

## МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА САМОСВАЛИ ЗА ОТКРИТИ РУДНИЦИ С ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНА ПРЕДАВКА

**Христо Шейретов**

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

**РЕЗЮМЕ.** Разработена е методика за изчисляване на руднични самосвали с електромеханична предавка. Първоначално се избира модела и товароподемността на самосвала. След това се определят диаметъра на гумите, масата на натоварения самосвал и продължителната мощност на тяговите двигатели и генератора. Избират се тягов електродвигател и тягов генератор. Определя се максималната теглителна сила на самосвала от условията за сцепление и максимален въртящ момент на тяговите електродвигатели, максималната спирачна мощност и максималната спирачна сила на самосвала. Построяват се граничните тягови и спирачни характеристики на самосвала. Определят се максималните скорости, средните скорости, необходимите теглителни и спирачни сили за всички участъци от трасето на пътя, продължителността на рейса и производителността на самосвала. Накрая се правят проверки на продължителната тангенциална мощност на дизеловия двигател (на периферията на задвижващите колела) и на тяговите електродвигатели за нагряване.

На базата на разработената методика е решен конкретен пример.

Разработената методика може да се използва както от студентите, така и от специалистите, които работят в миннодобивната и строителната промишленост.

### METHODOLOGY FOR THE CALCULATION OF MINING DUMP TRUCKS WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION

**Hristo Sheiretov**

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

**ABSTRACT.** A methodology for the calculation of mining dump trucks with electromechanical transmission is developed. At first the model and the payload of the truck are selected. After that the diameter of tires, the weight of the loaded truck and the continuous power of the traction motors and generator are determined. Traction motor and traction generator are selected. The maximum traction force is determined from the conditions of adhesion and maximum torque of the traction motors, the maximum retard power and the maximum retard force are determined. The rimpull-speed-gradeability and brake performance characteristics of the truck are drawn. The maximum speed, the average speed, the required traction and brake forces of all of sections the road, the duration of the tour and the output of the truck are determined. Finally checks are made for the tangential continuous power of the diesel engine (at the periphery of the drive wheels) and for the heating of the traction motors.

A concrete example is solved using the developed methodology.

The methodology may be useful for the students, and also for the specialists, working in the mining and in the construction industry.

## Увод

В Дьяков (1986) са дадени основите на теорията и изчисляването на автомобилния транспорт в откритите рудници. В Проектирование электропривода мотор-колеса (2011) са разгледани видовете видовете електро-механични предавки на самосвалите и проектирането им.

В Caterpillar и БелАЗ са дадени техническите параметри, тяговите и спирачните характеристики на произвежданите от фирмите руднични самосвали. В Komatsu е разгледана практическа методика за определяне на производителността на челните товарачи, багерите и самосвалите за открити рудници.

На базата на тези литературни източници и допълнителна информация от Интернет е разработена цялостна методика за изчисляване.

## Описание на методиката

### Входни данни

Самосвалите се натоварват от хидравличен багер права лопата с вместимост на кофата  $q = 20 \text{ m}^3$ ; Изкопаният материал е желязна руда с плътност в разбухнало състояние  $\rho = 2,2 \text{ t/m}^3$ ; Упростеният надлъжен профил на трасето и състоянието на пътя са дадени в табл.1:

Таблица 1

Данни за трасето на пътя

Участък	1	2	3	4	5	6
Дължина $L_i$ [m]	300	100	1000	1000	100	300
Наклон $i_i$ [%]	0	10	0	0	-10	0
$w_{oi}$ [%]	8	5	3,5	3,5	5	8

1 - движение на натоварения самосвал в рудника от багера до изходната траншея; 2 - движение на натоварения самосвал нагоре в изходната траншея; 3 - движение на натоварения самосвал на повърхността от изходната

траншея до товарния пункт; 4 - движение на празния самосвал на повърхността от товарния пункт до изходната траншея; 5 - движение на празния самосвал надолу в изходната траншея; 6 - движение на празния самосвал в рудника от изходната траншея до багера.

