

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ВИДОБУВНОЇ ДІЛЬНИЦІ ШАХТИ

Зроблено короткий аналіз якості енергоживлення видобувного обладнання за втратою напруги по довжині кабелю, визначена максимально допустима довжина комбайнового кабелю в залежності від повної потужності дільничної трансформаторної підстанції та потужності двигуна видобувного комбайна.

На шахтах України у складі механізованих комплексів для виймання вугільних пластів використовуються високопродуктивні видобувні комбайни, які мають частотно-регульований електропривод і сучасні системами керування, діагностики та контролю. Такі сучасні комбайни як УКД200-250, УКД300, КДК400, КДК500, РКУ10, РКУ13, ГШ500 мають велику енергоозброєність від 200 до 500кВт. Живлення таких високопотужних машин здійснюється змінним струмом частотою 50 Гц і напругою 1140 В. Поряд із застосування сучасної видобувної техніки залишається велика частка машин та механізмів, які вже морально застаріли та не відповідають реаліям часу. Електропостачання таких машин здійснюється зазвичай напругою 660В.

Для скорочення обсягів проходки пластових виробок, зменшення капітальних витрат на підготовку лави гірничі підприємства ідуть по шляху збільшення довжини лав до 300 – 350 м. Сучасні скребкові конвеєри мають збільшену потужність приводів та можливість транспортування вугілля з продуктивністю до 8000 т/добу (скребковий конвеєр КСД-27). Напруга живлення таких конвеєрів – 1140В.

Для аналізу ефективності електропостачання механізмів видобувної дільниці зробимо розрахунок кабельної мережі за втратою напруги. Виконаємо розрахунки тільки для двох рівнів напруги: 660 та 1140В.

Допустимі втрати напруги на всіх елементах мережі визначаються, виходячи з наступного: номінальні напруги холостого ходу трансформатора дільниці складають 1200 або 690В, а відповідні напруги електродвигунів 1140 або 660В; крім того, двигуни розраховані на нормальну роботу при коливаннях напруги $\pm 5\%$ номінального, тобто мінімальна напруга може бути 1083 або 627В. Відповідно, загальні допустимі втрати напруги в низьковольтній мережі видобувної дільниці визначаються за формулою:

$$\Delta U_{\text{дон}} = U_{\text{xx}} - 0,95U_{\text{ном}}, \quad (1)$$

де $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга для живлення низьковольтних споживачів дільниці, $U_{\text{ном}} = 660\text{В}$, $U_{\text{ном}} = 1140\text{В}$;

U_{xx} – напруга холостого ходу трансформатора дільниці, $U_{\text{xx}} = 690\text{В}$ для рівня напруги $U_{\text{ном}} = 660\text{В}$, $U_{\text{xx}} = 1200\text{В}$ для рівня напруги $U_{\text{ном}} = 1140\text{В}$.

$$\Delta U_{\text{дон}} = 1200 - 0,95 \cdot 1140 = 117\text{В};$$

$$\Delta U_{\text{дон}} = 690 - 0,95 \cdot 660 = 63\text{В}.$$

Сумарні втрати напруги складаються з втрат в трансформаторі, в магістральному та радіальному кабелях:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{mp} + \Delta U_{.m} + \Delta U_{.к}, B. \quad (2)$$

Втрата напруги в трансформаторі в номінальному режимі визначається за формулою:

$$\Delta U_{mp} = \beta_{mp} (u_a \cdot \cos \varphi_{cp} + u_p \cdot \sin \varphi_{cp}) \frac{U_{ном}}{100}, \quad (3)$$

де β_{mp} – коефіцієнт завантаження трансформатора (в розрахунках приймаємо $\beta_{mp} = 1$);

$\cos \varphi_{cp}$ та $\sin \varphi_{cp}$ – відповідно середньозважений коефіцієнт потужності та синус кута, що відповідає $\cos \varphi_{cp}$, для підземних електроспоживачів зазвичай $\cos \varphi_{cp} = 0,7$, $\sin \varphi_{cp} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{cp}} \approx 0,7$;

u_a , u_p – відповідно активна та реактивна складова напруги короткого замкнення (к.з.), %:

$$u_a = \frac{P_{кз}}{S_{ном}} 100, \quad (4)$$

$$u_p = \sqrt{u_{кз}^2 - u_a^2}, \quad (5)$$

де $P_{кз}$ та $u_{кз}$ – відповідно втрати та напруга к.з. трансформатора;
 $S_{ном}$ – номінальна напруга трансформатора дільниці, кВА.

