

ЗАХРАНВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ КОНСУМАТОРИ В "МИНИ МАРИЦА ИЗТОК" ЕАД С ПОДВИЖНА ПОДСТАНЦИЯ

Тодор Върбев¹, Даниел Манолов²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София,

² Минуи "Открит възледобив", г. Перник

РЕЗЮМЕ В статията се разглежда възможността за използване на подвижни трансформаторни подстанции за захранване на отдалечени мощни минни консуматори с цел намаляване загубите на напрежение в мрежата и подобряване на пусковия процес.

SUPPLY OF ELECTRIC CONSUMERS IN THE "MINI MARITSA IZTOK " EAD WITH A MOBILE SUBSTATION

Todor Varbev¹, Daniel Manolov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia,

² Open pit mining of coal "Pernik

ABSTRACT: The article examines the use of a mobile transformer substations to supply remote mining powerful consumers in order to reduce losses of the voltage and improving the starting process.

Основните схеми за захранване на електрическите консуматори в откритите рудници с електрическа енергия са надлъжни (по дължината на отделните хоризонти на рудниците) и напречни (напречно на хоризонтите в рудниците). Възможна е и комбинация между тези две схеми. В "Мини Марица-изток" за захранването на електрическите консуматори се използва надлъжна схема. Електрическите мрежи изградени за захранване на консуматорите в мините на комплекса „Марица-изток“ са комбинирани. Състоят се от въздушни линии изпълнени с проводник тип АС (АСО) излизащи от стационарни подстанции и кабелни линии изпълнени с шлангови кабели различни типове изпълнени с медни проводници. Въздушните линии са стационарни и стигат до борда на рудника, след което преминават в подвижни кабелни линии. Електрическите консуматори в комплекса „Марица-изток“ се характеризират с голяма единична мощност, като най-често използваните консуматори са показани в Таблица 1, с номинално захранващо напрежение 6 kV. Малка част от тях, най-често насипообразуватели се захранват с напрежение 20 kV.

С напредване на минните работи се увеличава разстоянието между стационарните подстанции в мините и електрическите консуматори. Увеличават се загубите на напрежение в електрическата мрежа и се затруднява пускането на посочените в таблицата електрически консуматори.

Един от вариантите за решаване на проблема е използване на известната схема на електроснабдяване

„дълбок въвод“. При тази схема се доставя електрическа енергия близо до консуматорите с по-високо преносно напрежение, след което то се преобразува до стойности съответстващи на захранващото им напрежение. За целта е необходимо да се проектира и построи подвижна трансформаторна подстанция за напрежение 20/6 kV.

Необходимата мощност на трансформаторът на тази подстанция можем да определим по методиката описана в [1,2,3] като използваме коефициента на търсене K_T за определяне на изчислителните електрически товари на отделните групи консуматори.

Мощността на отделните консуматори определяме по формулата

$$S = \frac{K_T \cdot P}{\eta_{дв.ср} \cdot \cos \varphi_{ср}}, KVA, \quad (1)$$

където: S е очакваната пълна максимална мощност черпена от даден консуматор;

$\eta_{дв.ср}$ - средна стойност на коефициента на полезно действие на електрическите двигатели на консуматора;

$\cos \varphi_{ср}$ - средна стойност на фактора на мощност на електрическите двигатели на консуматора

K_T - коефициент на търсене за отделните видове консуматори.

Коефициентът на търсене K_T , средната стойност на $\eta_{\text{дв.ср.}}$ и фактора на мощността $\cos \varphi_{\text{ср}}$ за отделните консуматори имат следните стойности [1,2,3]:

$$\begin{aligned} & \text{- за роторни багери (р.б.);} \\ & K_{T_{\text{р.б}}} = 0,3 \div 0,4, \quad \cos \varphi_{\text{ср}} = 0,7 \div 0,8, \\ & \eta_{\text{дв.ср.}} = 0,9 \end{aligned}$$

- за гуменолентови транспортъри (г.л.т.);

$$\begin{aligned} & K_{T_{\text{глт}}} = 0,75, \\ & \cos \varphi_{\text{ср}} = 0,6 \div 0,7, \quad \eta_{\text{дв.ср.}} = 0,9 \end{aligned}$$