$w_{oi}$  - основно относително съпротивление (2-3,5 - за път в добро състояние (със здрава повърхност); 5-за път в средно стояние (повърхността се огъва под натиска на колелата); 8-10 - за път в лошо състояние (основата не е уплътнена и бързо се образуват се коловози); 15-20 - за път в много лошо състояние (кален път с мека повърхност и дълбоки бразди)).

### Избор на самосвал

Самосвалите се избират в зависимост от вместимостта на кофата на багера  $q$  според табл.2 и табл.3.

Таблица 2

Избор на максимална товароподемност на самосвала

$q$ [m <sup>3</sup> ]	10 - 15	16 - 20	21 - 34	35 - 40
$G$ [t]	130 - 136	130 - 190	160 - 292	220 - 363

$G$  - максимална товароподемност на самосвала

Таблица 3

Класификация на произвежданите модели двусни самосвали с електромеханична предавка по товароподемност (ТП)

Клас по ТП	130 - 136 t	160 - 190 t	220 - 222 t
Фирма			
Hitachi		EH3500 190 t	EH4000 222 t
Komatsu		730E 184 t	830E 222 t
Unit Rig	MT 3300 136 t	MT 3700 186 t	MT 4400 221 t
БелАЗ	75137 130 t	75170 160 t	75302 220 t
Liebherr		T252 180 t	T262 220 t

Клас по ТП	240 - 292 t	313 - 327 t	360 - 363 t
Фирма			
Caterpillar		795F AC 313 t	
Komatsu	730E 292 t	960E 327 t	
Hitachi	EH 5000 290 t		
Unit Rig		MT 5500 326 t	MT 6300 363 t
БелАЗ	75310 240 t	75600 320 t	75601 360 t
Liebherr	T272 270 t	T282 327 t	

Избирам самосвал **БелАЗ 75170** със следните параметри:

Максимална товароподемност  $G = 160$  t;

Собствена маса  $m = 134$  t;

Максимална мощност на диз. двигател  $N_{дд} = 1491$  kW;

Номинална честота на въртене на дизеловия двигател (при максимална мощност)  $n_{дд} = 1900$  min<sup>-1</sup>;

Максимална конструктивна скорост  $v_{max} = 50$  km/h;  
Гуми 36.00R51.

### Диаметър на гумите

$$D_e = (D_{дж} + 2.B_e).0,254 = (51 + 2.36).0,254 = 3,12 \text{ m}, \quad (1)$$

където:  $D_{дж}$  е диаметърът на джантата в инчове;  
 $B_e$  - ширината на гумата в инчове.

### Маса на натоварения самосвал

$$P = m + n_k \cdot q \cdot k_3 \cdot \rho = 134 + 4.20.0,9.2,2 = 292 \text{ t}, \quad (2)$$

където:  $n_k$  е броят на кофите, необходими за натоварването на самосвала;

$k_3$  - коефициентът на запълване на кофата на багера или челния товарач ( $k_3 = 0,7 - 1,1$ ).

$$n_k = \frac{G}{q \cdot k_3 \cdot \rho} = \frac{160}{20.0,9.2,2} = 4,04 \text{ Приемам } n_k = 4. \quad (3)$$

### Избор на тягов електродвигател

Тяговият електродвигател се избира според необходимата номинална продължителна мощност  $N_{н}^{\infty}$ :

$$N_{н}^{\infty} = \frac{N_m^{\infty}}{2.\eta_p} = \frac{973}{2.0,95} = 512 \text{ kW}, \quad (4)$$

където:  $N_m^{\infty}$  е продължителната тангенциална мощност на самосвала (на периферията на задвижващите колела);  
 $\eta_p$  - к.п.д. на редуктора на мотор-колелото (при двустъпален планетарен редуктор  $\eta_p = 0,95$ );

$$N_m^{\infty} = N_{дд} \cdot k_{дд} \cdot \eta_e \cdot \eta_{ен} \cdot \eta_p = 1491.0,85.0,95.0,85.0,95 = 973 \text{ kW} \quad (5)$$

