Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. XXXV, вып. 1, 1957 г.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

А. С. Сергеев

В социалистической угольной промышленности — одной из высокомеханизированных и электрифицированных отраслей народного хозяйства — снижение потерь и экономия электрической энергии могут достигать огромных размеров.

Так, например, в результате повышения коэффициента мощности централизованной компенсацией (искусственным путем), а также изъятия завышенной мощности электродвигателей и трансформаторов по Министерству угольной промышленности в 1950 г. было сэкономлено 25,6 млн. *квт-ч*, а в 1952 г. — 74,4 млн. *квт-ч* электроэнергии.

Основной целью повышения $\cos\varphi$ является улучшение технико-экономических показателей электроснабжения за счет уменьшения реактивных нагрузок электрических сетей и трансформаторов.

До настоящего времени компенсация реактивной мощности на шахтах ограничивается поверхностной подстанцией, т. е. осуществляется централизованным путем. Централизованная компенсация, разгружая энергосистему от потоков реактивной мощности, дает значительную экономию электрической энергии. Однако внутришахтная сеть от реактивной мощности при этом не разгружается и потери электроэнергии в ней не уменьшаются.

При проектировании компенсирующих устройств, в частности конденсаторных установок, следует исходить из получения максимальной экономии электроэнергии не только в энергосистеме, но и во внутришахтных электрических сетях. Это возможно лишь при рациональном размещении конденсаторов во внутришахтных сетях.

Полная потеря активной энергии

$$W = \left(\frac{P^2}{U^2} R' + \frac{Q^2}{U^2} R'\right) T\, 10^{-3},\ \textit{квт-ч}, \qquad (1)$$

где P — средняя активная мощность, *квт*;
Q — средняя реактивная мощность, *квар*;
U — линейное напряжение, *кв*;
R' — суммарное, приведенное к напряжению U, активное сопротивление сети от места установки приемника до источника питания, *ом*;
T — число часов работы установки в год, час.

При повышении коэффициента мощности, т. е. уменьшении реактивной нагрузки, активная нагрузка изменяется (уменьшается) незначительно. Поэтому первый член правой части равенства без ущерба для практики можно считать постоянным.

Сокращение циркулирующей в электрической сети реактивной мощности, вызванное увеличением коэффициента мощности, вызывает уменьшение второго члена равенства (1).

Рассматривая лишь переменную составляющую активных потерь

$$\frac{Q^2}{U^2} R' T 10^{-3}, \ квт\text{-}ч,$$

исследуем вопросы размещения конденсаторов в электрических сетях шахт при радиальной схеме электроснабжения.

1. Размещение конденсаторов при радиальной схеме электроснабжения

Пусть шахта потребляет реактивную мощность $Q_{общ}$ и для повышения коэффициента мощности к шинам высокого напряжения главной поверхностной подстанции подключена батарея силовых конденсаторов (БСК) мощностью $Q_{с.\,ц}$.

Для дополнительной экономии электроэнергии за счет снижения потерь во внутришахтной сети осуществляется дробление батареи статических конденсаторов и размещение конденсаторов по пунктам потребления реактивной мощности.

Пусть Q_1, Q_2 и Q_3 — потребляемые соответственно в пунктах 1, 2 и 3 реактивные мощности и R_1, R_2 и R_3 — сопротивления кабельных линий, питающих эти пункты.

Требуется распределить БСК мощностью $Q_{с.\,ц}$ между пунктами 1, 2 и 3 таким образом, чтобы при соблюдении уравнения

$$Q_{с.\,ц} = Q_{c_1} + Q_{c_2} + Q_{c_3}, \tag{2}$$

где Q_{c_1}, Q_{c_2} и Q_{c_3} — мощности БСК, устанавливаемых соответственно в пунктах 1, 2 и 3,

и равенства

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \tag{3}$$

достигалась максимальная экономия электрической энергии во внутришахтной сети.