Получените данни за електрическите товари са посочени в Таблица 1

Таблица 1

Параметри	Тип на машината	Инсталирана мощност, kW	Мощност на двиг. на рот. колело, kW	Изчислителен електрически товар, KVA	Максимален ток, А	U _н , kV
Място на работа						
Роторни багери						
въглища	SehRS1200	2000	1x400	1111,1	106,92	6
въглища	SR _s 470	930	1x400	516,67	49,72	6
въглища	SR _s 1301	2640	1x500	1466,67	141,13	6
въглища	SR _s 2000	2000	2x500	1944,4	187,11	6
Кофововерижни багери						
въглища	ER _s 710	900	1x450	923,1	88,8	6
Насипообразуватели						
откривка	A ₂ R _s B6300	2600		2111	203,15	6
откривка	A ₂ R _s B6300	5000		4060	117,21	20
ГЛТ						
откривка	2250 mm	4000	4x1000	5128,2	493,5	6
откривка	1600 mm	1680	3x500	2153,8	207,26	6

Технологична линия с най-мощните електрически консуматори използвани в комплекса "Марица изток" е монтирана в рудник "Трояново-3". Тя е изпълнена с ГЛТ-225 и роторни багери тип RS-2000. За захранването на част от нея с електрическа енергия необходимата мощност на първичната страна на силовия трансформатор на подвижната подстанция може да бъде определена по приблизителната формула [2]

$$S_{1\text{мп}} \approx \sqrt{(S_2 0,02)^2 + (S_2 0,1)^2} + S_2, \text{ KVA} \quad (2)$$

където $S_{2\text{мп}}$ е необходимата мощност на вторичната страна на подвижната трансформаторна подстанция. Тя се определя от формулата,

$$S_{2\text{мп}} = K_{\text{с.м}} \left[\sum_{i=1}^n S_i + \sqrt{\Delta p_e^2 + \Delta q_e^2} \right], \text{ KVA} \quad (3)$$

в която с $K_{\text{с.м}}$ е отчетен коефициентът на съвпадане на максимумите. Той се изменя в границите от 0,7÷0,85 за открити рудници с конвейрен извоз и многокофови багери [4].

По надолу за по-голяма яснота изложението ще бъде съпътствано с пример:

$$\begin{aligned} & \text{- за насипообразуватели (н.о.);} \\ & K_{T_{\text{н.о}}} = 0,45 \div 0,5, \quad \cos \varphi_{\text{ср}} = 0,7 \div 0,8, \\ & \eta_{\text{дв.ср.}} = 0,9 \\ & \text{- за вверижни многокофови багери (в.б.);} \\ & K_{T_{\text{в.б}}} = 0,55 \div 0,65, \quad \cos \varphi_{\text{ср}} = 0,7 \div 0,8, \\ & \eta_{\text{дв.ср.}} = 0,9 \end{aligned}$$

1. Определяне на необходимата мощност на трансформатора на подвижната подстанция.

Изчислителната мощност на една задвижваща станция на ГЛТ-225 е определена в Таблица 1 и е $S_{\text{изч}} = 5128,2 \text{ KVA}$. Технологично на забой за отривка с дължина 2,5÷3 km се монтират между две и три такива задвижващи станции. Мощността на група консуматори $S_{\text{ср}}$ съставена от две такива станции е

$$S_{\text{ср}} = 2 \cdot S_{\text{изч}} = 10256,4 \text{ KVA},$$

а необходимата мощност на вторичната страна на подвижната подстанцията ще определим по формула (3). Загубите на мощност Δp_e и Δq_e в електропроводните линии са неизвестни, затова ще приемем, че те са 5% от мощността на групата и ще ги отчетем с коефициента на полезно действие на мрежата на ниската страна $\eta_{\text{мп2}} = 0,95$. Тогава за $S_{2\text{мп}}$ получаваме,

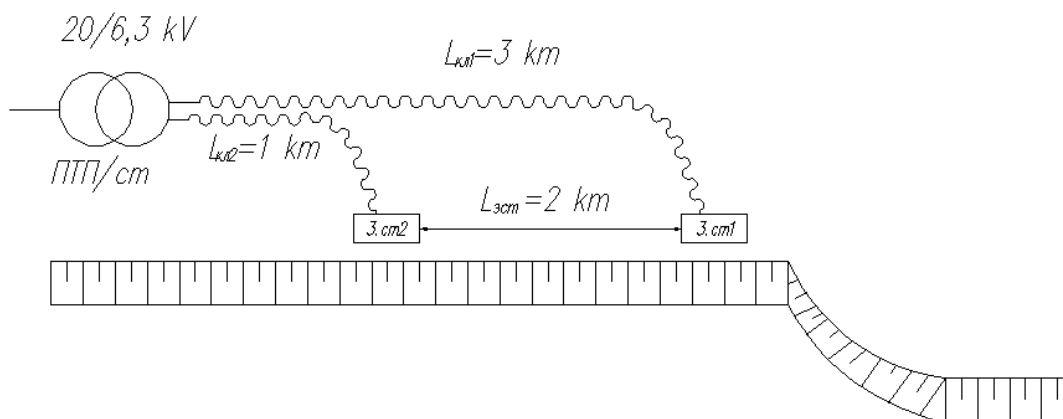
$$\begin{aligned} S_{2\text{мп}} &= K_{\text{с.м}} \left[\sum_{i=1}^n S_{\text{ср}} / \eta_{\text{мп.2}} \right] = 0,85 \left[\frac{10256,4}{0,95} \right] \\ &= 9176,8 \text{ KVA} \end{aligned}$$