Для визначення втрат напруги в магістральному (від трансформаторної підстанції до розподільного пункту дільниці) та радіальному (від розподільного пункту дільниці до електроспоживача) кабелях використовуємо наступні формули:

$$\Delta U_{.m} = \sqrt{3} I_{.m} L_{.m} (R_{.mo} \cdot \cos \varphi_{cp} + x_{.mo} \cdot \sin \varphi_{cp}), \quad (6)$$

$$\Delta U_{.к} = \sqrt{3} I_{.к} L_{.к} (R_{.ко} \cdot \cos \varphi_{cp} + x_{.ко} \cdot \sin \varphi_{cp}), \quad (7)$$

де $I_{.m}$, $I_{.к}$ – відповідно струм в магістральному та радіальному кабелях, А;
 $L_{.m}$, $L_{.к}$ – відповідно довжина магістрального та радіального кабелів, км;
 $R_{.mo}$, $R_{.ко}$ – відповідно питомий активний опір магістрального та радіального кабелів, Ом/км;
 $x_{.mo}$, $x_{.ко}$ – відповідно питомий реактивний опір магістрального та радіального кабелів, Ом/км.

Для розрахунків за радіальний кабель приймаємо гнучкий кабель видобувного комбайна, який є не тільки найпотужнішим електроспоживачем лави, а й має найдовший кабель. Довжину магістрального кабелю приймаємо як найменше близько $L_{.m} = 0,01$ км (трансформаторна підстанція іде у складі енергопотяга), а довжину комбайнового кабелю $L_{.к}$ визначаємо в залежності від довжини лави з урахуванням 10% запасу на провисання (5% запас для броньованих кабелів):

$$L_{.к} = 1,1 \cdot L_{.л} + L_{.рпн}, \quad (8)$$

де L_d – довжина лави, км;

$L_{pnn} = 0,02 - 0,03$ км – довжина від лави до розподільного пункту дільниці.

Розрахунок будемо здійснювати для найбільш застосованих на видобувній дільниці трансформаторів потужністю 400, 630, 800 та 1000кВА (тип ТСВП або КТПВ). Технічні характеристики трансформаторів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні дані трансформаторних підстанцій

Найменування показника	Трансформаторна підстанція потужністю, кВА			
	400	630	800	1000
Для напруги з низького боку 660В				
Номінальний струм з високого боку $I_{вн}$, А	38,5	60,6	77	–
Номінальний струм з низького боку $I_{нн}$, А	335	527	670	–
Напруга короткого замкнення $U_{кз}$, %	3,5	3,5	4,5	–
Струм холостого ходу $I_{хх}$, %	2,2	1,5	2,3	–
Втрати холостого ходу $P_{хх}$, Вт	2070	2690	2600	–
Втрати короткого замкнення $P_{кз}$, Вт	3600	4700	7500	–
Для напруги з низького боку 1140В				
Номінальний струм з високого боку $I_{вн}$, А	–	60,6	77	96
Номінальний струм з низького боку $I_{нн}$, А	–	304	385	480
Напруга короткого замкнення $U_{кз}$, %	–	3,5	4,5	4,5
Струм холостого ходу $I_{хх}$, %	–	3,0	2,3	1,4
Втрати холостого ходу $P_{хх}$, Вт	–	2900	2600	2280
Втрати короткого замкнення $P_{кз}$, Вт	–	4900	7500	10250

Струм в магістральному кабелі приймаємо рівним номінальному струму трансформатора з низького боку $I_{нн} = I_m$. Струм в радіальному кабелі приймаємо в залежності від потужності та рівня напруги за формулою:

$$I_k = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}}, \quad (9)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність двигуна комбайна, кВт;

$\cos \varphi_{ном}$ – номінальний коефіцієнт потужності, $\cos \varphi_{ном} = 0,8 - 0,85$.

Якщо в рівнянні (7) виділимо струм споживача та підставимо в рівняння (9), отримаємо наступну залежність:

$$\frac{\Delta U_k}{\sqrt{3} L_k (R_{ко} \cdot \cos \varphi + x_{ко} \cdot \sin \varphi)} = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi}, \quad (10)$$

Після перетворень та з урахуванням того, що $\cos \varphi \approx \sin \varphi \approx 0,7$, отримаємо наступну залежність максимальної довжини комбайнового кабелю від потужності приводних двигунів видобувного комбайна з урахуванням допустимої втрати напруги:

$$L_k = \frac{\Delta U_k \cdot U_{ном}}{P_{ном} \cdot 10^3 \cdot (R_{ко} + x_{ко})}. \quad (11)$$

В таблицях 2 – 4, приведених нижче, представлені розрахункові дані для визначення максимально допустимої за втратою напруги довжини комбайнового кабелю з найбільш розповсюдженими комбайновими двигунами.