Потери активной энергии во внутришахтной сети до размещения в ней конденсаторов

$$W_1 = Q_1^2 \frac{R_1}{U_1^2} T_1 + Q_2^2 \frac{R_2}{U_2^2} T_2 + Q_3^2 \frac{R_3}{U_3^2} T_3, \tag{4}$$

после размещения конденсаторов

$$W_2 = (Q_1 - Q_{c_1})^2 \frac{R_1}{U_1^2} T_1 + (Q_2 - Q_{c_2})^2 \frac{R_2}{U_2^2} T_2 + \\ + (Q_3 - Q_{c_3})^2 \frac{R_3}{U_3^2} T_3. \tag{5}$$

Вычитая W_2 из W_1, после несложных преобразований получаем

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 2Q_1Q_{c_1}\frac{R_1}{U_1^2}T_1 - Q_{c_1}^2\frac{R_1}{U_1^2}T_1 +$$

$$+2Q_2Q_{c_2}\frac{R_2}{U_2^2}T_2 - Q_{c_2}^2T_2\frac{R_2}{U_2^2} + 2Q_3Q_{c_3}\frac{R_3}{U_3^2}T_3 - Q_{c_3}^2\frac{R_3}{U_3^2}T_3. \qquad (6)$$

Для наибольшей экономии, как известно, необходимо соблюдение следующих условий:

$$\frac{\partial\Delta W}{\partial Q_{c_1}} = \frac{\partial\Delta W}{\partial Q_{c_2}} = \frac{\partial\Delta W}{\partial Q_{c_3}} = 0, \qquad (7)$$

т. е.

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial\Delta W}{\partial Q_{c_1}} &= Q_1T_1\frac{R_1}{U_1^2} - Q_{c_1}T_1\frac{R_1}{U_1^2} = 0\\ \frac{\partial\Delta W}{\partial Q_{c_2}} &= Q_2T_2\frac{R_2}{U_2^2} - Q_{c_2}T_2\frac{R_2}{U_2^2} = 0\\ \frac{\partial\Delta W}{\partial Q_{c_3}} &= Q_3T_3\frac{R_3}{U_3^2} - Q_{c_3}T_3\frac{R_3}{U_3^2} = 0\end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Решение этой системы уравнений дает оптимальные значения для Q_{c_1}, Q_{c_2} и Q_{c_3}.

Практически соблюдение равенств

$$Q_{c_1} = Q_1; \quad Q_{c_2} = Q_2; \quad Q_{c_3} = Q_3,$$

т. е. выполнение условий полной компенсации в большинстве случаев невозможно, так как $Q_{\text{сц}} < Q_{\text{общ}}$.

Учтя указанное, ограничимся рассмотрением[1] двух уравнений

$$\left.\begin{aligned}Q_{c_2} &= Q_2 - (Q_1 - Q_{c_1})\frac{T_1R_1U_2^2}{U_1^2T_2R_2}\\ Q_{c_3} &= Q_3 - (Q_1 - Q_{c_1})\frac{T_1R_1U_3^2}{U_1^2T_3R_3}\end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

полученных из системы уравнений (8) путем выражения Q_{c_2} и Q_{c_3} через Q_{c_1}.

Сложив левые и правые части уравнений (9) с тождеством

$$Q_{c_1} = Q_1 - (Q_1 - Q_{c_1})\frac{T_1R_1U_1^2}{T_1R_1U_1^2},$$

после приведения активных сопротивлений R_1, R_2 и R_3 к общему напряжению U, и учтя уравнение (2) и равенство (3), получим формулу для определения

$$Q_{c_1} = Q_1 - \frac{(Q_{\text{общ}} - Q_{\text{с. п}})}{T_{c_1}\sum_{i=1}^{i=3}A_i}q_1, \qquad (10)$$

[1] Эту задачу можно решить методом постоянных множителей Лагранжа.