След заместване на S_{2mp} във формула 2 за необходимата мощност на първичната страна на силовият трансформатор S_{1mp} получаваме,

$$S_{1mp} \approx \sqrt{(S_{20,02})^2 + (S_{20,1})^2} + S_2 = \sqrt{9176,8.0,02 + 9176,8.01} + 9176,8 = 9209,98 \text{ KVA}$$

Следователно за захранването на две задвижващи подстанции на ГЛТ-225 може да се използва трансформатор с номинална мощност $S_n = 10000 \text{ KVA}$.

2. Определяне на сеченията на кабелите захранващи електрическите консуматори.



Фиг. 1

Кабелите се избират по допустимо токово натоварване $I_{дон}$, при спазване на неравенството,

$$I_{дон} \geq I_{макс.раб}$$

където $I_{макс.раб}$ е максималния работен ток на електрическите консуматори. За задвижващите станции на ГЛТ-225, той е посочен в Таблица 1, $I_{макс.раб} = 493,5 \text{ A}$. От справочника на „ФИЛКАБ“, кабел със сечение $S = 185 \text{ mm}^2$ и $I_{дон} = 535 \text{ A}$ удовлетворява това неравенство.

3. Определяне на загубата на напрежение в кабелните линии

Съгласно [6] за откритите рудници се допуска загубата на напрежение в мрежата да достигне до 10% U_n в нормален режим на работа. Следователно най-ниската стойност на напрежението на клемите на двигателя е

$$\Delta U_{двуз.мин} = U_n - 10\%U_n = 6 - 0,6 = 5,4, \text{ kV}$$

Избраните сечения на захранващите кабели трябва да удовлетворяват и изискването за допустима загуба на напрежение, $\Delta U_{дон}$.

След избора на силов трансформатор, можем да разгледаме една реална мрежа за захранване на посочените по-горе електрически консуматори и да определим загубите на напрежение в нея при различните им режими на работа

На фиг. 1 е показана една реална схема за захранване на електрически консуматори в рудниците на мини „Марица-изток“ АД с подвижна трансформаторна подстанция. С $L_{кв1}$ и $L_{кв2}$ са означени реалните дължини на кабелните линии захранващи две задвижващи станции [3С], на ГЛТ-225 с номинална мощност на всяка една от тях $P_H = 4 \times 1000 \text{ kW}$. Задвижващите станции се захранват с медни гъвкави шлангови кабели положени на открито по борда на рудника.

$$\Delta U_{дон} = U_{н2mp} - U_{двуз.мин}$$

където $U_{н2mp}$ е номиналното напрежение на вторичната страна трансформатора;

При работа на трансформатора на минусови клеми – 5%, то неговото напрежение $U_{н2mp}$ ще бъде равно на 6,3 kV. Тогава общата допустима загуба на напрежение $\Delta U_{дон}$ в кабелите при нормален режим може да достигне стойност

$$\Delta U_{дон} = 6,3 - 5,4 = 0,9, \text{ kV}$$

Загубата на напрежение в кабелните линии $\Delta U_{кл}$ може да определим от формулата [2],

$$\Delta U_{кл} = \frac{X_o \sum Q_K I_K}{U_n} + \frac{r_o \sum P_K I_K}{U_n}, \text{ V}$$

където: P_K и Q_K са пренасяните активни и реактивни мощности през линията, kW и kVAr;

l_K дължината на линията, km;

x_o и r_o са действителните стойности на индуктивното и активно съпротивление на линията,

Ω / km . За избраното сечение $x_o = 0,1068 \Omega / km$ и $r_o = 0,102 \Omega / km$. [8]

За получения изчислителен товар посочен в Таблица 1 и схемата показана на фиг. 1 за $\Delta U_{кл}$ получаваме,

$$\Delta U_{кл} = \frac{0,102.3333,33.3}{6} + \frac{0,1068.3897,06.3}{6}$$

$$= 360,1 V$$

$$\text{в } \% \Delta U_{кл} \% = \frac{\Delta U_{кл}}{U_n} \cdot 100 = 5\%.$$

Следователно $\Delta U_{кл}$ е по-малка от допустимата обща загуба на напрежения - $\Delta U_{дон} \% = 15\%$.