Таблиця 2 – Втрати напруги

Найменування показника	Трансформатор потужністю, кВА			
	400	630	800	1000
<i>Для напруги з низького боку 660В</i>				
Втрата напруги в трансформаторі $\Delta U_{тр}$, В	20,68	20,12	20,82	–
Втрата напруги в магістральному кабелі $\Delta U_{л}$, В	1,93	1,79	2,27	–
Допустима втрата напруги в комбайновому кабелі $\Delta U_{к}$, В	40,39	41,09	39,91	–
<i>Для напруги з низького боку 1140В</i>				
Втрата напруги в трансформаторі $\Delta U_{тр}$, В	–	35,2	44,85	45,42
Втрата напруги в магістральному кабелі $\Delta U_{л}$, В	–	2,3	2,22	2,1
Допустима втрата напруги в комбайновому кабелі $\Delta U_{к}$, В	–	79,5	69,93	69,48

Таблиця 3 – Розрахункові дані для визначення максимальної довжини кабелю видобувного комбайна для напруги 660В

Найменування показника	Номінальна потужність двигуна комбайна, кВт					
	105	125	160	200	250	315
Струм в комбайновому кабелі, А	116	145,6	187,5	221	315	395
Перетин жил комбайнового кабелю, мм ²	25	35	50	70	95	2×50
Питомий активний опір кабелю, Ом/км	0,767	0,539	0,394	0,281	0,202	0,197
Питомий реактивний опір кабелю, Ом/км	0,088	0,084	0,081	0,079	0,078	0,04
Допустима довжина кабелю видобувного комбайна при $S_{тр} = 400$ кВА, м	296,9	342,3	350,7	370,2	380,8	356,3
Допустима довжина кабелю видобувного комбайна при $S_{тр} = 630$ кВА, м	302,1	348,2	356,8	376,7	387,4	362,5
Допустима довжина кабелю видобувного комбайна при $S_{тр} = 800$ кВА, м	293,4	338,2	346,6	365,8	376,3	352,1

Таблиця 4 – Розрахункові дані для визначення максимальної довжини кабелю видобувного комбайна для напруги 1140В

Найменування показника	Номінальна потужність двигуна комбайна, кВт					
	150	160	200	250	315	355
Струм в комбайновому кабелі, А	104	110	145	182	228	257
Перетин жил комбайнового кабелю, мм ²	16	25	35	50	70	95
Питомий активний опір кабелю, Ом/км	1,22	0,767	0,539	0,394	0,281	0,202
Питомий реактивний опір кабелю, Ом/км	0,09	0,088	0,084	0,081	0,079	0,078
Допустима довжина кабелю видобувного комбайна при $S_{тр} = 630$ кВА, м	461,3	662,5	727,4	763,3	799,3	911,8
Допустима довжина кабелю видобувного комбайна при $S_{тр} = 800$ кВА, м	405,7	582,8	639,8	671,4	703,1	802,1
Допустима довжина кабелю видобувного комбайна при $S_{тр} = 1000$ кВА, м	403,1	579,1	635,7	667,1	698,6	796,9

На рисунках 1 та 2 приведена графічна залежність отриманих розрахунків максимально допустимої за втратою напруги довжини комбайнового кабелю для рівня напруги 660 та 1140В.