где $\sum_{i=1}^{i=3} A_i = \frac{q_1}{T_{c_1}} + \frac{q_2}{T_{c_2}} + \frac{q_3}{T_{c_3}}$ — постоянный для данной схемы коэффициент;

q_1, q_2 и q_3 — приведенные к напряжению U проводимости.

Проделав аналогичные преобразования, можно получить соответствующие формулы для определения величин Q_{c_2} и Q_{c_3}

$$\left.\begin{aligned} Q_{c_2} &= Q_2 - \frac{(Q_{\text{общ}} - Q_{\text{с. ц}})}{T_{c_2} \sum_{i=1}^{i=3} A_i} q_2 \\ Q_{c_3} &= Q_3 - \frac{(Q_{\text{общ}} - Q_{\text{с. ц}})}{T_{c_3} \sum_{i=1}^{i=3} A_i} q_3 \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Формулы (10) и (11) соответствуют схемам с тремя радиальными ответвлениями. При наличии схемы с n ответвлениями можно определить мощность БСК

$$Q_{cj} = Q_j - \frac{(Q_{\text{общ}} - Q_{\text{сц}})}{T_{cj} \sum_{i=1}^{i=n} A_i} q_{j(j=1,\ 2,\ 3,\ \ldots,\ n)}. \qquad (12)$$

Размещение конденсаторов, согласно формуле (12), будет соответствовать минимуму потерь электрической энергии в радиальной системе, имеющей n ответвлений.

Заметим, что предлагаемая формула свободна от недостатков графического метода, рекомендуемого Госэнергонадзором [1], и недостатков формулы, предлагаемой В. С. Листвиным и К. А. Парфеновым [2].

Формулы В. С. Листвина и К. А. Парфенова так же, как и графический метод Госэнергонадзора, пригодны лишь для частного случая, когда число часов использования конденсаторов одинаково. Число часов работы для отдельных групп электроприемников шахт различно. Поэтому при размещении конденсаторов в электрических сетях шахт следует ориентироваться не на максимум экономии мощности, а на максимум экономии электроэнергии.

Пример. При активной нагрузке 2280 *квт* шахта имеет $\cos\varphi = 0{,}75$. Энергоснабжающая организация рекомендует увеличить общешахтный коэффициент мощности до 0,97, для чего потребуются конденсаторы мощностью 1460 *квар*.

Предполагается установка высоковольтных конденсаторов общей мощностью 870 *квар* у пяти участковых подстанций (табл. 1).

Таблица 1

Номер участковой подстанции	Питающий кабель: длина, *м*	Питающий кабель: активное сопротивление, *ом*	Активная нагрузка, *квт*	Реактивная нагрузка, *квар*	Коэффициент мощности	Число часов работы в год, час.	Проводимость
1	1625	1,15	241	281	0,67	6500	0,870
2	3500	2,48	252	271	0,70	4400	0,403
3	2650	1,85	270	252	0,75	4400	0,541
4	3800	2,70	288	228	0,80	6500	0,371
5	3000	2,12	216	288	0,60	5000	0,472
			1267	1320			2,65

Расчет. Постоянный коэффициент

$$\sum_{i=1}^{i=5} A_i = \frac{q_1}{T_{c_1}} + \frac{q_2}{T_{c_2}} + \frac{q_3}{T_{c_3}} + \frac{q_4}{T_{c_4}} + \frac{q_5}{T_{c_5}} =$$

$$= \frac{0{,}87}{6500} + \frac{0{,}4}{4400} + \frac{0{,}54}{4400} + \frac{0{,}37}{6500} + \frac{0{,}47}{5000} = 488 \cdot 10^{-6}.$$

Мощность конденсаторов, устанавливаемых у участковой подстанции № 1

$$Q_{c_1} = Q_1 - \frac{(Q_{\text{общ}} - Q_{\text{сп}})}{T_{c_1} \sum_{i=1}^{i=5} A_i} q_1 =$$

$$= 281 - \frac{(1320 - 840)}{6500 \cdot 488 \cdot 10^{-6}} 0{,}84 = 150 \text{ } \textit{квар}.$$

