

## ИКОНОМИЧЕСКИ ЕФЕКТ ПРИ БЕЗКОНТАКТНО УПРАВЛЕНИЕ НА РУДНИЧНИ АКУМУЛАТОРНИ ЛОКОМОТИВИ

Кирил Джустров

Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София, E-mail: [justrov@mgu.bg](mailto:justrov@mgu.bg)

**РЕЗЮМЕ:** В серийно произведените акумулаторни локомотиви за подземните рудници най-често за регулиране на скоростта на движение на подвижния състав се използват съпротивления. Загубите на електроенергия в съпротивленията може да достигне до 50% от консумираната от батерията. Направен е анализ на разхода на електроенергия в случаите на резисторно управление и на управление чрез електронен регулатор.

### ECONOMIC EFFECT AT CONTACTLESS REMOTE CONTROL OF MINE ACCUMULATOR LOCOMOTIVES

Kiril Dzhustrov

University of Mining and Geology "St Iv. Rilski", 1700 Sofia, E-mail: [justrov@mgu.bg](mailto:justrov@mgu.bg)

**ABSTRACT:** In the serial produced accumulator locomotives for underground mines, most often for regulation of speed of movement of the movable composition, resistances are used. Losses of electricity in the resistances may reach 50% of the consumed electricity from the battery. There has been made an analyse of expenditure of electricity in cases of resistor operation and operation by electronic regulator.

Ако в някакъв момент от време електровозът получава от мрежата (батерията) ток  $I_{en}$  при напрежение  $U$ , то мощността, която той консумира е както е известно равна на  $UI_{en}$ . Изразходваната енергия за безкрайно малък промеждутък от време  $dt$  ще бъде  $UIdt$ . Енергията  $A$  (Wh) за времето от  $t_1$  до  $t_2$  ще бъде:

$$A = \int_{t_1}^{t_2} UI_{en} dt$$

При неизменно напрежение разхода на електроенергия за движението на подвижния състав се свежда до определянето на площта на кривата на тока  $I_{en}=f(t)$ .

За сравнителна оценка на разхода на електроенергия е удобно да се използва специфичния разход на енергия, отнесен към 1 t маса на състава и 1 km изминат път. Този специфичен разход на електроенергия  $a'$  е:

$$a' = \frac{A}{(P + Q)L}, \text{ Wh}$$

където  $P$  и  $Q$  са съответно масите на електровоза и на вагоните.

Пълният разход на електроенергията получена от мрежата (батерията) ще бъде:

$$A = \frac{k_n}{\eta_1 \eta_2} \int_{t_1}^{t_2} UI_{en} dt, \text{ Wh}$$

където  $\eta_1$  – КПД на мрежата или батерията  
 $\eta_2$  – КПД на преобразователните (управляващите) устройства  
 $k_n$  – коефициент отчитащ загубите на енергия за собствени нужди на влака (осветление и др.); за рудничните електровози може ориентировъчно да бъде приет за 1,05

Загубите на енергия при управлението на акумулаторни електровози се дължат най-вече на загубите в пусковите съпротивления. При акумулаторния локомотив АМ8Д те са две със стойности  $R_1=0,306\Omega$  и  $R_2=0,204\Omega$ .  $R_1$  се използва и във двигателния (позиция 1 на командоконтролера) и в спирания режим (позиции Т1 и Т2), а  $R_2$  – само в спирания режим. При двигателен режим в позиция 1 на командоконтролера, т.е. при потегляне, маневриране и преодоляване на криви с малък радиус, загубата на електроенергия в  $R_1$  ще бъде:

$$A_{R_1} = 0,306 \int_{t_1}^{t_2} I_{en}^2 dt, \text{ Wh.}$$

Очевидно загубите ще зависят от съпротивлението при движението на състава  $w$  и продължителността на маневриране. По данни от изследвания в рудници в Русия, тези загуби се равняват приблизително на 40% при

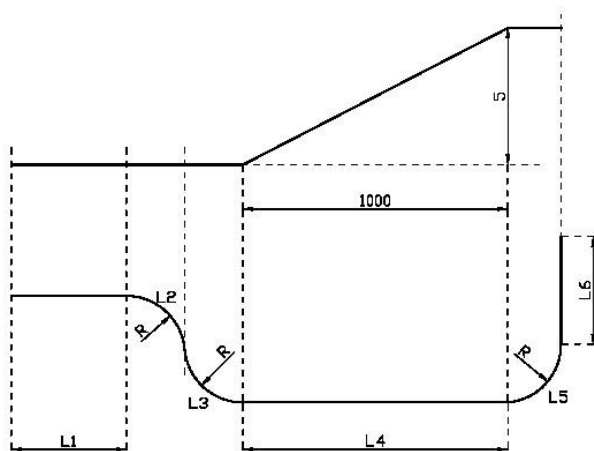
дължина на пътя до 1 km; от 1 до 2 km – 25%; над 2 km – 15%.