$k_{дд}$  - коефициентът, отчитащ каква част от максималната мощност на дизеловия двигател се отдава на тяговия генератор ( $k_{дд} = 0,85 - 0,9$ );

$\eta_e$  - к.п.д. на тяговия генератор ( $\eta_e = 0,95$ );

$\eta_{ен}$  - к.п.д. на електрическата предавка ( $\eta_{ен} = 0,85 - 0,9$  при променливо-постояннотокова предавка).

Избирам постояннотоков тягов електродвигател **ЭК-590** със следните параметри:

номинална продължителна мощност  $N_{н}^{\infty} = 590$  kW;

номинално напрежение  $U_{н} = 830$  V;

номинална честота на въртене  $n_{н} = 950$  min<sup>-1</sup>;

максимална честота на въртене  $n_{max} = 2570$  min<sup>-1</sup>;

максимален въртящ момент  $M_{max} = 16530$  N.m;

продължителен ток  $I_a^{\infty} = 760$  A.

### Избор на тягов генератор

Тяговият генератор се избира според необходимата номинална продължителна мощност  $N_{гн}^{\infty}$ , номиналната честота на въртене на дизеловия двигател  $n_{дд}$  и номиналното напрежение на тяговия електродвигател  $U_{н}$ :

$$N_{гн}^{\infty} = N_{дд} \cdot k_{дд} = 1491.0,85 = 1267 \text{ kW} \quad (6)$$

Избирам синхронен тягов генератор **СГТ-1400** със следните параметри:

номинална продължителна мощност  $N_{2H^\infty} = 1400$  kW;  
 максимално изправено напрежение  $U_H = 910$  V;  
 номинална честота на въртене  $n_{2H} = 1900$  min<sup>-1</sup>.

**Предавателно отношение на редукторите на мотор-колелата**

$$i_p = \frac{3,6 \cdot n_{\max} \cdot D_e \cdot \pi}{60 \cdot v_{\max}} = \frac{3,6 \cdot 25703,12 \cdot 3,14}{60 \cdot 50} = 30,21 \quad (7)$$

**Максимална теглителна сила на самосвала**

От условието за сцепление между колелата и пътя (липса на буксуване):

$$F_{\max} = 1000 P_{\text{сц}} \cdot \psi_{\max} = 1000 \cdot 190 \cdot 0,5 = 95000 \text{ kg}, \quad (8)$$

където:  $P_{\text{сц}}$  е сцепната маса на самосвала (която се пада върху водещите колела);

$\psi_{\max}$  - максималният коефициент на сцепление между колелата и пътя ( $\psi_{\max} = 0,3 - 0,7$ );

$$P_{\text{сц}} = \xi \cdot P = 0,65 \cdot 292 = 190 \quad (9)$$

$\xi$  - коефициентът, който отчита каква част от масата на самосвала се пада върху водещите колела (за самосвали с колесна формула 4x2  $\xi = 0,65$ ).

От условието за максимален въртящ момент на тяговите електродвигатели:

$$F_{\max} = \frac{4 \cdot M_{\max} \cdot i_p \cdot \eta_p}{D_e \cdot g} = \frac{4 \cdot 1653030 \cdot 21,095}{3,12 \cdot 9,81} = 62000 \text{ kg} \quad (10)$$

От двете стойности приемаме по-малката, т.е.  $F_{\max} = 62000$  kg.

**Построяване на граничната тягова характеристика на самосвала**

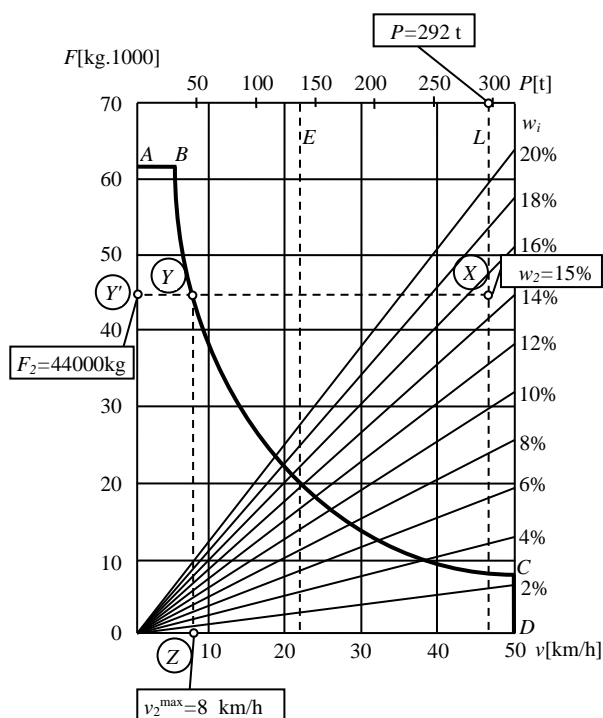
Граничната тягова характеристика (фиг.1) представлява зависимостта на теглителната сила на самосвала  $F$  [kg] от скоростта му на движение  $v$  [km/h] при гранични (максимално допустими) условия.

Участъкът  $AB$  представлява ограничението на характеристиката по максимална теглителна сила и се построява, като се прекара хоризонтална линия от точката с координати  $0, F_{\max}$ .

Участъкът  $BC$  представлява ограничението по максимална мощност и се построява като се използва зависимостта:

$$F = \frac{3600 N_m^\infty}{v} = \frac{3600 \cdot 973}{v} = \frac{3502800}{v}, \text{ kg} \quad (11)$$

Участъкът  $CD$  представлява ограничението по максимална скорост и се построява като се прекара вертикална линия от точката с координати  $v_{\max}, 0$ .



**Фиг.1. Гранична тягова характеристика на самосвал БелАЗ 75170 с електромеханична предавка и максимална товароподемност 160 t**  
 E - празен самосвал; L - натоварен самосвал;  
 v - скорост на движение на самосвала; F - теглителна сила на самосвала;  
 P - пълна маса на самосвала (собствена маса + маса на товара);  $w_i$  - общо относително съпротивление при движение

**Построяване на граничната спирачна характеристика на самосвала**

Граничната спирачна характеристика (фиг.2) представлява зависимостта на спирачната сила на самосвала  $B$  [kg] от скоростта му на движение  $v$  [km/h] в режим на електродинамично спиране при гранични (максимално допустими) условия.

Участъкът  $AB$  представлява ограничението на характеристиката по максимална спирачна сила и се построява, като се прекара хоризонтална линия от точката с координати  $0, B_{\max}$ , където:  $B_{\max}$  - максимална спирачна сила.

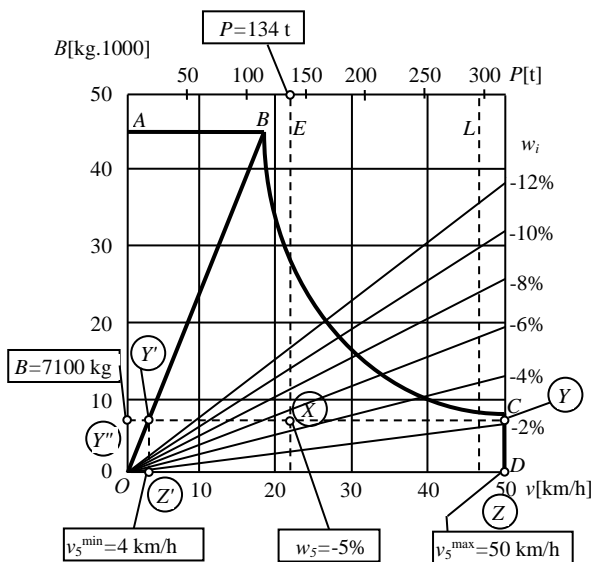
$$B_{\max} = \frac{F_{\max}}{k_{\text{сн}}} = \frac{62000}{1,38} = 44930 \text{ kg} \quad (12)$$

$k_{\text{сн}}$  - коефициент, който зависи от максимално допустимия ток на тяговите двигатели, и се приема според табл.4.