Потеря энергии до установки БСК на участковой подстанции № 1

$$W_1 = Q_1^2 T_{c_1} \frac{R_1'}{U_1^2} 10^{-3} = \frac{281^2}{10^3} \frac{1 \cdot 15}{36} 6500 = 16\,400 \text{ } \textit{квт-ч}.$$

Экономия энергии после установки БСК на участковой подстанции № 1

$$\Delta W_1 = \frac{R_1'}{U_1^2} (2 Q_1 Q_{c_1} - Q_{c_1}^2) T_{c_1} 10^{-3} =$$

$$= \frac{1 \cdot 15}{6^2} (2 \cdot 281 \cdot 150 - 145^2) 6500 \cdot 10^{-3} = 14950 \text{ } \textit{квт-ч}.$$

Результаты расчетов по остальным участковым подстанциям, а также средневзвешенные значения коэффициента мощности после компенсации приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номер участковой подстанции	Потери до установки конденсатора		Мощность конденсатора, *квар*	Экономия после установки конденсатора		Коэффициент мощности после установки конденсатора
	мощность, *квт*	энергия, *квт-ч*		мощность, *квт*	энергия, *квт-ч*	
1	2,52	16 400	150	2,300	14 950	0,879
2	5,08	22 200	180	4,470	19 700	0,941
3	3,27	14 400	140	2,625	11 550	0,924
4	3,91	25 400	170	3,630	23 800	0,966
5	4,90	19 600	200	4,430	22 200	0,926
	19,68	98 000	840	17,405	92 200	

Как показывает анализ полученных результатов, размещение конденсаторов у участковых подстанций в данном примере дает 92 200 *квт-ч* дополнительной экономии электрической энергии.

2. Сравнение различных вариантов децентрализованной компенсации

Разгрузка шахтных электрических сетей от реактивной мощности может быть осуществлена групповой компенсацией высоковольтными и низковольтными конденсаторами и индивидуальной компенсацией низковольтными конденсаторами.

Исполнение того или иного варианта установки БСК, определяемое различием в схеме электроснабжения, условием взрывобезопасности и другими эксплуатационными особенностями, для различных шахт различно.

Разгрузка шахтных сетей от реактивной мощности может быть осуществлена путем подключения БСК к сетям высокого или низкого напряжения. Известно, что независимо от места установки и применяемых высоковольтных или низковольтных конденсаторов экономичность варианта определяется размерами первоначальных затрат и ежегодных эксплуатационных расходов, с одной стороны, и получением максимального снижения потерь электроэнергии в сетях, с другой.

Первоначальные затраты включают расходы, связанные с приобретением, доставкой и монтажем конденсаторов, а ежегодные расходы объединяют затраты, связанные с эксплуатацией установки (потери в конденсаторах и расходы на ремонт). Потери в высоковольтных и низковольтных конденсаторах почти одинаковы, а расходы, связанные с ремонтом и амортизацией низковольтных конденсаторов, несколько (на 2—3%) меньше, чем у высоковольтных. Первоначальные же затраты (при одинаковой мощности) для низковольтных конденсаторов больше примерно в два раза, чем для высоковольтных, и почти не меняются с изменением места установки. С изменением места установки также незначительно изменяются и ежегодные эксплуатационные расходы.

Следовательно, сравнение различных вариантов компенсации конденсаторами (групповая, индивидуальная) может быть сведено к технико-экономическому сравнению компенсаций высоковольтными и низковольтными конденсаторами.

Компенсация высоковольтными конденсаторами

Для увеличения мощности на шинах поверхностной подстанции с $\cos\varphi_1$ до $\cos\varphi_2$ требуется батарея высоковольтных конденсаторов мощностью

$$Q_{с.в} = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \qquad (13)$$

где $Q_{с.в}$ — мощность батареи конденсаторов, *квар*;

P — средняя активная нагрузка шахты, *квт*;

$\operatorname{tg}\varphi_1$ и $\operatorname{tg}\varphi_2$ — тангенсы, соответствующие начальным и конечным значениям коэффициента мощности.

Зная, что в пределах от 0,66 до 0,94 зависимость между $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$ почти линейная, т е.

$$\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1 = \lambda(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$$

($\lambda = 0{,}36$), формуле (13) для определения мощности высоковольтных конденсаторов централизованной компенсации можно придать вид

$$Q_{\text{с. в}} = \frac{P}{\lambda}(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1). \qquad (14)$$

Ежегодные эксплуатационные расходы с учетом стоимости приобретения, доставки, монтажа и ремонта БСК определяются зависимостью

$$P_{\text{экс}} = \alpha_{\text{в}} k_{\text{с. в}} Q_{\text{с. в}}, \qquad (15)$$

где $P_{\text{экс}}$ — ежегодные эксплуатационные расходы на ремонт и амортизацию высоковольтных конденсаторов, руб.;

$\alpha_{\text{в}}$ — ежегодные отчисления на ремонт и амортизацию высоковольтных конденсаторов ($\alpha_{\text{в}} = 0{,}16$);

$k_{\text{с. в}}$ — удельная стоимость высоковольтных конденсаторов с установкой, *руб/квар*.

Годовые затраты на потерях электрической энергии в конденсаторах прямо пропорциональны мощности

$$P_{\text{э. н}} = \Delta P_{\text{в}} Q_{\text{с. в}} T_{\text{с. в}}\, a, \text{ руб.}, \qquad (16)$$

где $\Delta P_{\text{в}}$ — удельные потери активной мощности в высоковольтных конденсаторах ($\Delta P_{\text{в}} = 0{,}003$);

a — стоимость 1 *квт-ч* электрической энергии ($a = 0{,}15$), руб.;

$T_{\text{с. в}}$ — число часов работы конденсаторной установки в год, час.

Экономия вследствие уменьшения потерь в питающей шахту электрической сети

$$Э_{\text{э. н}} = (2Q_{\text{в}}Q_{\text{с. в}} - Q^2_{\text{с. в}})\frac{R'}{U^2} T_{\text{с. в}} a 10^{-3}, \text{ руб.}, \qquad (17)$$

где $Q_{\text{в}}$ — реактивная нагрузка на шинах поверхностной подстанции шахты, *квар*;

R' — приведенное к напряжению U активное сопротивление питающей шахту электрической сети, *ом*.

Считается, что шкала скидок и надбавок не влияет на себестоимость 1 *т* добытого угля и, следовательно, ни в какой мере не влияет на экономичность установки. Тогда полная экономия, определяемая как сумма отдельных затрат по компенсации и экономии на уменьшении потерь,

$$Э = Э_{\text{э. н}} - P_{\text{экс}} - P_{\text{э. н}} \qquad (18)$$

или, учитывая формулы (15), (16) и (17),

$$Э = (2Q_{\text{в}}Q_{\text{с. в}} - Q^2_{\text{с. в}})\frac{R'}{U^2} T_{\text{с. в}} a 10^{-3} - (\alpha_{\text{в}} k_{\text{с. в}} + \Delta P_{\text{в}} T_{\text{с. в}} a) Q_{\text{с. в}}, \text{ руб.} \qquad (19)$$

Для определения мощности конденсаторов, дающей максимальную экономию, необходимо продифференцировать уравнение (19) по $Q_{\text{с. в}}$ и первую производную приравнять нулю, т. е.

$$\frac{dЭ}{dQ_{\text{с. в}}} = 2(Q_{\text{в}} - Q_{\text{с. в}})\frac{R'}{U^2} T_{\text{с. в}} a 10^{-3} - \alpha_{\text{в}} k_{\text{с. в}} - \Delta P_{\text{в}} T_{\text{с. в}} a = 0. \qquad (20)$$

Отсюда экономическая мощность батареи силовых конденсаторов централизованной компенсации

$$Q_{с.в} = Q_в - \frac{(\alpha_в k_{с.в} + \Delta P_в T_{с.в} a)\, U^2}{2R' Ta} 10^3, \text{ квар.} \quad (21)$$

Таким образом, экономическая мощность БСК централизованной компенсации, определяемая реактивной нагрузкой шахты, зависит от удельной стоимости высоковольтных конденсаторов, от сопротивления питающей шахту электрической сети и от продолжительности использования установленной мощности конденсаторов.