4. Определяне на загубата на напрежение в кабелната линия и захранващия трансформатор при пускане на ГЛТ-225 с номинална мощност на двигателите $4 \times 1000 kW$.

Направени са измервания за установяване на пусковия ток на двигателите на задвижващата станция на ГЛТ-225. Те са с навит ротор и процеса на пускане се управлява чрез пускови съпротивления /воден реостат/. Измереният пусков ток I_n на един двигател е $250 A$. За четирите двигателя общият пусков ток е $I_{н.общ} = 1000 A$.

Загубата на напрежение в кабелната линия при пускане определяме по формулата,

$$\Delta U_{кл} = \sqrt{3} \cdot I_n (x_o \sin \varphi_n + r_o \cos \varphi_n) l, V,$$

където $\cos \varphi_n = 0,5$ [3].

В случая за $3Cm.1$,

$$\Delta U_{кл.1} = \sqrt{3} \cdot 1000 (0,1068 \cdot 0,866 + 0,102 \cdot 0,5) l \text{ в } \%$$

$$= 745,57 V$$

$$\Delta U_{кл} \% = \frac{\Delta U_{кл}}{U_n} \cdot 100 = \frac{745,57}{6300} \cdot 100 = 11,83\%.$$

Загубата на напрежение в трансформатора $\Delta U_{mp} \%$ определяме по формулата:

$$\Delta U_{mp} \% = \beta (\Delta U_a \% \cos \varphi_2 + \Delta U_r \% \sin \varphi_2), \%$$

където β е коефициент на натоварване на трансформатора;

$\Delta U_a \%$ - относителната активна загуба на напрежение в трансформатора;

$\Delta U_r \%$ - относителната реактивна загуба на напрежение в трансформатора, %;

$\cos \varphi_2$ и $\sin \varphi_2$ се отнасят за вторичната страна на трансформатора.

β се определя по формулите,

$$\beta = \frac{S_{\partial}}{S_{н.мп}} = \frac{I_{\partial}}{I_{н.мп}},$$

където S_{∂} , $S_{н.мп}$, I_{∂} и $I_{н.мп}$ са действителните стойности на мощността и тока през трансформатора.

Активната и реактивната загуба на напрежение в %, $\Delta U_a \%$ и $\Delta U_r \%$ можем да определим по формулите:

$$\Delta U_a \% = \frac{P_k \cdot 100}{1000 \cdot S_{н.мп}}, \%$$

$$\Delta U_r \% = \sqrt{U_k \%^2 - \Delta U_a \%^2}, \%$$

където ΔP_k е загубата на мощност в намотките на трансформатора, W;

$\Delta U_k \%$ - напрежението на късо съединение, %.

За конкретния трансформатор който има следните технически параметри:

$$U_n = 6 kV;$$

$$S_n = 10000, KVA;$$

$$\Delta U_k \% = 6,5\%$$

$$I_o = 3\%;$$

$$\Delta P_o = 28000 W;$$

$$\Delta P_k = 83000 W.$$

Стойностите на $\Delta U_a \%$ и $\Delta U_r \%$ са:

$$\Delta U_a \% = \frac{83000}{1000 \cdot 10000} = 0,083\%;$$

$$\Delta U_r \% = \sqrt{6,5\% - 0,083^2} = 6,499\%.$$

От получените стойности за $\Delta U_a \%$ и $\Delta U_r \%$ можем да определим загубата на напрежение в трансформатора при номинален товар $\Delta U_{mp.n} \%$.

$$\Delta U_{mp.n} \% = \frac{S_{\partial.мп}}{S_{н.мп}} (0,083\% \cdot 0,7 + 6,499 \cdot 0,714)$$

$$= 4,698\%$$

В абсолютни единици

$$\Delta U_{mp} = \frac{4,698\% \cdot U_n}{100} = \frac{5,184\% \cdot 6300}{100}$$

$$= 295,97, V$$

В трансформатора загубата на напрежение при пускане определяме по формулата,

$$\Delta U_{mp.n} \% = \frac{I_n + I_{\text{макс.раб}}}{I_{n.mp}} \cdot (0,083\% \cdot 0,5 + 6,499\% \cdot 0,866)$$

$$= \frac{1000 + 493,5}{962,28} (5,67\%) = 8,8\%$$

В абсолютни единици

$$\Delta U_{mp.n} = \frac{8,8U_n}{100} = \frac{8,8 \cdot 6300}{100} = 554,37 \text{ V}$$

