanizacija i avtomatizacija pogružočno-razgružočnych, stroitel'nych i putevych rabot i issledovanie mašin, S. 66 - 76.  
/Klassifizierung der Flurförderzeuge nach der Arbeitsweise; russ./

3. Решетов Д. Н. Детали машин. — М.: Машиностроение, 1975, 654 с.

Rešetov, D.N.  
Detali mašin.  
Moskva: Verlag "Mašinostroenie", 1975, 654 S.  
/Maschinenteile; russ./

4. Специальные сравнительные испытания автопогрузчиков 4014 на условных циклах. Тр. ГСКБ по автопогрузчикам. — Львов: 1979, 104 с.

Special'nye sravnitel'nye ispytaniya avtopogruzcikov 4014 na uslovnycykh ciklax. - Gruzinskoe special'noe konstruktorskoe bjuro. Trudy po avtopogruzcikam.  
L'vov: 1979, 104 S.  
/Spezielle Vergleichstests an den Staplern 4014 unter zyklischen Bedingungen; russ./

Stuttgart, den 22. April 1986

übersetzt von

*Ottmar Pertschi*  
(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer