

УТОЧНЯВАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НЕОБХОДИМАТА МОЩНОСТ НА ЗАДВИЖВАНЕ ПРИ ЛЕНТОВИТЕ ТРАНСПОРТЪОРИ

Христо Шейретов

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

РЕЗЮМЕ. Направени са изчисления на мощността за задвижване на лентови транспортъори по две съществуващи методики за изчисляване. Изследвано е влиянието на различни фактори върху изчислената мощност. Предложена е методика за по-точно определяне на мощността като се използват горните две.

SPECIFYING THE METHODOLOGY FOR THE CALCULATION OF THE DRIVE POWER FOR BELT CONVEYORS

Hristo Sheiretov

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

ABSTRACT. The drive power of several belt conveyors is determined according to two existing methodologies. The influence of different factors on the calculated power is studied. A methodology for more precisely determination of the power is suggested.

Увод

Съществуват два метода за определяне на общото съпротивление и мощността на двигателя при лентовите транспортъори. При първия метод (Гетопанов, 1991; Деевски, 1982; Спиваковски, 1955) се определят силите на опън в лентата по точковия метод. След това се определя общото съпротивление като разлика от влизащата и излизаща сила на задвижващия барабан плюс съпротивлението в него. При втория метод (Bahg, 1959; Станев, 1975) общото съпротивление се получава като сума от съпротивленията в товарния и празния клон. Съпротивленията в барабаните се отчитат чрез коефициента на допълнително съпротивление. Този коефициент зависи от дължината на транспортъора, като при намаляване на дължината, той се увеличава.

При решаването на конкретни задачи за транспортъори с различни дължини, наклони на транспортиране и брой на барабаните, се получават значителни разлики на изчислената мощност по двете методики. Целта на настоящето изследване е да се направят изчисления на транспортъори с известна инсталирана мощност. След това да се сравни тази мощност с изчислената по двете методики. Друга цел е да се изследва влиянието на дължината на транспортъора, наклона на транспортиране и броя на барабаните върху изчислената мощност. И накрая да се предложи методика (като се използват горните две) при която изчислената мощност да е максимално близка до инсталираната.

Изчисляване на мощността на транспортъори с известна инсталирана мощност

Пример 1. Подземен хоризонтален транспортъор (Гетопанов, 1991)(фиг.1) със следните данни: дължина $L=835\text{m}$, наклон на транспортиране $\beta=0^\circ$, производителност $Q_h=213\text{t/h}$, широчина на лентата $B=0,8\text{m}$, ъгъл на обхват на задвижващите барабани $\alpha=420^\circ$, коефициент на триене между лентата и задвижващите барабани $\mu=0,25$, тягов фактор на задвижването $e^{\mu\alpha}=6$, лентено тегло на лентата $q_n=108\text{N/m}$, линейно тегло на ролковите опори в товарния клон $q'_p=206\text{N/m}$, линейно тегло на ролковите опори в празния клон $q''_p=59\text{N/m}$, скорост на лентата $v=1,6\text{m/s}$, коефициент на съпротивление при движение $w_0=0,035$, КПД на задвижването $\eta=0,75$, коефициент на съпротивление в обръщателните барабани $k_1=1,05$, коефициент на съпротивление в задвижващите барабани $k_2=0,075$, коефициент на допълнително съпротивление $c=1,1$, инсталирана мощност на двигателите $N_{\text{дв}}=80\text{KW}(2\times 40)$.

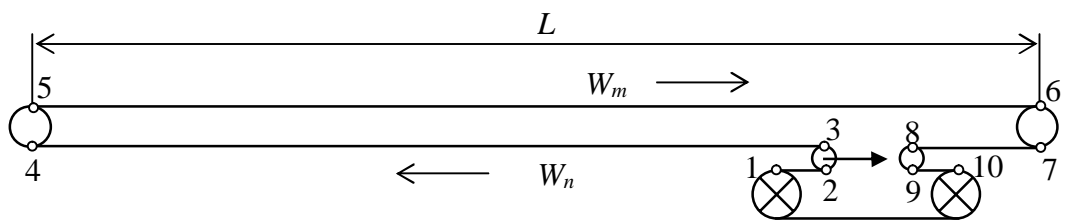
Необходимата мощност на задвижването $N_{\text{дв1}}$ (по първата методика) се определя по формулите:

$$N_{\text{дв1}} = \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta}, \text{ KW}$$

$$W = S_{10} - S_1 + (S_{10} + S_1)k_2, \text{ N}$$

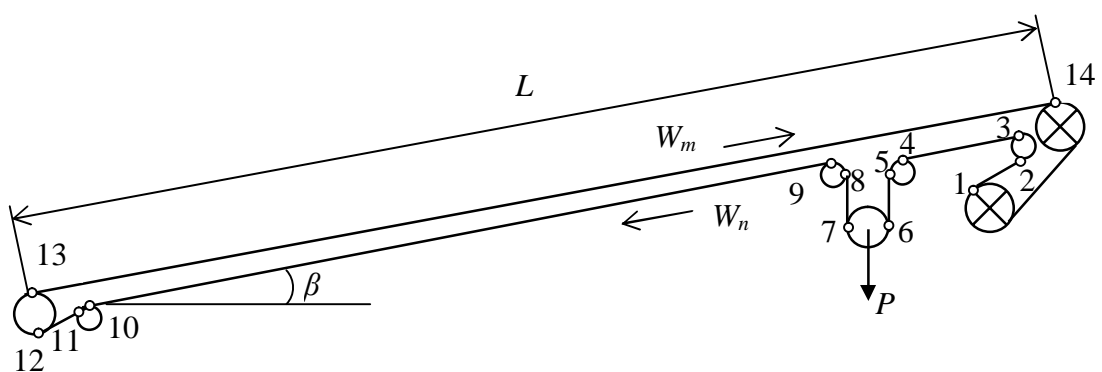
$$S_1 = \frac{k_1^3 \cdot W_n + k_1^2 \cdot W_m}{e^{\mu \cdot \alpha} - k_1^4}, \text{ N}$$

$$S_{10} = k_1^4 \cdot S_1 + k_1^3 \cdot W_n + k_1^2 \cdot W_m, \text{ N}$$



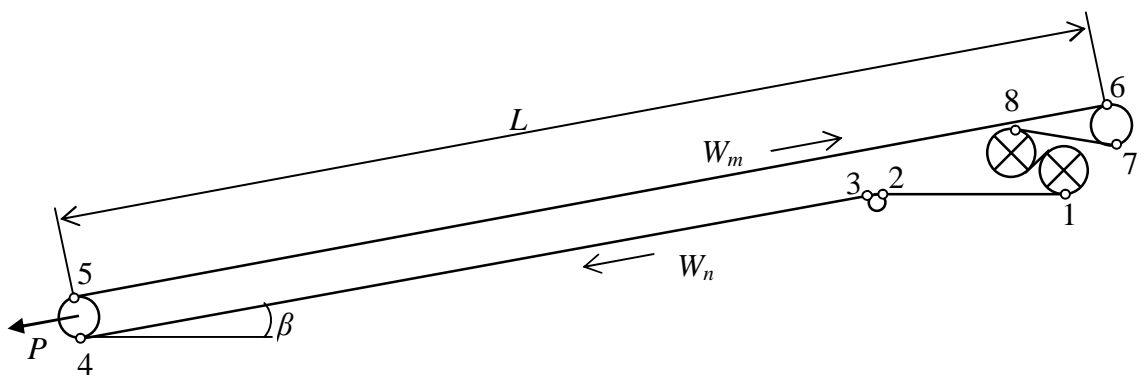
Пример 1. Подземен хоризонтален транспортър

$L=835\text{m}$



Пример 2. Лентов транспортър за транспортиране на откритка в открит рудник

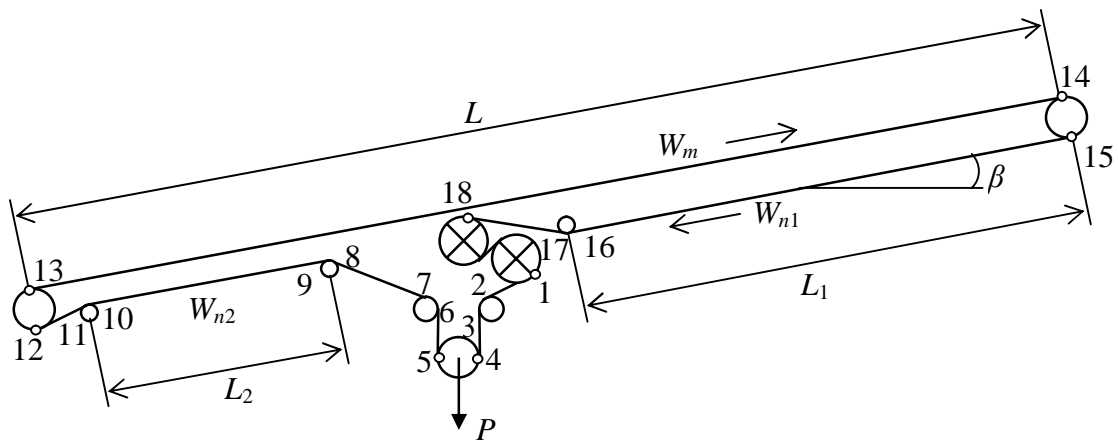
$L=800\text{ m}$ $\beta=2^\circ$



Пример 3. Подземен наклонен транспортър

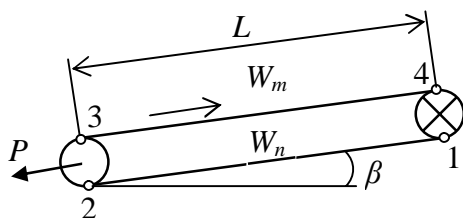
$L=230\text{ m}$ $\beta=10^\circ$

Фиг.1 Схеми на лентови транспортъри



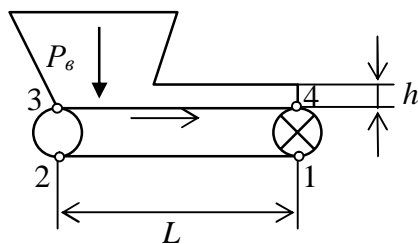
Пример 4. Лентов транспортър на насипообразувател

$L=71\text{ m}$ $L_1=48\text{ m}$ $L_2=16\text{ m}$ $\beta=18^\circ$



Пример 5. Къс лентов транспортър за транспортиране на пясък и чакъл

$L=7,5\text{ m}$ $\beta=4^\circ$



Пример 6. Лентов захранвач за разтоварване на бункери

$L=2\text{ m}$

Фиг.1 Схеми на лентови транспортъри продължение

$$W_m = L \cdot [(q_n + q_m + q_p') \cdot w_0 \cdot \cos \beta + (q_n + q_m) \cdot \sin \beta] \quad , N$$

$$W_n = L \cdot [(q_n + q_p'') \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] \quad , N$$

Необходимата мощност на задвижването $N_{\text{дв}2}$ (по втората методика) се определя по формулите:

$$N_{\text{дв}2} = \frac{W' \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad , \text{KW}$$

$$W' = W'_m + W'_n \quad , N$$

$$W'_m = L \cdot [(q_n + q_m + q_p') \cdot c \cdot w_0 \cdot \cos \beta + (q_n + q_m) \cdot \sin \beta] \quad , N$$

$$W'_n = L \cdot [(q_n + q_p'') \cdot c \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] \quad , N$$

където:

W и W' – общо съпротивление при движение при първа и втора методика

W_m и W'_m – съпротивление в товарния клон при първа и втора методика

W_n и W'_n – съпротивление в празния клон при първа и втора методика.

Пример 2. Лентов транспортър за транспортиране на откривка в открит рудник (Станев, 1975)(фиг.1) със следните данни: $L=800\text{m}$, $\beta=2^\circ$, $Q_h=4050\text{t/h}$, $B=1,4\text{m}$, $\alpha=390^\circ$, $\mu=0,30$, $e^{\mu \cdot \alpha}=7,69$, $q_n=171\text{N/m}$, $q'_p=440\text{N/m}$, $q''_p=110\text{N/m}$, $v=4\text{m/s}$, $w_0=0,02$, $\eta=0,91$, $k_1=1,05$, $k_2=0,075$, коефициент на съпротивление в отклонителните барабани $k=1,03$, $c=1,11$, $N_{\text{дв}}=750\text{KW}$ (3x250).

$$W = S_{14} - S_1 + (S_{14} + S_1) \cdot k_2 \quad , N$$

$$S_1 = \frac{k \cdot k_1 \cdot W_n + W_m}{e^{\mu \cdot \alpha} - k^3 \cdot k_1^3} \quad , N$$

$$S_{14} = k^3 \cdot k_1^3 \cdot S_1 + k \cdot k_1 \cdot W_n + W_m \quad , N$$

Пример 3. Подземен наклонен транспортър (Спиваковски, 1955)(фиг.1) със следните данни: $L=230\text{m}$, $\beta=10^\circ$, $Q_h=250\text{t/h}$, $B=1\text{m}$, $\alpha=460^\circ$, $\mu=0,20$, $e^{\mu \cdot \alpha}=4,98$, $q_n=170\text{N/m}$, $q'_p=392\text{N/m}$, $q''_p=130\text{N/m}$, $v=1,07\text{m/s}$, $w_0=0,03$, $\eta=0,8$, $k_1=1,05$, $k_2=0,075$, $k=1,03$, $c=1,42$, $N_{\text{дв}}=65\text{KW}$.

$$W = S_8 - S_1 + (S_8 + S_1) \cdot k_2 \quad , N$$

$$S_1 = \frac{k_1^2 \cdot W_n + k_1 \cdot W_m}{e^{\mu \cdot \alpha} - k \cdot k_1^2} \quad , N$$

$$S_8 = k \cdot k_1^2 \cdot S_1 + k_1^2 \cdot W_n + k_1 \cdot W_m \quad , N$$

Пример 4. Лентов транспортър от насипообразувател (Спиваковски, 1962)(фиг.1) със следните данни: $L=71\text{m}$, $L_1=48\text{m}$, $L_2=16\text{m}$, $\beta=18^\circ$, $Q_h=400\text{t/h}$, $B=1\text{m}$, $\alpha=385^\circ$, $\mu=0,20$, $e^{\mu \cdot \alpha}=3,83$, $q_n=212\text{N/m}$, $q'_p=212\text{N/m}$, $q''_p=43\text{N/m}$, $v=1,65\text{m/s}$, $w_0=0,027$, $\eta=0,81$, $k_1=1,04$, $k_2=0,075$, $k=1,03$, $c=1,95$, $N_{\text{дв}}=61\text{KW}$.

$$W = S_{18} - S_1 + (S_{18} + S_1) \cdot k_2 \quad , N$$

$$S_1 = \frac{k^2 \cdot k_1^2 \cdot W_{n2} + k \cdot k_1 \cdot W_m + k_1 \cdot W_{n1}}{e^{\mu \cdot \alpha} - k^3 \cdot k_1^5} \quad , N$$

$$S_{18} = k^3 \cdot k_1^5 \cdot S_1 + k^2 \cdot k_1^2 \cdot W_{n2} + k \cdot k_1 \cdot W_m + k_1 \cdot W_{n1} \quad , N$$

$$W_{n1} = L_1 \cdot [(q_n + q_p'') \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] \quad , N$$

$$W_{n2} = L_2 \cdot [(q_n + q_p'') \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] \quad , N$$

$$W' = W'_m + W'_{n1} + W'_{n2} \quad , N$$

$$W'_{n1} = L_1 \cdot [(q_n + q_p'') \cdot c \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] \quad , N$$

$$W'_{n2} = L_2 \cdot [(q_n + q_p'') \cdot c \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] \quad , N$$

Пример 5. Къс лентов транспортър за транспортиране на пясък и чакъл (Блок дозирования, 2008)(фиг.1) със следните данни: $L=7,5\text{m}$, $\beta=4^\circ$, $Q_h=990\text{t/h}$, $B=0,8\text{m}$, $\alpha=180^\circ$, $\mu=0,20$, $e^{\mu \cdot \alpha}=1,87$, $q_n=60\text{N/m}$, $q'_p=480\text{N/m}$, $q''_p=140\text{N/m}$, $v=2\text{m/s}$, $w_0=0,027$, $\eta=0,7$, $k_1=1,04$, $k_2=0,03$, $c=5,7$, $N_{\text{дв}}=11\text{KW}$.

$$W = S_4 - S_1 + (S_4 + S_1) \cdot k_2 \quad , N$$

$$S_1 = \frac{k_1 \cdot W_n + W_m}{e^{\mu \cdot \alpha} - k_1} \quad , N$$

$$S_4 = k_1 \cdot S_1 + k_1 \cdot W_n + W_m \quad , N$$

Пример 6. Лентов захранвач за разтоварване на бункери(Smidth, 2005)(фиг.1) със следните данни: $L=2\text{m}$, $\beta=0^\circ$, $Q_h=95\text{t/h}$, $B=1,3\text{m}$, $\alpha=180^\circ$, $\mu=0,20$, $e^{\mu \cdot \alpha}=1,87$, $q_n=280\text{N/m}$, $q'_p=1450\text{N/m}$, $q''_p=0\text{N/m}$, $v=0,33\text{m/s}$, $w_0=0,05$, $\eta=0,91$, $k_1=1,04$, $k_2=0,03$, $c=9$, $N_{\text{дв}}=1,4\text{KW}$.

$$W = S_4 - S_1 + (S_4 + S_1) \cdot k_2 \quad , N$$

$$S_1 = \frac{k_1 \cdot W_n + W_m + W_1 + W_2}{e^{\mu \cdot \alpha} - k_1} \quad , N$$

$$S_4 = k_1 \cdot S_1 + k_1 \cdot W_n + W_m + W_1 + W_2 \quad , N$$

$$W_1 = P_e \cdot \mu_o \quad , N$$

$$W_2 = 1000 \cdot k_n \cdot \rho \cdot g \cdot L \cdot f \cdot h^2 \quad , N$$

$$P_e = \frac{F_o \cdot R_x \cdot \rho \cdot g \cdot 1000}{k_n \cdot \mu_o} \quad , N$$

$$F_o = A \cdot B \cdot 10^{-6} \quad , \text{m}^2$$

$$R_x = \frac{F}{2 \cdot (A + B - 2 \cdot a_{\max})} \cdot 1000, \text{ m}$$

$$k_n = \frac{1 - \sin \varphi_o}{1 + \sin \varphi_o}$$

$$F = (A - a_{\max}) \cdot (B - a_{\max}), \text{ mm}^2$$

$$W' = W'_m + W'_n + W_1 + W_2, \text{ N}, \text{ където:}$$

W_1 – съпротивление от натиска на материала в бункера, W_2 – съпротивление от триенето на материала в страничните бортове, P_e – вертикална сила на материала, $\mu_o=0,7$ -коэффициент на вътрешно триене на материала, k_T -коэффициент на подвижност на частиците, $\rho=0,9 \text{ t/m}^3$ -плътност на материала (за въглища), $f=0,5$ -коэффициент на триене между материала и страничните бортове, $h=0,5 \text{ m}$ -височина на страничните бортове, F_o -светло сечение на бункерния отвор, $A=B=700 \text{ mm}$ -страни на бункерния отвор, R_x -хидравличен радиус на бункерния отвор, $a_{\max}=40 \text{ mm}$ -максимална едрина на късове от материала, $\varphi_o=35^\circ$ -ъгъл на вътрешно триене на материала, F -сечение на бункерния отвор.