При сравнении вариантов групповой компенсации высоковольтными конденсаторами и централизованной компенсации следует исходить из того, что дополнительные эксплуатационные расходы на ремонт и амортизацию, вызванные децентрализацией, компенсировались дополнительной экономией электроэнергии в сети от места установки БСК до поверхностной подстанции шахты.

На основании изложенного экономичная мощность батареи высоковольтных конденсаторов при групповой компенсации

$$Q_{с.в} = Q_в - \frac{\alpha_в \Delta k_{с.в} U^2}{2R' T_{с.в} a} 10^3, \quad (22)$$

где $Q_в$ — реактивная нагрузка в месте установки групповой компенсации, *квар*;

$\Delta k_{с.в}$ — прирост удельной стоимости конденсаторов, вызванный дополнительными затратами на децентрализацию и взрывобезопасное исполнение, если конденсаторы устанавливаются в шахтах, опасных по газу или пыли.

Учитывая известные значения $\alpha_в$ и a, формулу (22) можно написать иначе

$$Q_{с.в} = Q_в - \mu \frac{\Delta k_{с.в}}{R'}, \quad (23)$$

где μ — постоянный расчетный коэффициент для различных напряжений и чисел часов использования установки БСК (табл. 3)

Таблица 3

Напряжение, *кв*	Число смен		
	1	2	3
10	25,4	13,8	10,3
6	9,17	5	3,67
3	2,29	1,25	0,92

Пример. Участковая подстанция одной из шахт Кузбасса, состоящая из двух параллельно работающих трансформаторов мощностью 180 *кв* каждый, снабжается электроэнергией по кабелю марки СБГ 3×25 *мм*^{2} длиной 1100 *м*.

Пусть коэффициент мощности подстанции равен 0,7, стоимость активной энергии 0,12 руб. за 1 *квт-ч* и дополнительные удельные расходы составляют 100 *руб/квар*.

Тогда при двухсменной работе экономичная мощность БСК, согласно формуле (23), равна 125 *квар* и экономия на снижении потерь составит 3200 руб. в год, т. е. установка окупается за 3,9 года.

Приведенный пример отражает далеко не полностью все возможности децентрализации высоковольтных конденсаторов в шахтной электросети. Подсчеты показывают, что установка конденсаторов 3 и 6 *кв* у участковых подстанций, отдаленность которых от поверхностной подстанции свыше 2000 *м* и реактивная нагрузка не менее 250 *квар*, в большинстве случаев экономична.

Компенсация низковольтными конденсаторами

Аналогично выражению (19), для определения экономии при групповой компенсации низковольтными конденсаторами, получим формулу

$$Э = (2Q_н Q_{с.н} - Q^2_{с.н}) \frac{R'}{U^2} T_{с.н} a 10^{-3} - (\alpha_н k_{с.н} - \alpha_в k_{с.в}) Q_{с.н}, \text{ руб.}, \quad (24)$$

где $Q_н$ — реактивная нагрузка группы низковольтных приемников, *квар*;

$Q_{с.н}$ — мощность низковольтных конденсаторов групповой компенсации, *квар*;

R' — сопротивление линии от места установки БСК низкого напряжения до поверхностной подстанции, *ом*;

$T_{с.н}$ — число часов использования низковольтных конденсаторов в год, час.;

$\alpha_н$ — ежегодные отчисления на ремонт и амортизацию низковольтных конденсаторов ($\alpha_н = 0{,}14$);

$k_{с.н}$ — удельная стоимость взрывобезопасного конденсатора низкого напряжения, *руб/квар*.