За да се направи сравнителна оценка на изразходваната електрическа енергия от акумулаторен локомотив с реостатно управление и модернизирани с безконтактно транзисторно (тиристорно) управление ще бъде взет за пример електровоз АМ8Д и релсов път с обща дължина на един цикъл за извозване на материала – 2km (фиг. 1). За просота е избрано сравнително просто трасе, но долупописаната методика може да бъде прилагана за реални трасета със сложна конфигурация. Приема се, че по време на курса на влаковия състав ще има по едно потегляне и по едно спиране в посока.

Изчисленията ще бъдат направени за влаков състав от немодернизиран електровоз и осем вагона със вместимост от 2,5m<sup>3</sup> и такъв, на който управлението на електровоза е заменено с два броя регулатори 1221-74 на Curtis-Balkan. Режимът на работа е пълния състав да изкачва наклон от 5‰, а празния – да спуска.

Приетите дължини на участъците от пътя и на радиусите на закръгление са:

- първи участък: L1=80m
- втори участък: L2=25m и радиус R=15m
- трети участък: L3=25m и радиус R=15m
- четвърти участък: L4=1725m
- пети участък: L5=25m и радиус R=15m
- шести участък: L1=120m



Фиг. 1. Път на подвижният състав

Абсолютният разход на електроенергия зависи от масата на влаковия състав в натоварено и пълно състояние.

$$M_{np} = P + nQ = 8000 + 8 \cdot 1300 = 18400 \text{ kg}$$

$$M_{нам} = P + n(Q + Q_m) = 37120 \text{ kg}$$

$$Q_m = \frac{k_n}{k_p} v_0 \rho = 2340 \text{ kg}$$

ъдето:  $n$  – броя на вагоните  
 $Q_m$  – масата на товара

$k_n = 0,9 \div 1,15$  – коефициент на напълване на влака

$k_p = 1,4$  – коефициент на разбухване на транспортния материал в насипно състояние

$\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$  – плътност на транспортирания материал

$v_0 = 2,5 \text{ m}^3$  – полезна вместимост на вагона

В табл. 1 са дадени данни на влаковия състав.

Таблица 1

Сцепна маса на локомотива (P), t	8
Маса на празен вагон (Q <sub>в</sub> ), t	1,3
Полезен товар на 1 вагон (Q <sub>т</sub> ), t	2,34
Маса на пълния състав (M <sub>нам</sub> ), t	37,12
Маса на празния състав (M <sub>np</sub> ), t	18,4
Широчина на релсовия път (B), m	0,9
Твърда база на локомотива (S), m	1,2

При определянето на относителните съпротивления, действащи на влаковия състав са използвани както коефициенти, намерили практическо приложение, така и изчислени в зависимост от конкретните условия на задачата. В таблица 2 са дадени относителните съпротивления при движението на влаковия състав.

Таблица 2

относително съпротивление		Пълен състав	Празен състав
основно	$w_0$	0,010	0,010
на наклона	$w_i$	$\pm 0,005$	$\pm 0,005$
инерционно	$w_j$	$\pm 0,022$	$\pm 0,033$
при потегляне	$w_n$	0,002	0,002
на кривата	$w_{кр}$	0,018	0,018

От фиг. 1 се вижда, че в различните участъци ще действат различни съпротивления на пътя. Така например в първоначалния участък с дължина L1 при потегляне (пълнен влак) ще действуват съпротивителни сили на потегляне, основно съпротивление на пътя и инерционно съпротивление, а при връщане на празния влак – само основното съпротивление на пътя и инерционното съпротивление. Поради малката дължина на участъка се допуска, че спирането ще започне още след излизане от кривата поради което инерционната сила ще бъде с отрицателен знак. Отрицателен знак на резултантното относително съпротивление  $w$  означава, че се използва спиращ режим и не се консумира енергия от батерията.

В таблица 3 са дадени изчислителните формули и стойностите на резултантните относителни съпротивления при “изкачване” (с товар) и “спускане” (без товар) на състава за различните участъци от трасето.

Изразходваната енергия за движението на влаковия състав е:

$$A' = \frac{g}{\eta_{л}} \left[ M_{нам} \sum_{i=1}^n w'_i L_i + M_{np} \sum_{i=1}^n w''_i L_i \right] = 21674661 \text{ J} = 6,02 \text{ kWh}$$

Към нея трябва да се добави и загубите на електрическа енергия в пусковото съпротивление ( $A''$ ), както и загубата на енергия в батерията, маневриране, собствени нужди и т.н. ( $A'''$ ).