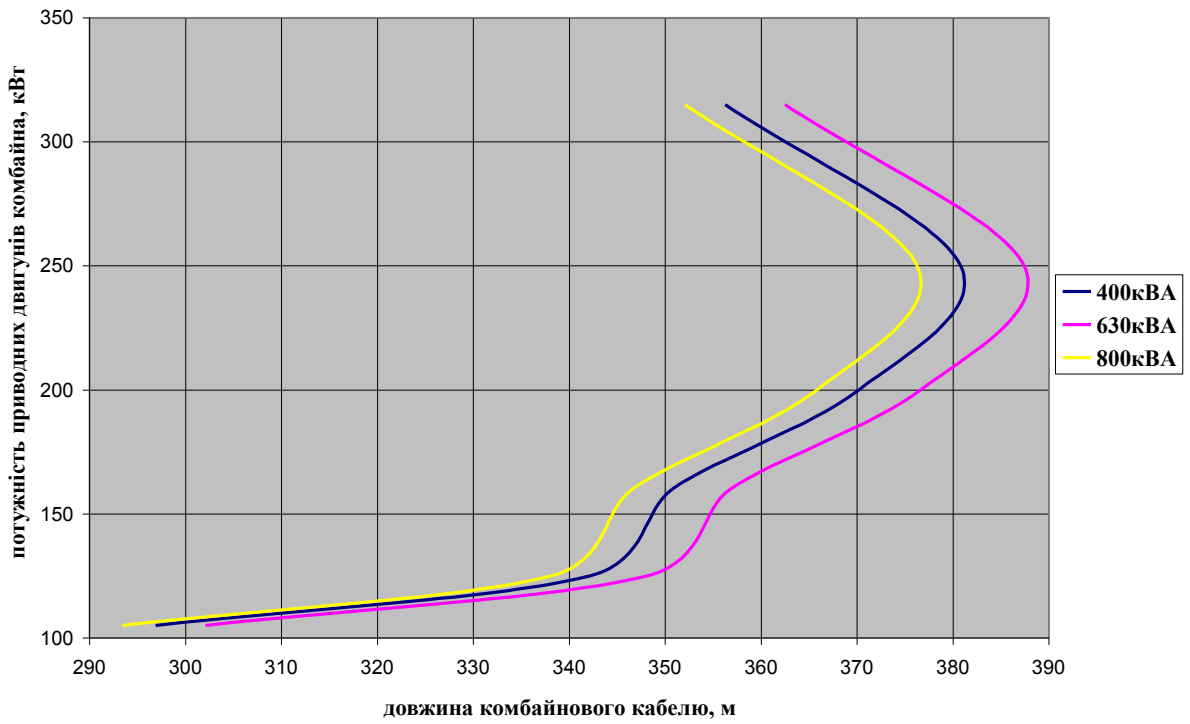


Рисунок 1 – Залежність довжини комбайнового кабелю від потужності приводних двигунів та трансформаторної підстанції дільниці для напруги 660В

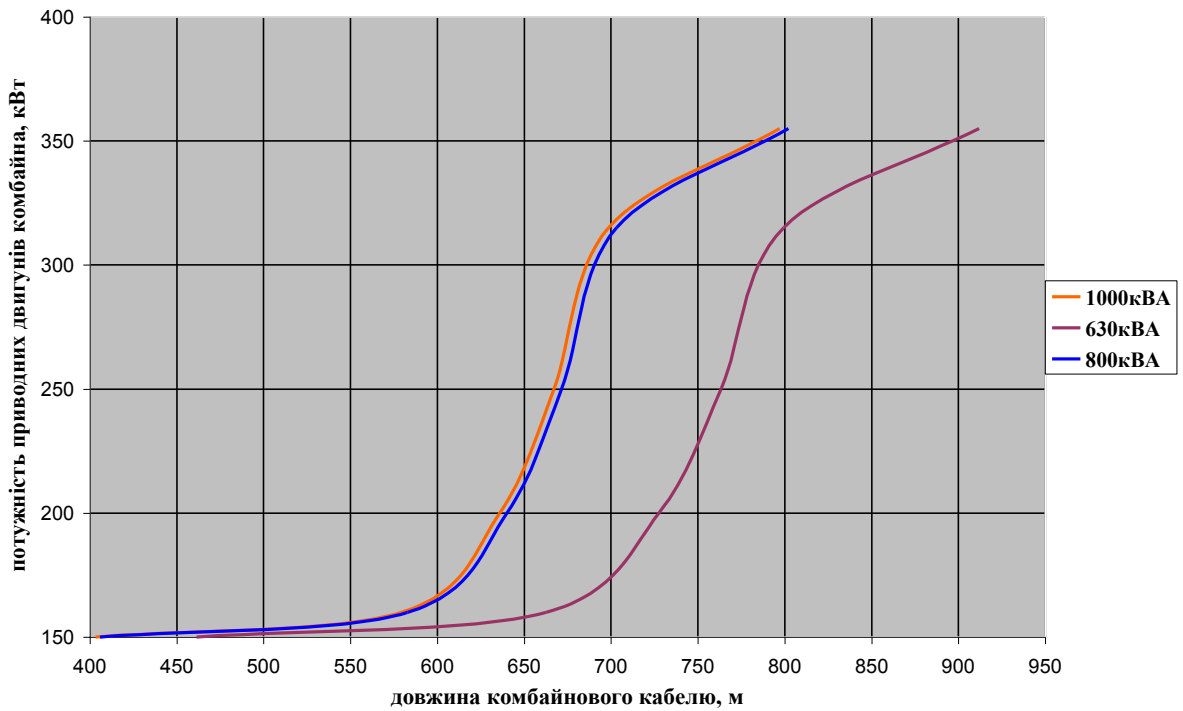


Рисунок 2 – Залежність довжини комбайнового кабелю від потужності приводних двигунів та трансформаторної підстанції дільниці для напруги 1140В

Втрати, розраховані вище та характерні для нормального режиму, значно підвищуються при пусках потужних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором на видобувній дільниці. Напруга при цьому різко падає, обмотки двигунів можуть перегрітися та вийти з ладу. Падіння напруги може бути таким, що контакторні котушки пускачів не зможуть утримувати якір та зв'язані з ним контакти у включеному стані, а електродвигуни не зможуть розвинути достатній обертовий момент. При пуску комбайнових двигунів напруга на їх затискачах повинна бути не менше 80% номінальної напруги електродвигунів. Так для 1140В допустима втрата напруги при пуску – 228В, для 660В – 132В. Мінімальна напруга на затискачах електродвигунів дорівнює: 1140В – 228 = 912В; 660 – 132 = 528В. В такому випадку загальні допустиму втрати напруги при пуску складуть: 1200 – 912 = 288В; 690 – 528 = 162В.

Напруга на затискачах двигуна комбайна в пусковому режимі, як для найбільш потужного та віддаленого електродвигуна визначається:

$$U_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{xx}} - \Delta U_{\text{p}}}{1 + \sqrt{3} \frac{I_{\text{пуск}}}{U_{\text{ном}}} (\sum R \cdot \cos \varphi_{\text{пуск}} + \sum X \cdot \sin \varphi_{\text{пуск}})}, \quad (12)$$

де ΔU_{p} – втрата напруги від решти працюючих двигунів дільниці, В;

$I_{\text{пуск}}$ – пусковий струм двигуна, А;

$\sum R, \sum X$ – відповідно сумарні активні та індуктивні опори трансформаторної підстанції, магістрального і гнучкого кабелів, Ом;

$\cos \varphi_{\text{пуск}}, \sin \varphi_{\text{пуск}}$ – коефіцієнт потужності двигуна під час пуску.

Сумарні активні та індуктивні опори визначаються:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum R = R_{\text{тр}} + R_{\text{м}} + R_{\text{р}} \\ \sum X = X_{\text{тр}} + X_{\text{м}} + X_{\text{р}} \end{array} \right\}, \quad (13)$$

Для зменшення впливу втрат напруги при пуску на сучасній видобувній техніці застосовують: тиристорні станції керування, які здійснюють плавний пуск двигунів; роздільний пуск двигунів; двохшвидкісні двигуни на скребкових конвеєрах (пуск відбувається при потужності в 3 рази менше номінальної). Розрахунок за втратою напруги при пуску здійснюється при пусковому коефіцієнті потужності $\cos \varphi_{\text{пуск}} = 0,5$ для кожного конкретного випадку та виконуватися нами не буде.

Таким чином, більш довгі очисні вибої означають не тільки більшу потужність електроприводу видобувних комбайнів та скребкових конвеєрів, але і більшу напругу живлення видобувного обладнання. При потужностях приводів комбайна більш 200кВт і скребкового конвеєра більш 110кВт, довжині лави понад 250м і відставанні від неї розподільного пункту більш ніж на 100м перехід на електропостачання напругою 1140В – це єдино можливе і ефективне вирішення проблеми енергозабезпечення сучасних високопродуктивних вуглевидобувних комплексів. Тому один з актуальних та перспективних напрямків можливого поліпшення якості енергоживлення забійного високопродуктивного устаткування є перехід на наступну ступінь напруги – 3000В, що вже було впроваджено на зарубіжних гірничих підприємствах. Не останнє місце займає проблема підтримки відповідних рівнів напруги в електричних мережах підземних виробок (особливо при пуску потужних електродвигунів), що сприяє роботі електроприводів та електрообладнання при номінальних параметрах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Медведєв Г.Д. Електрообладнання та електропостачання гірничих підприємств. – М.: Недра, 1988. – 356 с.: іл.
2. Дзюбан В.С., Риман Я.С., Масный А.К. Справочник энергетика угольной шахты. – М.: Недра, 1983.
3. Алексеев Г.М., Алексеенко А.Ф., Гармаш И.Л. Сборник задач по горной электротехнике: Учебник для техникумов. – М.: Недра, 1988, 271с.: ил.
4. Яцкіх В.Г., Спектор Л.А., Кучерявий А.Г. Гірничі машини та комплекси. Під ред. В.Г. Яцкіх. – М.: Недра, 1984. – 400с.
5. Солод В.І., Зайков В.І., Первов К.М. Гірничі машини та автоматизовані комплекси: Підручник для вузів. – М., Недра, 1981, 503с.