Следователно при пускане загубата на напрежение в трансформатора спрямо номиналния режим се е увеличила с,

$$\Delta U_{mp} = \Delta U_{mp.n} - \Delta U_{mp.n} = 554,37 - 295,97 = 258,4 \text{ V}$$

Общата загуба на напрежение при пускане до най-отдалеченият консуматор показан на фиг. 1 е:

$$\Delta U = \Delta U_{mp} + \Delta U_{кл.1} = 258,4 + 745,57 = 1003,97 \text{ V}$$

Напрежението на клемите на двигателя ще бъде,

$$U_{\text{дв}} = 6300 - 1003,97 = 5296,03 \text{ V}$$

5. Определяне напрежението на клемите на другият консуматор *ЗСм.2* при пускане на *ЗСм.1*

За тази цел трябва да определим загубата на напрежение в кабелната линия на консуматор № 2,

$$\Delta U_{кл2} = \frac{x_o \cdot \sum Q_k \cdot l_k}{U_n} + \frac{r_o \cdot \sum P_k \cdot l_k}{U_n} = \frac{0,102 \cdot 3333,33}{6,3} \cdot 1 + \frac{0,1068 \cdot 3897,06}{6,3} \cdot 3 = 126 \text{ V}$$

Тогава за напрежението на клемите на двигателя на консуматор № 2 при пускане на консуматор № 1 получаваме

$$U_{2K} = \Delta U_{mp} + \Delta U_{кл2} - U_{2n.mp} = 258,4 + 126 - 6300 = 59145,6 \text{ V}$$

От направените изчисления се вижда, че напрежението на клемите на двигателя на задвижваща станция *ЗСм.1* е по-ниско от допустимото приблизително с около 100V. На *ЗСм.2* то е значително по-високо от минимално допустимото при пускането на двигателя на *ЗСм.1*. За да може напрежението при пускане на *ЗСм.1* да е в

допустимите норми е необходимо дължината на кабелната линия да е по-малка. В случая тя може да бъде определена по формулата,

$$l_{кл.1 макс.} = \frac{\Delta U_{кл.1}}{I_n (x_o \sin \varphi_n + r_o \cos \varphi_n) \sqrt{3}} = \frac{641,6}{1000(0,1068 \cdot 0,866 + 0,102 \cdot 0,5) \sqrt{3}} = 2,58 \text{ km}$$

където $\Delta U_{кл.1}$ е максимално допустимата загуба на напрежение в $l_{кл.1}$,

$$\Delta U_{кл.1} = \Delta U_{\text{дв.мин}} - \Delta U_{mp} = 900 - 259,88 = 640,12 \text{ V}$$

В заключение може да се каже, че с напредване на минните работи и увеличаване на разстоянието между стационарните подстанции и добивните и транспортни машини е наложително използването на междинни подвижни трансформаторни подстанции. По този начин ще бъдат намалени загубите на напрежение в мрежата и ще се подобри пусковият процес на мощните минни консуматори. Необходимо е при известни консуматори и сечения на захранващите кабели предварително да бъдат определени максималните разстояния между тях и подвижната подстанция с показаната формула по-горе. Получените разстояния в процеса на експлоатация не трябва да бъдат надвишавани.

Литература

- Анев Г. Електрически подстанции и релейни защиты, - Печатна база на МНП, 1991.
- Анев Г., Д. Драгнев, Т. Върбев, Ръководство за курсово и дипломно проектиране по електрически подстанции и мрежи, - Печатна база на МГУ, 1997.
- Мишов П., Ръководство за проектиране на електрооборудването на открити рудници, - Печатна база на МГУ, 1997.
- Мишов П., Е. Данков, С. Дунев, Методични указания за курсов проект по електрификация на мините, - Техника 1978.
- Кърцелин Е. и др. Регулиране на напрежението в електро-разпределителни мрежи по метода на характеристичния възел, Конф. с межд. Участие "Автоматика и информатика, 07", 3-6 октомври, 2007, сб. доклади, София.
- Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии.
- Правилник за безопасността на труда при разработване на находища по открит начин.
- Справочни материали на "ФИЛКАБ"