Таблица 3

	Режим на работа	Изчислителна формула	w
L1	"изкачване"	$w_1' = w_o + w_j + w_n$	0,034
	"спускане"	$w_1'' = w_o - w_j$	-0,023
L2	"изкачване"	$w_2' = w_o + w_j + w_{кр}$	0,050
	"спускане"	$w_2'' = w_o + w_j + w_{кр}$	0,061
L3	"изкачване"	$w_3' = w_o + w_j + w_{кр}$	0,050
	"спускане"	$w_3'' = w_o + w_j + w_{кр}$	0,061
L4	"изкачване"	$w_4' = w_o + w_j + w_i$	0,037
	"спускане"	$w_4'' = w_o - w_j - w_i$	-0,028
L5	"изкачване"	$w_5' = w_o + w_j + w_{кр}$	0,050
	"спускане"	$w_5'' = w_o + w_j + w_{кр}$	0,061
L6	"изкачване"	$w_6' = w_o - w_j$	-0,022
	"спускане"	$w_6'' = w_o + w_j + w_n$	0,034

За дадения пример ако средната скорост при потегляне, маневриране и движение по криви е 2km/h със средно консумиран ток от батерията 250А (по данни от изследвания на автора и електромеханичните характеристики на двигателя) и 6km/h по наклон от 5‰, то средното време за изминаване на пътя (275m) изискващ първа позиция на командоконтролера (последователно включено съпротивление 0,306Ω на двата двигателя) ще бъде около 8 min, при което загубата в пусковото съпротивление ще бъде:

$$A'' = \frac{I_{cp}^2 R t}{60} = \frac{250^2 \cdot 0,306 \cdot 8}{60} = 2,55 kWh$$

а загубата в батерията, маневриране, собствени нужди и т.н.

$$A''' = 0,25 + 0,40(A'' + A'') = 0,3(6,02 + 2,55) = 2,57 kWh$$

Пълният разход на енергия ще бъде равен на 11,14kWh за рейс. Това определя специфичен разход от 0,298kWh/tkm.

Очевидно е, че загубите ( $A''+A'''$ ) са съизмерими (в разглеждания случай превъзхождат) с полезната енергия ( $A'$ ) за движението на влака.

Явно е, че минимизиране на разходите за електроенергия може да се търси в няколко направления: безреостатно управление; замяна на железно-никеловите батерии с оловни, имащи по-малко вътрешно съпротивление; намаляване на съпротивлението на релсовия път и т.н.

Горните изчисления показват, че при безреостатно управление разходите на електроенергия от батерията могат да бъдат намалени с до около 23%. При замяна на управлението с регулатори 1221-74 на Curtis, загубите в електронните регулатори ще се определят от пада на напрежение  $U_0$  в изходните транзистори на регулаторите и протичащия ток към двигателите.

$$A' = 2 \int U_0 I_{\partial e} dt$$

Ако допуснем, че средно 8 min влаковия състав ще се движи със среден ток на всеки двигател  $I_{cp1}=300A$ , а през останалия път (1725m) ще се движи 17 min със средна скорост 6km/h, ток на всеки от двигателите  $I_{cp2}=I_n=113A$ , то загубите на енергия в регулаторите са:

$$A' = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot (8 \cdot 300 + 17 \cdot 113)}{60} = 72 Wh = 0,072 kWh$$

Пълният разход на електроенергия ще е равен на 8,66kWh, а специфичния разход – 0,235kWh/tkm.

### Изводи:

- Чрез замяна на командоконтролера и пусковите съпротивления с безконтактен регулатор, абсолютния разход на електроенергия може да се намали с 20÷40 % в зависимост от конкретните условия. Това предполага подълъг живот на батерията и снижаване на експлоатационните разходи.
- При безконтактното управление с регулатор 1221-74 практически липсва комутация под товар, с което се снижават до минимум ремонтните разходи и щетите от престой за ремонти на електромеханичните контакти

### Литература:

- Волотковский С.А., Рудничная электровозная тяга, М., Недра, 1981
- Матеев М. Руднична локомотивна тяга, С., Техника, 1971
- Curtis Instruments, Inc. 1204X/1205X and 1209/1221 motor controllers, 1991
- Menteshev M., I. Stoilov, K. Djostrov, H. Georgiev. Modernized electrical equipment for mining storage battery locomotives. Sesiune jubiliara 1948-1998. Petrosani, 1998