**Таблица 4**  
 Коефициенти за определяне на максималната спирачна сила и максималната спирачна мощност

G [t]	130	160	220	240	320
$k_{\text{сн}}$	1,76	1,38	1,25	1,64	1,65
$k'_{\text{сн}}$	1,87	1,95	1,8	2	2,37

Участъкът  $BC$  представлява ограничението по максимална спирачна мощност и се построява като се използва зависимостта:



Фиг.2. Гранична спирачна характеристика на самосвал БелА3 75170 с електромеханична предавка и максимална товароподемност 160t  
*E* - празен самосвал; *L* - натоварен самосвал;  
*v* - скорост на движение на самосвала; *B* - спирачна сила на самосвала; *P* - пълна маса на самосвала (собствена маса + маса на товара); *w<sub>i</sub>* - общо относително съпротивление при движение

$$B = \frac{3600N_{cn}^{max}}{v \cdot g} = \frac{3600 \cdot 1897}{v \cdot 9,81} = \frac{696000}{v}, \text{ kg} \quad (13)$$

където:  $N_{cn}^{max}$  е максималната спирачна мощност;

$$N_{cn}^{max} = k'_{cn} \cdot N_m^{\infty} = 1,95 \cdot 973 = 1897 \text{ kW} \quad (14)$$

$k_{cn}$  - коефициентът, който зависи от максимално допустимото напрежение на тяговите електродвигатели, и се приема според табл.4.

Участъкът *CD* представлява ограничението по максимална скорост и се построява като се прекара вертикална линия от точката с координати  $v_{max,0}$ .

При самосвалите с постояннокови двигатели се въвежда и четвърто ограничение - линията *OB*, която представлява спирачната характеристика на самосвала при нулево спирачно съпротивление.

**Общи относителни съпротивления, максимални скорости, средни скорости, времена за движение и необходими теглителни сили на самосвала за различните участъци от трасето**

Таблица 5

Общи относителни съпротивления  $w_i$ , максимални скорости  $v_{i}^{max}$ , средни скорости  $v_i^{cp}$ , времена за движение  $t_i$  и необходими теглителни сили  $F_i$  на самосвала за различните участъци от трасето

<i>i</i>	$L_i$ [m]	$w_{oi}$	<i>i</i>	$w_i$	$v_i^{max}$ [km/h]
1	300	8	0	8	15 (40) → 15
2	100	5	10	15	8 (20) → 8
3	1000	3,5	0	3,5	38 (60) → 38
4	1000	3,5	0	3,5	50 (65) → 50
5	100	5	-10	-5	50 (40) → 40
6	300	8	0	8	28 (65) → 28

<i>i</i>	$k_{vi}$	$v_i^{cp}$ [km/h]	$t_i$ [min]	$F_i$ [kN]
1	0,5	7,5	2,4	229
2	0,6	4,8	1,25	430
2	0,8	30,4	1,87	100
4	0,65	32,5	1,84	46
5	0,7	28	0,21	-66
6	0,7	19,6	0,91	105

$$\sum_{i=1}^6 t_i = 8,6 \text{ min}$$

За участъци 1, 2, 3, 4 и 6 максималните скорости се определят по граничната тягова характеристика, а за участък 5 - по спирачната характеристика.

