

## СРАВНЯВАНЕ НА МЕТОДИКИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТА НА ДВИГАТЕЛЯ НА ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЪОРИ

**Христо Шейретов**

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, sheiretov@abv.bg

**РЕЗЮМЕ.** Целта на настоящето изследване е да се сравнят резултатите за мощността на двигателя получени при различни методики за изчисляване. Направени са изчисления на девет транспортъора при различни производителности и дължини на транспортиране.

### COMPARISON OF THE METHODOLOGIES FOR THE DETERMINATION OF BELT CONVEYORS MOTOR POWER

**Hristo Sheiretov**

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, sheiretov@abv.bg

**ABSTRACT.** Aim of the present study is to compare the calculation results for the motor power, when different methodologies are used. Calculations of nine belt conveyors with different capacities and lengths of transportation are done.

### Въведение

Методики за изчисляване на лентови транспортъори са дадени в учебниците и ръководствата разглеждащи транспортни машини с непрекъснато действие (Васильев, 1991; Дьяков, 1986), в стандартите за изчисляване (СЕМА; DIN22101), а също от някои фирми произвеждащи транспортни ленти (Dunlop; Phoenix).

Има уточнени (детайлни) методики (Васильев, 1991; Дьяков, 1986; Станев, 1975; СЕМА; DIN22101) и приближени (ориентировъчни) методики (Брах, 1957; Кузманов, 1999) за определяне на необходимата мощност на задвижване.

При някои уточнени методики (Васильев, 1991; Дьяков, 1986) се определят силите на опън във всички точки от контура на лентата. След това от силите във влизания и излизания клон се определя общото съпротивление и мощността на задвижване.

При други методики (Станев, 1975; СЕМА; DIN22101; Dunlop) общото съпротивление се определя от сумирането на съпротивленията в горния и долния клон и на допълнителните съпротивления. Съпротивленията в барабаните се отчитат чрез коефициенти, участващи във формулите за съпротивленията в двата клона.

При приближените методики (Брах, 1957; Кузманов, 1999) мощността се определя по ориентировъчни формули.

Целта на настоящето изследване е да се сравнят резултатите за необходимата мощност на двигателя получени по различните методики.

### Описание на методиките за изчисляване

Според източници (Васильев, 1991; Дьяков, 1986) (методика №1) последователността на изчисляване е следната (Фиг.1):

1) Определят се съпротивленията в товарния и празния клон на транспортъора по формулите:

$$\begin{aligned} W_{m1} &= [(q_l + q_m + q_p')w \cos \beta_1 + (q_l + q_m) \sin \beta_1] L_1, N \\ W_{m2} &= [(q_l + q_m + q_p')w \cos \beta_2 + (q_l + q_m) \sin \beta_2] L_2, N \\ W_{n1} &= [(q_l + q_p'')w \cos \beta_1 - q_l \sin \beta_1] L_1, N \\ W_{n2} &= [(q_l + q_p'')w \cos \beta_2 - q_l \sin \beta_2] L_2, N \end{aligned} \quad (1)$$

където:

$q_l$  [N/m] – линейно тегло на лентата;

$q_m$  [N/m] – линейно тегло на материала;

$q_p'$  и  $q_p''$  [N/m] – линейни тегла на въртящите се части на ролковите опори в товарния и празния клон;

$w$  – коефициент на съпротивление при движение;

$\beta_1$  и  $\beta_2$  [°] – ъгли на наклона на транспортиране на двата участъка;

$L_1$  и  $L_2$  [m] – дължини на двата участъка.

2) Определя се минималната сила на опън в лентата от условията за липса на буксуване и максимално провисване на лентата:

$$S_1 = \frac{k_T \cdot A}{e^{\mu(\alpha_1 + \alpha_2)} - k^2 \cdot k_1^2} \quad S_1 = 8 \cdot q_l \cdot J_p'', N \quad (2)$$

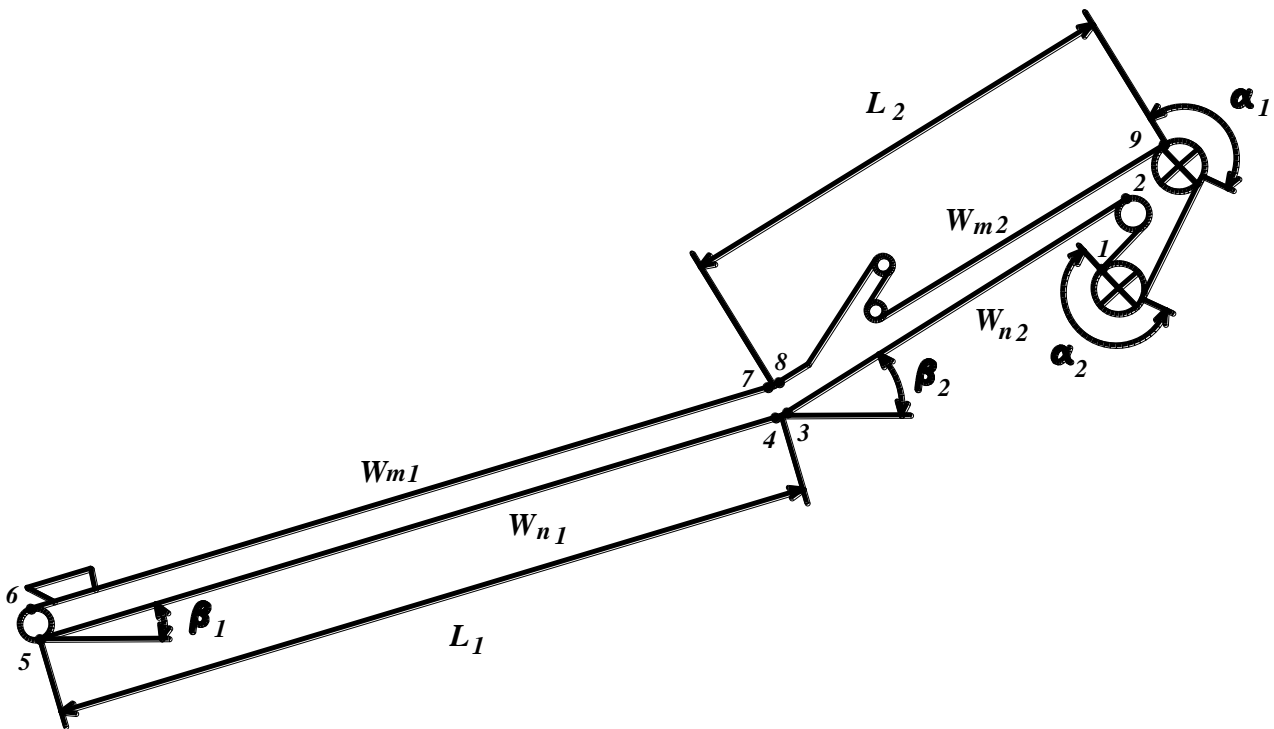
където:

$$A = k^2 \cdot k_1 \cdot W_{n2} + k \cdot k_1 \cdot W_{n1} + k_1 \cdot W_{m1} + W_{m2} + k_1 \cdot W_n + W_p$$

$k_T = 1,2$  – коефициент на резерв от триеща сила;  
 $\mu$  – коефициент на триене между лентата и барабана;  
 $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  [rad] – ъгли на обхват на задвижващите барабани;  
 $k = 1,05$  – коефициент отчитащ съпротивлението в обръщателния барабан;  
 $k_1 = 1,03$  – коефициент отчитащ съпротивлението в отклонителния барабан;  
 $l_p$  [m] – разстояние между ролковите опори в празния клон;  
 $W_n$  [N] – съпротивление от натоварване на материала;  
 $W_p$  [N] – съпротивление от разтоварване на материала.

3) Определят се останалите сили в лентата по метода на обхождане:

$$\begin{aligned} S_2 &= k \cdot S_1 & S_3 &= S_2 + W_{n2} & S_4 &= k_1 \cdot S_3 \\ S_5 &= S_4 + W_{m1} & S_6 &= k \cdot S_5 & S_7 &= S_6 + W_{m1} + W_n \\ S_8 &= k_1 \cdot S_7 & S_9 &= S_8 + W_{m2} + W_p \end{aligned} \quad (3)$$



Фиг.1 Схема на транспортъора

4) Определят се общото съпротивление и мощността на двигателя (при два задвижващи барабана общата мощност на двигателите):

$$W = S_9 - S_1 + k_3 \cdot (S_9 + S_1) \quad , \text{ N} \quad (4)$$

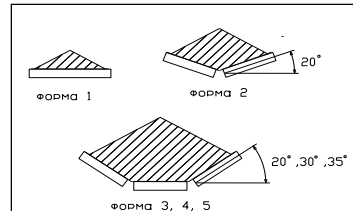
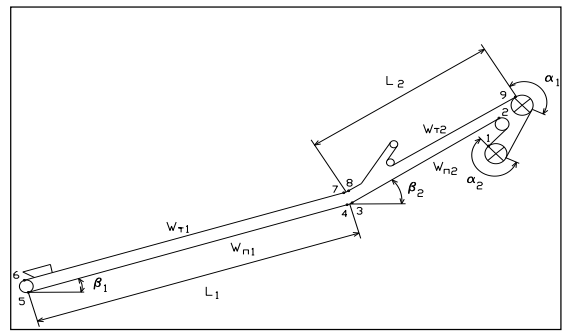
$$N_{дв} = \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad , \text{ KW} \quad (5)$$

където:

$k_3 = 0,03$  – коефициент на съпротивление в задвижващите барабани;

На базата на тази методика е разработена програма от автора в среда Excel с използване на макроси (програми на Visual Basic) за определяне на търсените величини (Фиг.2). Силите на опън в лентата се определят два пъти. При първото обхождане линейното тегло на лентата се приема ориентировъчно. След това от максималната сила се избира лента по каталог. Прави се второ обхождане за определяне на силите с теглото на избраната лента.

Qh [t/h]	5000	k	1.05	S1 [N]	77740
$\rho$ [t/m <sup>3</sup> ]	0.9	k1	1.03	S5 [N]	72040
v [m/s]	5	$\mu$	0.25	Smin [N]	72040
форма	4	$\alpha_1 + \alpha_2$ [rad]	6.45	S1 [N]	77420
$\delta$ [°]	35	Wнат [N]	3450	S2 [N]	81290
$\beta_1$ [°]	0.6	Wпаз [N]	3000	S3 [N]	64570
$\beta_2$ [°]	5	kt	1.2	S4 [N]	66500
amax [mm]	200	S1 [N]	74240	S5 [N]	72030
L1 [m]	500	S2 [N]	77950	S6 [N]	75630
L2 [m]	500	S3 [N]	68690	S7 [N]	142690
материал	3	S4 [N]	70750	S8 [N]	146970
т-тьор	1	S5 [N]	74540	S9 [N]	340070
B [m]	1.6	S6 [N]	76770		
Gp' [N]	482	S7 [N]	139580		
Gp'' [N]	382	S8 [N]	143760		
dp' [mm]	159	S9 [N]	323410		
dp'' [mm]	194				
lp' [m]	1.2	z	0	z	0
lp'' [m]	3.6	Sp [N/m.вп]	2500000	Sp [N/m.вп]	2500000
qp' [N/m]	401	ql [N/m]	580	ql [N/m]	580
qp'' [N/m]	106	Wт1 [N]	63610	W [N]	275170
qm [N/m]	2725	Wт2 [N]	190100	$\eta$	0.85
ql [N/m]	340	Wн1 [N]	5530	Ндв [KW]	1618
w	0.025	Wн2 [N]	-16720		
Wт1 [N]	59360				
Wт2 [N]	176650				
Wн1 [N]	3790				
Wн2 [N]	-9260				



материал: 1-глина, пясък, цимент, зърно 2-въглища до 150mm, руда, скала до 80mm 3-руда, скала до 500mm  
 транспортър: 1-стационарен 2-полустационарен 3-местим 4-подземен

Фиг.2 Програма на Visual Basic в среда Excel

Според немския стандарт DIN 22101 (Станев, 1975; Phoenix) (методика №2) мощността на двигателя се определя по формулите:

$$P_{Merf} = \frac{F_W \cdot v}{\eta_{ges}}, W \quad (6)$$

$$F_W = F_H + F_N + F_{St} + F_S, N \quad (7)$$

$$F_H = F_{Ho1} + F_{Ho2} + F_{Hu1} + F_{Hu2}, N \quad (8)$$

$$\begin{aligned} F_{Ho1} &= f \cdot L_1 \cdot g \cdot [m'_{Ro} + (m'_G + m'_L) \cos \delta_1] \\ F_{Ho2} &= f \cdot L_2 \cdot g \cdot [m'_{Ro} + (m'_G + m'_L) \cos \delta_2] \\ F_{Hu1} &= f \cdot L_1 \cdot g \cdot [m'_{Ru} + m'_G \cdot \cos \delta_1] \\ F_{Hu2} &= f \cdot L_2 \cdot g \cdot [m'_{Ru} + m'_G \cdot \cos \delta_2] \end{aligned}, N \quad (9)$$

$$F_N = (C-1)F_H, N \quad (10)$$

$$F_{St} = H \cdot g \cdot m'_L, N \quad (11)$$

$$H = L_1 \cdot \sin \delta_1 + L_2 \cdot \sin \delta_2, m \quad (12)$$

където:

$P_{Merf}$  (съответства на  $N_{\delta\delta}$ ) – необходима мощност на двигателя;

$\eta_{ges}$  (съответства на  $\eta$ ) – КПД на задвижването;

$F_W$  (съответства на  $W$ ) – общо съпротивление;

$F_H$  – основно съпротивление;

$F_N$  – второстепенно съпротивление;

$F_{St}$  – съпротивление от наклона;

$F_S$  – допълнително съпротивление;

$F_{Ho1}, F_{Ho2}, F_{Hu1}, F_{Hu2}$  – съпротивления в горния и долния клон за двата участъка на транспортъора;

$f$  (съответства на  $w$ ) – коефициент на съпротивление при движение;

$m'_{Ro}, m'_{Ru}$  [kg/m] – линейни маси на въртящите се части на ролковите опори в горния и долния клон;

$m'_G$  [kg/m] – линейна маса на лентата;

$m'_L$  [kg/m] – линейна маса на материала;

$\delta_1, \delta_2$  [°] (съответстват на  $\beta_1$  и  $\beta_2$ ) – ъгли на наклона на транспортиране за двата участъка;

$H$  [m] – денивелация на транспортъора.

Коефициентът  $C$  се нарича коефициент на допълнително съпротивление и отчита съпротивленията в барабаните на транспортъора. Той се увеличава при намаляване на дължината на транспортъора. При дължина  $L=1000m$  ( $L=L_1+L_2$ )  $C=1,05$ , при  $L=500m$   $C=1,2$ , а при  $L=100m$   $C=1,8$ .

Ако приведем формули (6)-(12) към означенията от методика №1 ще получим:

$$N_{\delta\delta} = \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta}, kW \quad (13)$$

$$W = F_H + F_N + F_{St} + F_S, N \quad (14)$$

$$\begin{aligned} F_{Ho1} &= w \cdot L_1 \cdot [q'_p + (q_l + q_m) \cos \beta_1] \\ F_{Ho2} &= w \cdot L_2 \cdot g \cdot [q'_p + (q_l + q_m) \cos \beta_2] \\ F_{Hu1} &= w \cdot L_1 \cdot [q''_p + q_l \cdot \cos \beta_1] \\ F_{Hu2} &= w \cdot L_2 \cdot [q''_p + q_l \cdot \cos \beta_2] \end{aligned}, N \quad (15)$$

$$F_{St} = H \cdot q_m, N \quad (16)$$

$$H = L_1 \cdot \sin \beta_1 + L_2 \cdot \sin \beta_2, m \quad (17)$$

$$F_S = W_p + W_n, N \quad (18)$$

Формули (8) и (10) не се променят.

Според американския стандарт CEMA (CEMA; Conveyor Design) (методика №3) общото (ефективно) съпротивление  $T_e$  (съответства на  $W$ ) се определя по формулата:

$$T_e = T_h + T_{lift} + T_u \quad , \text{ N} \quad (19)$$

където:

$T_h$  – съпротивление за хоризонтално преместване на лентата и материала;

$T_{lift}$  – съпротивление за издигане на материала;

$T_u$  – допълнително съпротивление.

$$T_h = L \cdot g \cdot [k_x + k_y \cdot (W_b + W_m) + 0,015 \cdot W_b] \quad , \text{ N} \quad (20)$$

$$k_x = 0,00068 \cdot (W_b + W_m) + 0,022 \cdot W_i \quad , \text{ kg/m} \quad (21)$$

$$T_{lift} = g \cdot W_m \cdot H \quad , \text{ N} \quad (22)$$

където:

$L = L_1 + L_2$  [m] – дължина на транспортъора;

$k_y$  (съответствува на  $w$ ) – коефициент на съпротивление при движение;

$W_b$  [kg/m] – линейна маса на лентата;

$W_m$  [kg/m] – линейна маса на материала;

$W_i$  [kg/m] – сума от линейните маси на въртящите се части на ролковите опори в горния и долния клон.

При привеждане на формули (19)÷(22) към означенията от методика №1 ще получим:

$$W = T_h + T_{lift} + T_u \quad , \text{ N} \quad (23)$$

$$T_h = L \cdot [k_x + w \cdot (q_l + q_m) + 0,015 \cdot q_l] \quad , \text{ N} \quad (24)$$

$$k_x = 0,00068 \cdot (q_l + q_m) + 0,022 \cdot (q_p' + q_p'') \quad , \text{ N/m} \quad (25)$$

$$T_{lift} = q_m \cdot H \quad , \text{ N} \quad (26)$$

$$T_u = W_n + W_p \quad , \text{ N} \quad (27)$$

Мощността на двигателя се определя по формула (5).

Подобна на предишната е методиката на фирма Dunlop (Dunlop Conveyor Belt) (методика №4). При нея :

$$T_e = T_x + T_y + T_z + T_u \quad , \text{ N} \quad (28)$$

където:

$T_x$  – съпротивление на празен ход;

$T_y$  – съпротивление за хоризонтално транспортиране на материала;

$T_z$  – съпротивление за издигане на материала.

$$T_x = g \cdot G \cdot f_x \cdot L_c \quad , \text{ N} \quad (29)$$

$$T_y = g \cdot Q \cdot f_x \cdot L_c \quad , \text{ N} \quad (30)$$

$$T_z = g \cdot Q \cdot H \quad , \text{ N} \quad (31)$$

където:

$G$  [kg/m] – линейна маса на движещите се части;

$f_x$  (съответства на  $w$ ) – коефициент на съпротивление при движение;

$L_c = L + 70$  [m] – коригирана дължина на транспортъора;

$Q$  [kg/m] – линейна маса на материала.

При привеждане на формули (28)÷(31) към означенията от методика №1 ще получим:

$$W = T_x + T_y + T_z + T_u \quad , \text{ N} \quad (32)$$

$$T_x = (q_p' + q_p'' + 2 \cdot q_l) \cdot w \cdot L_c \quad , \text{ N} \quad (33)$$

$$T_y = q_m \cdot w \cdot L_c \quad , \text{ N} \quad (34)$$

$$T_z = q_m \cdot H \quad , \text{ N} \quad (35)$$

В източник (Кузманов, 1999) (методика №5) е дадена ориентировъчна формула за определяне на мощността на двигателя:

$$N_{ог} = 1,1 \cdot \frac{0,000055 \cdot L \cdot q_o \cdot v + 0,00055 \cdot L \cdot Q_s + 0,01 \cdot Q_s \cdot H}{\eta} \quad , \text{ KW} \quad (36)$$

където:

$q_o = q_p' + q_p'' + 2 \cdot q_l$  , N/m – линейно тегло на движещите се части;

$Q_s = \frac{Q_h}{3,6}$  , kg/s – секундна производителност;

$Q_h$  [t/h] – часова производителност.

В източник (Брах, 1957) (методика №6) е предложена формула за определяне на мощността на двигателя:

$$N_{ог} = (3,6 \cdot w \cdot q_o \cdot L \cdot v + w \cdot Q_h \cdot L + Q_h \cdot H) \cdot \frac{k \cdot l}{370} \quad , \text{ KW} \quad (37)$$

където:

$k$  – коефициент отчитащ броя на барабаните. При два барабана  $k=1,1$ , при четири барабана –  $k=1,25$  и при шест барабана –  $k=1,35$ ;

$l$  – коефициент отчитащ дължината на транспортъора. При  $L=100\text{m}$  –  $l=1,07$ , при  $L=500\text{m}$  –  $l=1,02$  и при  $L=1000\text{m}$  –  $l=1$ .

## Резултати от изследването

Направени са изчисления на девет транспортъора, при три производителности и три дължини по схемата от Фиг.1. Приети са следните общи параметри:  $\rho=0,85\text{t/m}^3$  (плътност на транспортирания материал – за въглища),  $\gamma=30^\circ$  (ъгъл

на наклон на страничните ролки),  $\delta=35^\circ$  (ъгъл на естествения откос на материала),  $\beta_1=0,6^\circ$ ,  $\beta_2=5^\circ$ ,  $w=0,025$ ,  $\alpha_1+\alpha_2=6,45$  rad,  $\eta=0,85$ . Резултатите от изчисленията са дадени в табл.1, табл.2 и табл.3.

Таблица 1.

Резултати от изчисленията за необходимата мощност на двигателя по различните методики при  $Q_h=5000t/h$  и  $v=5m/s$

L [m]	1000	500	100
L <sub>1</sub> [m]	500	250	50
L <sub>2</sub> [m]	500	250	50
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,25$	1620	800	190
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,35$	1530	770	190
Методика №2 DIN 22101	1500	780	220
Методика №3 СЕМА	1430	710	170
Методика №4 Dunlop	1510	760	210
Методика №5 Кузманов	2230	1050	210
Методика №6 Брах	1760	850	180
H [m]	48,8	24,4	4,9
C	1,05	1,2	1,8
I	1	1,1	1,7
q <sub>л</sub> [N/m]	580	376	329

$B=1m$ ,  $q'_p=401N/m$ ,  $q''_p=106N/m$ ,  $q_m=2725N/m$   
 $W_H+W_p=6600N$

B – широчина на лентата

Таблица 2.

Резултати от изчисленията за необходимата мощност на двигателя по различните методики при  $Q_h=500t/h$  и  $v=2m/s$

L [m]	1000	500	100
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,25$	186	97	30
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,35$	179	95	30
Методика №2 DIN 22101	172	96	32
Методика №3 СЕМА	163	85	25
Методика №4 Dunlop	174	93	31
Методика №5 Кузманов	257	125	25
Методика №6 Брах	196	106	32
q <sub>л</sub> [N/m]	229	206	206

$B=1m$ ,  $q'_p=178N/m$ ,  $q''_p=44N/m$ ,  $q_m=681N/m$   
 $W_H+W_p=4500N$

Таблица 3.

Резултати от изчисленията за необходимата мощност на двигателя по различните методики при  $Q_h=100t/h$  и  $v=1m/s$

L [m]	1000	500	100
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,25$	43	23	9
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,35$	41	23	9
Методика №2 DIN 22101	40	23	9
Методика №3 СЕМА	37	20	7
Методика №4 Dunlop	40	23	9
Методика №5 Кузманов	58	28	5
Методика №6 Брах	43	23	7

$B=0,65m$ ,  $q'_p=85N/m$ ,  $q''_p=21N/m$ ,  $q_m=272N/m$   
 $W_H+W_p=3750N$

## Изводи

При малки дължини и малки производителности необходимите мощности на двигателя получени при различните методики са с близки стойности. При  $Q_h=100t/h$ ,  $L=100m$  и  $L=500m$  (табл.3) резултатите по методики I, II и IV са еднакви.

При ориентировъчните методики (№5 и №6) при малки дължини резултатите са близки до тези на уточнените. При големи дължини на транспортъора обаче, при тях се получават резултати със значително по-високи стойности.

При методика №1 се отчита коефициента на триене между лентата и барабана  $\mu$ . При малки дължини при  $\mu=0,25$  и  $\mu=0,35$  за мощността на двигателя се получават еднакви резултати, но при големи дължини разликата е значителна.

## Литература

- Брах,И. 1957. *Подемно-транспортни съоръжения - справочник*. С., Наука и изкуство, 569 с.  
Васильев, К.А. 1991. *Транспортные устройства и склады*. Москва, Недра, 238 с.  
Дьяков, В.А. 1986. *Транспортные машины и комплексы открытых разработок*. Москва, Недра, 343 с.  
Кузманов, А.И. 1999. *Руководство за упражнения по рудничен транспорт*. С., 147 с.  
Станев, П. 1975. *Транспортъори лентови – изчисляване*. ИНТРАНСМАШ, 127 с.  
СЕМА – *Belt Conveyors for Bulk Materials Conveyor Design and design standarts*. 2002.  
Conveyor Knowledge and Information Technology.  
*Dunlop Conveyor Belt Design Manual*  
*Phoenix Conveyor Belt Design Fundamentals DIN 22101*. 2004. Hamburg, 64 p.

Препоръчана за публикуване от  
Катедра "Механизация на мините", МЕМФ