Из формулы (24) после несложных преобразований можно получить выражение экономичной мощности низковольтных конденсаторов, соответствующее максимальной экономии

$$Q_{с.н} = Q_н - \frac{(\alpha_н k_{с.н} - \alpha_в k_{с.в}) U^2}{2R' T_{с.н} a} 10^{-3}, \text{ квар}. \quad (25)$$

При применении смешанной компенсации возникает необходимость определения оптимальной мощности конденсаторов централизованной компенсации и суммарной мощности конденсаторов, размещаемых во внутришахтной сети.

Определение суммарной мощности конденсаторов, размещаемых во внутришахтной сети, целесообразно производить в следующем порядке. Вначале, согласно формулам (23) или (25), определяются экономичные мощности батареи конденсаторов самых отдаленных и имеющих большие реактивные нагрузки пунктов, а затем, с постепенным уменьшением области выбора, проверяется экономичность установки БСК для близлежащих к поверхностной подстанции точек. Суммируя найденные таким образом мощности БСК, определяем общую мощность конденсаторов, размещенных во внутришахтной сети.

Оптимальная мощность конденсаторов централизованной компенсации определяется как разность мощности БСК, найденной согласно формуле (21), и мощности конденсаторов, размещенных во внутришахтной сети.

Исполнение того или иного варианта установки БСК, определяемое различием в схеме электроснабжения, условием взрывобезопасности и другими эксплуатационными особенностями, для различных шахт раз-

лично. Экономичность того или иного варианта определяется в основном сроком окупаемости дополнительных затрат [1]. Вариант считается экономичным, если срок окупаемости дополнительных затрат меньше 5 лет.

Пример. Пусть в первом примере прирост удельной стоимости конденсаторов, вызванный дополнительными затратами на децентрализацию и взрывобезопасное исполнение, равен 50 *руб/квар*. Тогда при ежегодных отчислениях на ремонт и амортизацию высоковольтных конденсаторов $\alpha_в$, равных 0,16, и стоимости 1 *квт-ч* электрической энергии a, равной 0,15 *руб/квт-ч*, согласно формуле (22), для участковой подстанции № 1 имеем

$$Q_{c_1} = Q_1 - \frac{\alpha_в \Delta k_{с.в} U^2}{2R' T_{c_1} a} 10^3 = 281 - \frac{0{,}16 \cdot 50 \cdot 36 \cdot 10^3}{2 \cdot 1{,}15 \cdot 6500 \cdot 0{,}15} = 152{,}5 \approx 150 \text{ квар}.$$

Установка окупается за

$$n_1 = \frac{Q_{c_1} \Delta k_{с.в}}{\Delta W_1 a} = \frac{150 \cdot 50}{14950 \cdot 0{,}15} = 3{,}33 \text{ года}.$$

Расчеты для остальных участковых подстанций дают одинаковые с приведенными в табл. 2 значениями Q_c, а также показывают, что срок окупаемости для всех конденсаторных установок меньше пяти лет. Поэтому на основании изложенного в первом примере следует отдать предпочтение варианту децентрализованной компенсации высоковольтными конденсаторами, которые устанавливаются на участковых подстанциях.

Порядок определения экономичности варианта компенсации низковольтными конденсаторами мало отличается от варианта компенсации высоковольтными конденсаторами.

Выводы

1. Размещение конденсаторов в электрических сетях шахт должно быть подчинено условию получения максимальной экономии электроэнергии.
2. В каждом отдельном случае вариант децентрализованной компенсации следует выбирать на основе технико-экономических расчетов.
3. Необходимо перед отечественными заводами поставить вопрос об изготовлении специальных конденсаторов в рудничном исполнении.

Использованная литература

1. Справочник электрика промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1954.
2. Листвин В. С. и Парфенов К. А. Распределение конденсаторов в электрической сети. «Промэнергетика», 1952, № 12.