В скоби са дадени максималните скорости на движение на самосвала според правилника за безопасност. От двете скорости (отчетена и препоръчвана от правилника) се приема по-малката.

$$w_i = w_{oi} \pm i_j \quad (15)$$

$$v_i^{cp} = k_v \cdot v_i^{max} \quad (16)$$

$$t_i = \frac{0,06 \cdot L_i}{v_i^{cp}} \quad (17)$$

$$F_i = \frac{1}{100} \cdot P \cdot w_i \cdot g \quad (18)$$

- за участъци 1, 2 и 3 (натоварен самосвал)

$$F_i = \frac{1}{100} \cdot m \cdot w_i \cdot g \quad (19)$$

- за участъци 4, 5 и 6 (празен самосвал),

където:  $k_v$  е коефициентът на скорост (табл.6).

Таблица 6

Коефициент за определяне на средната скорост на самосвала за различните участъци от пътя

$L_i$ [m]	при потегляне (участъци 1 и 4)	при движение без спиране ( <i>y</i> -ци 2, 3, 5 и 6)
0 - 100	0,25 - 0,50	0,50 - 0,70
100 - 250	0,35 - 0,60	0,60 - 0,75
250 - 500	0,50 - 0,65	0,70 - 0,80
500 - 750	0,60 - 0,70	0,75 - 0,85
750 - 1000	0,65 - 0,75	0,80 - 0,85
Над 1000	0,7 - 0,85	0,80 - 0,90

За участъци 1, 3, 4 и 6 (движение по хоризонтален път или път с малък наклон) се взимат най-малките стойности на  $k_v$  от диапазона. За участък 5 (движение надолу при голям наклон) се взима най-голямата стойност от диапазона. За участък 2 (движение нагоре при голям наклон) се взима средната стойност от диапазона.

Нека да определим по графиката от фиг.1 необходимата теглителна сила и максималната скорост на натоварения самосвал БелА3 75170 ( $P=292t$ ) при движение нагоре в изходната траншея на рудника (участък №2 от трасето). Наклонът на траншеята е  $i_2=10\%$ , а пътят е в средно състояние ( $w_{o2}=5\%$ ).

На една графика (фиг.1) се нанасят граничната тягова характеристика на самосвала  $F=f(v)$  и зависимостите  $F=f(P)$  при различни общи относителни съпротивления  $w_i$  [%] (2%, 4%, 8% и т.н.), където:  $F_i$  [kg] - необходими теглителни сили на самосвала за участъците с различни  $w_i$ .

Зависимостите  $F=f(P)$  представляват прави линии, започващи от точката с координати 0,0 и преминаващи през точките с координати  $P, F_i$ , където:

$$F_i = 10 \cdot w_i \cdot P, \text{ kg} \quad (20)$$

От точката, съответстваща на  $P=292t$  прекарваме вертикална линия  $L$  до пресичането на правата, съответстваща на  $w = 15\%$  ( $w_2 = w_{02} + i_2 = 5 + 10 = 15$ ). От пресечната точка  $X$  прекарваме хоризонтална линия до пресичането и с ординатната ос в т.  $Z'$  и отчитаме необходимата теглителна сила  $F_2 = 44000$  kg. От пресечната точка  $Y$  на тази линия с граничната тягова характеристика спускаме вертикална линия до пресичането и с абсцисната ос в т.  $Z$  и отчитаме максималната скорост на самосвала за този участък  $v_2^{\max} = 8$  km/h.

Нека сега да определим по графиката от фиг.2 максималната и минималната безопасна скорост на празния самосвал БелАЗ 75170 ( $P = m = 134$  t) при спускане надолу в изходната траншея на рудника (участък №5 от трасето). Наклонът на траншеята е  $i_2 = -10\%$ , а пътят е в средно състояние ( $w_{02} = 5\%$ ).

На една графика (фиг.16) се нанасят граничната спирачна характеристика на самосвала  $B = f(v)$  и зависимостите  $B_i = f(P)$  при различни общи относителни съпротивления  $w_i$  [%] (-4%, -6%, -8% и т.н.), където:  $B_i$  [kg] - необходими спирачни сили на самосвала за участъците с различни  $w_i$ .