В таблица 1 са обобщени резултатите от изчисленията за мощността на двигателя по двете методики ($N_{\text{де1}}$ и $N_{\text{де2}}$) за примерите описани по-горе. При транспортърите с дължина $L=835, 800, 230 \text{ m}$ и 71 m (примери 1,2,3 и 4) $N_{\text{де1}} > N_{\text{де2}}$, като при пример 4 разликата между двете мощности е значителна. Причина за това е големия брой барабани (2 задвижващи, 5 отклонителни и 3 обръщателни) и големия наклон на транспортиране. При транспортъра с дължина $L=7,5 \text{ m}$ (пример 5) $N_{\text{де2}} > N_{\text{де1}}$, при това разликата е значителна. При лентовия захранвач (пример 6) $N_{\text{де1}} = N_{\text{де2}}$. Причина за това е, че съпротивленията W_1 и W_2 са много по-големи от W_m и W_n (W_1 и W_2 са еднакви и за двете методики).

Таблица 1 Резултати от изчисленията на мощността

Пример	L [m]	β [°]	брой барабани	$N_{\text{де1}}$ [KW]	$N_{\text{де2}}$ [KW]
1	835	0	6	66	57
2	800	2	8	679	622
3	230	10	5	56	52
4	71	18	10	50	39
5	7,5	4	2	3	8
6	2	0	2	1,27	1,27

Влияние на дължината на транспортъра, броя на барабаните и наклона на транспортиране върху изчислената мощност

Направени са изчисления на четири транспортъра:
 1-схема от пример 5 ($\beta=0^\circ$) – виж фиг. 1
 2-схема от пример 5 ($\beta=10^\circ$)
 3-схема от пример 1 ($\beta=0^\circ$)
 4-схема от пример 1 ($\beta=10^\circ$)

За всеки транспортър мощността се определя при дължини $L=1000, 500, 100, 50, 20$ и 10 m . Приети са следните изходни параметри (и за четирите транспортъра): $Q_h=625 \text{ t/h}$, $B=0,8 \text{ m}$, $\mu=0,2$, $q_n=110 \text{ N/m}$, $q'_p=125 \text{ N/m}$, $q''_p=50 \text{ N/m}$, $v=2,5 \text{ m/s}$, $w_0=0,03$, $\eta=0,8$. Резултатите от изчисленията са дадени в таблици 2,3,4 и 5.

Таблица 2 Схема от пример 5 $\beta=0^\circ$

L [m]	1000	500	100	50	20	10
$N_{\text{де1}}$ [KW]	114	57	11	5	2	1
$N_{\text{де2}}$ [KW]	105	60	18	11	6	4
c	1,05	1,2	1,8	2,2	3,2	4,5

Таблица 3 Схема от пример 1 $\beta=0^\circ$

L [m]	1000	500	100	50	20	10
$N_{\text{де1}}$ [KW]	128	64	12	6	2	1
$N_{\text{де2}}$ [KW]	105	60	18	11	6	4
c	1,05	1,2	1,8	2,2	3,2	4,5

Таблица 4 Схема от пример 5 $\beta=10^\circ$

L [m]	1000	500	100	50	20	10
$N_{\text{де1}}$ [KW]	532	266	53	26	10	5
$N_{\text{де2}}$ [KW]	473	244	54	29	13	8
c	1,05	1,2	1,8	2,2	3,2	4,5

Таблица 5 Схема от пример 1 $\beta=10^\circ$

L [m]	1000	500	100	50	20	10
$N_{\text{де1}}$ [KW]	686	343	68	34	13	6
$N_{\text{де2}}$ [KW]	473	244	54	29	13	8
c	1,05	1,2	1,8	2,2	3,2	4,5

От решените примери се вижда, че при определена дължина на транспортъра L_p (равновесна) $N_{\text{де1}} = N_{\text{де2}}$. При $L > L_p$ $N_{\text{де1}} > N_{\text{де2}}$, а при $L < L_p$ $N_{\text{де2}} > N_{\text{де1}}$.