Зависимостите  $B_i = f(P)$  представляват прави линии, започващи от точката с координати 0,0 и преминаващи през точките с координати  $P, B_i$ , където:

$$B_i = 10 \cdot w_i \cdot P, \text{ kg} \quad (21)$$

От точката, съответстваща на  $P = 134$  t прекарваме вертикална линия  $L$  до пресичането на правата, съответстваща на  $w = -5\%$  ( $w_5 = w_{05} + i_5 = 5 - 10 = -5$ ). От пресечната точка  $X$  прекарваме хоризонтална линия до пресичането и с граничната тягова характеристика. От пресечните точки  $Y$  и  $Y'$  спускаме вертикални линии до пресичането им с абсцисната ос в т.  $Z$  и т.  $Z'$  и отчитаме максималната безопасна скорост на самосвала за този участък  $v_5^{\max} = 50$  km/h и минималната безопасна скорост на самосвала за този участък  $v_5^{\min} = 4$  km/h.

Според правилника за безопасност, обаче, скоростта на самосвала при спускане не може да бъде по-голяма от 40 km/h. За да поддържа тази скорост водачът трябва да натиска леко механичната спирачка.

Пресечната точка  $Y'$  на хоризонталната линия през т.  $X$  с ординатната ос показва необходимата спирачна сила  $B$  на самосвала за участък 2 ( $B = 7100$  kg).

## Продължителност на рейса на самосвала

$$T = \sum_{i=1}^6 t_i + t_n + t_p + t_m = 8,6 + 1,9 + 1,15 + 0,3 = 11,95 \text{ min} \quad (22)$$

където:  $t_n$  [min] - време за натоварване на самосвала;  
 $t_p$  - време за разтоварване на самосвала ( $t_p = 0,5 - 2$  min);  
 $t_m$  - време за маневри при натоварване ( $t_m = 0,1 - 0,5$  min);

$$t_n = \frac{1}{60} \cdot n_k \cdot t_u = \frac{1}{60} \cdot 4,28 = 1,9 \text{ min} \quad (23)$$

$t_u$  - продължителност на един цикъл на багера ( $t_u = 22-33$  s и зависи от вместимостта на кофата и ъгъла на завъртане на багера).

## Производителност на самосвала

$$Q = \eta_k \cdot q \cdot k_3 \cdot \rho \cdot \frac{60}{T} \cdot k_n = 4,20 \cdot 0,9 \cdot 2,2 \cdot \frac{60}{11,95} \cdot 0,83 = 660 \text{ t/h} \quad (24)$$

където:  $k_n$  - коефициент на производителност ( $k_n = 0,7 - 0,83$  в зависимост от условията на експлоатация).

## Проверка на продължителната тангенциална мощност на самосвала

$$N_m^{\infty} > N_m^{\infty} \quad 973 < 979 \text{ kW}, \quad (25)$$

където:  $N_m^{\infty}$  - необходима продължителна тангенциална мощност;

$$N_m^{\infty} = \frac{F_{\infty} \cdot v_{cp}}{3,6} = \frac{179,19,5}{3,6} = 979 \text{ kW} \quad (26)$$

$F_{\infty}$  [kN] - продължителна теглителна сила на самосвала;  
 $v_{cp}$  [km/h] - средна скорост на движение на самосвала.

$$F_{\infty} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 F_i^2 \cdot t_i}{T}} = \sqrt{\frac{229^2 \cdot 2,4 + 430^2 \cdot 1,25 + 100^2 \cdot 1,87 + 46^2 \cdot 1,84 + 105^2 \cdot 0,91}{11,95}} = 181 \text{ kN} \quad (27)$$

За участък №5 теглителната сила е отрицателна и не се включва в горната формула.

$$v_{cp} = 0,06 \cdot \frac{\sum_{i=1}^6 L_i}{\sum_{i=1}^6 t_i} = 0,06 \cdot \frac{300 + 100 + 1000 + 1000 + 100 + 300}{8,6} = 19,7 \text{ km/h} \quad (28)$$

Проверката не излиза с малко и затова трябва незначително да се намалят скоростите на движение на самосвала.

## Проверка на тяговите двигатели за нагряване

Средноквадратичният ток в двигателя, при изминаването на самосвала на един рейс (от багера до товарния пункт и обратно), трябва да е по-малък от продължителния ток на двигателя:

$$I_{ср кв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 I_i^2 t_i}{T}} < I_a^\infty \quad 607 < 760 \text{ A} \quad (29)$$

$$I_{ср кв} = \sqrt{\frac{790^2 \cdot 2,4 + 1368^2 \cdot 1,3 + 342^2 \cdot 2,9 + 243^2 \cdot 1,8 + 160^2 \cdot 0,2 + 365^2 \cdot 0,9}{11,95}} = 607 \text{ A,}$$

където:  $I_i$  [A] - токове в двигателя при движението на самосвала по различните участъци от трасето;

$$I_i = \frac{I_a^\infty \cdot I\%_i}{100}, \text{ A} \quad (30)$$

$I\%_i$  - процентни стойности на токовете от продължителния ток в двигателя. Отчитат се от универсалната електромеханична характеристика на тяговия двигател  $M\% = f(I\%)$  (фиг.3) в зависимост от процентните стойности на необходимите въртящи моменти  $M\%_i$  от номиналния въртящ момент на двигателя  $M_n$  за различните участъци от трасето.

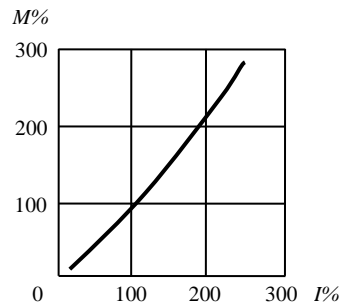
$$M\%_i = \frac{M_i}{M_n} \cdot 100, \% \quad (31)$$

$$M_i = \frac{1000 F_j \cdot D_k}{4 \cdot i_p \cdot \eta_p}, \text{ N.m} \quad (32)$$

Таблица 7

Необходими теглителни сили на самосвала, необходими въртящи моменти и токове на тяговите електродвигатели и времена на движение на самосвала за различните участъци от трасето

У-к	1	2	3	4	5	6
$F_i$ [kN]	229	420	100	46	-66	105
$M_i$ [N.m]	6224	11415	2718	1904	1250	2854
$M\%_i$	104	191	45	32	21	48
$I\%_i$	104	180	45	32	21	48
$I_i$ [A]	790	1368	342	243	160	365
$t_i$ [min]	2,4	1,25	2,87	1,84	0,21	0,91



Фиг.3. Универсална електромеханична характеристика на постояннотоковите тягови електродвигатели тип ЭК  
 $I\%$  - процентна стойност на тока от продължителния ток в двигателя;  $M\%$  - процентна стойност на въртящия момент от номиналния въртящ момент на двигателя

$$M_n = \frac{1000 N_n^\infty}{\omega_n} = \frac{1000 \cdot 590}{99} = 5980 \text{ N.m} \quad (33)$$

$\omega_n$  е номиналната ъглова скорост на тяговия електродвигател;

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 950}{30} = 99 \text{ rad/s} \quad (34)$$

Ако проверката не излезе трябва да се намалят скоростите на движение на самосвала или да се намали масата на транспортирания материал.

## Литература

- БелАЗ 75570 и други - проспекти.  
Дьяков, В.А. 1986. *Транспортные машины и комплексы открытых разработок*. М., Недра. 385 с.  
Проектирование автоматизированного электропривода мотор-колеса большегрузного самосвала БелАЗ - справочник, 2011.  
Komatsu. *Погрузчики, экскаваторы, карьерные самосвалы. Расчет производительности.*, справочник.  
Caterpillar. *Construction mining trucks.*, справочник.