При увеличаване броя на барабаните L_p намалява. Това се вижда при сравняване на таблица 2 (2 барабана) ($L_p > 500 \text{ m}$) и таблица 3 (6 барабана) ($L_p < 500 \text{ m}$) и при сравняване на таблица 4 (2 барабана) ($L_p = 100 \text{ m}$) и таблица 5 (6 барабана) ($L_p = 20 \text{ m}$). Причина за това е, че при увеличаването на броя на барабаните $N_{\text{де1}}$ се увеличава, а $N_{\text{де2}}$ не се изменя.

При увеличаване ъгъла на наклона на транспортиране L_p намалява. Това се вижда при сравняване на таблица 2 ($\beta=0^\circ$) ($L_p \approx 600 \text{ m}$) и таблица 4 ($\beta=10^\circ$) ($L_p = 100 \text{ m}$) и при сравняване на таблица 3 ($\beta=0^\circ$) ($L_p \approx 400 \text{ m}$) и таблица 5 ($L_p = 20 \text{ m}$). Причина за това е, че при изчисляването на W'_m и W'_n коефициентът с влиза само в първия член на формулите (съпротивление от триене), а вторият член (съпротивление от наклона) не се променя.

Предлагана методика за изчисляване

При методика 1 не се отчита влиянието на дължината на транспортъра върху коефициента на съпротивление при движение. При методика 2 не се отчита броя на барабаните и тяговия фактор $e^{\mu \cdot \alpha}$. Затова предлагам методика, която да отчита всички изброени по-горе фактори (методика 3).

Известно е, че теглителната сила предавана от задвижващите барабани трябва да е по-голяма от общото съпротивление при движение:

$$F > W$$

Или можем да напишем $F = k_m \cdot W$, където:

k_m – коефициент на резерв от триеща сила ($k_m=1,2$)

От друга страна $F = S_{изл} \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)$. Следователно:

$$S_{изл} = \frac{k_m \cdot W}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1}$$

Методиката е следната:

1. Определят се съпротивленията в товарния и празния клон W'_m и W'_n по формулите от методика 2 (отчита се коефициента на допълнително съпротивление с)
 2. Определя се общото съпротивление при движение според методика 2
- $$W' = W'_m + W'_n$$
3. Определя се силата в лентата в точката на излизане от задвижващия барабан

$$S_{изл} = \frac{k_m \cdot W'}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1}$$

4. Определя силата в лентата в точката на влизане в задвижващия барабан $S_{вл}$ според точковия метод (при известна сила $S_{изл}$)

5. Определя се общото съпротивление според методика 1

$$W = S_{вл} - S_{изл} + k_2 \cdot (S_{вл} - S_{изл})$$

6. Определя се мощността на двигателя

$$N_{дв3} = \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$

Препоръчана за публикуване от катедра „Механизация на мините“, МЕМФ

В таблица 6 са дадени резултатите от изчисленията на мощността на двигателя за примерите разгледани по-горе по трите методики. В последната колона е дадена инсталираната мощност.

Таблица 6 Резултати от изчисленията на мощността по трите методики

Пример	$N_{дв1}$ [KW]	$N_{дв2}$ [KW]	$N_{дв3}$ [KW]	$N_{дв}$ [KW]
1	66	57	73	80
2	679	622	718	750
3	56	52	63	65
4	50	39	54	61
5	3	8	10	11
6	1,27	1,27	1,27	1,4

От таблицата се вижда, че при методика 3 се получават най-близки стойности до инсталираната мощност.

Литература

- Блок Дозирования. Техническое описание и инструкция эксплуатации. Москва, 2008
- Гетопанов, В.Н., Чугреев, Л.И.. Горные машины и комплексы. Недра, Москва, 1991
- Деевски, С.М., Кузманов, А.И.. Курсово проектиране по руднични транспортни машини. Техника, София, 1982
- Спиваковски, А.О.. Рудничен транспорт. Наука и изкуство, София, 1955
- Спиваковски, А.О.. Горные транспортные машины. Атлас конструкции, 1962
- Станев, Б.. Транспортъори лентови. Изчисляване. БУД Интрансмаш, 1975
- Bahr, J. Gurtbandforderer im Bergbau= Bergakademie Freiberg, 1959
- F.L.Smidth. Dosimat feeder. Basic data for project planning, 2005