

tipo Girón, que permiten su suspensión, de acuerdo a la Figura 2;

- la colocación de las lámparas fluorescentes en las edificaciones del tipo Girón puede ser analizada para incluirse en las Normas Cubanas.

REFERENCIAS

CHULKOV, N. N.: Electrificación de las minas a cielo abierto en tareas y ejemplos. Ed. Nedra, Moscú, 1976.

POSIBILIDADES DE AHORRO DE ENERGIA MEDIANTE LA RACIONALIZACION DEL ESQUEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO EN LA EMPRESA 'COMANDANTE PEDRO SOTTO ALBA'

RESUMEN

En el trabajo se analiza el esquema de suministro eléctrico de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba" con el objeto de revelar reservas que permiten la disminución de los costos y el ahorro de energía, así como el incremento del aprovechamiento de las capacidades existentes.

Los resultados permiten hacer recomendaciones racionalizadoras prácticamente sin inversiones, que disminuyen las pérdidas de energía eléctrica, mejoran el factor de potencia y crean reservas reales de las potencias de transformación.

У.Д.К. 621.22:621.3/621.316.3(629.16)

ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ ПУТЁМ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ СХЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОМБИНАТА ИМ. ПЕДРО СОТО АЛЬБА

Резюме

В работе анализируется схема электроснабжения комбината им. Педро Сото Альба с целью выявления резервов, направленных на снижение стоимости и экономии энергии а также на улучшение использования существующих мощностей.

Полученные результаты позволяют предложить рекомендации практически без дополнительных затрат, обеспечивающие уменьшение потерь электрической энергии, повышающие коэффициент мощности и создающие реальные резервы мощностей трансформаторов.

POSIBILIDADES DE AHORRO DE ENERGIA MEDIANTE
LA RACIONALIZACIÓN DEL ESQUEMA DE SUMINISTRO
ELECTRICO EN LA EMPRESA
"COMANDANTE PEDRO SOTTO ALBA"

Ing. Rafael Pérez Barreto
Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas
Profesor Titular del ISMMMoA

Ing. Svetlana Maliuk
Asistente J'Dpto. Electromecánica del ISMMMoA

La generación de la energía eléctrica, su transmisión y distribución entre diferentes talleres de las empresas industriales se realiza, por lo general, con corriente alterna trifásica de alta tensión. Los consumidores de potencia pequeña y media necesitan durante su trabajo la energía eléctrica de baja tensión o reducida, por lo que en el proyecto y durante la ejecución de los sistemas de suministro eléctrico-industriales se prevé la instalación de transformadores de fuerza.

En la Empresa Niquelífera "Comandante Pedro Sotto Alba" de Moa, la energía eléctrica generada en la planta con la tensión de 13,8 kV se distribuye entre los talleres con ayuda de 18 subestaciones eléctricas con 53 transformadores de fuerza con la tensión primaria de 13,8 kV y la tensión secundaria de 6,3; 4,16; 2,4 y 0,48 kV con potencia de 26; 300; 400; 500; 750; 1 000; 1 500; 1 600 y 1 700 kVA, en correspondencia con la tensión nominal que utilizan los consumidores de alta y baja tensión.

La planta eléctrica cuenta con tres turbogeneradores (de fabricación norteamericana) con potencia nominal de 7 500 kVA. Cada uno de los generadores trabaja para su barra eléctrica de cada una de las cuales se alimentan las líneas de distribución de tensión 13,8 kV realizadas con

cables soterrados y líneas aéreas. De tal forma que, por lo general, se encuentran dos máquinas trabajando y una en reserva.

El sistema de suministro eléctrico de la Empresa Niquelífera prevé la alimentación de las tres barras independientemente de la desconexión de uno u otro generador con ayuda de los disyuntores de alta tensión que seccionan (unen) las barras entre sí. La energía eléctrica se suministra a los transformadores de fuerza por las redes maestras unidas rígidamente con los transformadores en el caso de las líneas soterradas y a través de los desconectores (cuchillas de alta tensión) en los casos de las líneas aéreas. Este esquema ha sido explotado exitosamente y con alta fiabilidad durante años por el personal técnico de la empresa que ha acumulado gran experiencia en el servicio energético y ha garantizado el trabajo ininterrumpido de la misma, lo que constituye uno de los principales logros.

La imperiosa necesidad de ahorro, determinada por la situación económica actual, plantea la tarea de profundizar en el análisis del trabajo del servicio energético con el objeto de revelar aquellas reservas que, sin afectar la estabilidad y calidad del suministro, permitan disminuir los costos de producción de la energía eléctrica, en particular el consumo de combustible, e incrementar la capacidad de producción sin grandes inversiones.

En el presente trabajo se analiza el sistema de suministro eléctrico interno de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba" con el objeto de detectar posibles reservas y elaborar recomendaciones de sencilla aplicación con efecto económico de alcance inmediato, en particular relacionadas con los transformadores de fuerza y su carga.

El análisis del esquema de suministro eléctrico muestra que este es muy rígido con muy pocas posibilidades operativas para la conexión y la desconexión de los transformadores de fuerza que se encuentran subcargados. En algunos casos se han detectado transformadores de 1 000 kVA, instalados en la planta que permanecen conectados a la red en el régimen de vacío durante un período prolongado.

Un cálculo simple muestra que sólo la desconexión de dos de esos transformadores garantiza a la empresa un ahorro anual de energía eléctrica de 277 248 kWh y 66, 5 t de combustible como mínimo a razón de 306 g/kWh.

La desconexión de los transformadores subutilizados o que se encuentran trabajando en régimen de vacío es fácil de realizar mediante la instalación de la parte primaria del transformador de desconectores.

La práctica de la explotación de tales esquemas en la Unión Soviética [2] y [4] muestra que los desconectores sustituyen con éxito los disyuntores de alta tensión mucho más costosos, en los casos en que existe la posibilidad de desconectar la carga del transformador en la parte de la tensión secundaria que permite posteriormente realizar su separación de la red en el régimen de vacío.

La carga instalada de la empresa constituye cerca de 15 448 kVA.

El análisis de los gráficos de carga durante dos años, 1981 y 1982, muestra que la carga promedio de la empresa se encuentra alrededor de 10 400 kW y alcanza la carga máxima de 128 000 kW sólo durante 16-24 horas al año. El factor de potencia máxima alcanzado es igual a 0,83 [3]. El gráfico de carga anual, por tiempo de duración de la demanda en el año, de la Empresa Niquelífera "Comandante Pedro Sotto Alba" de Moa se muestra en la Figura 1.

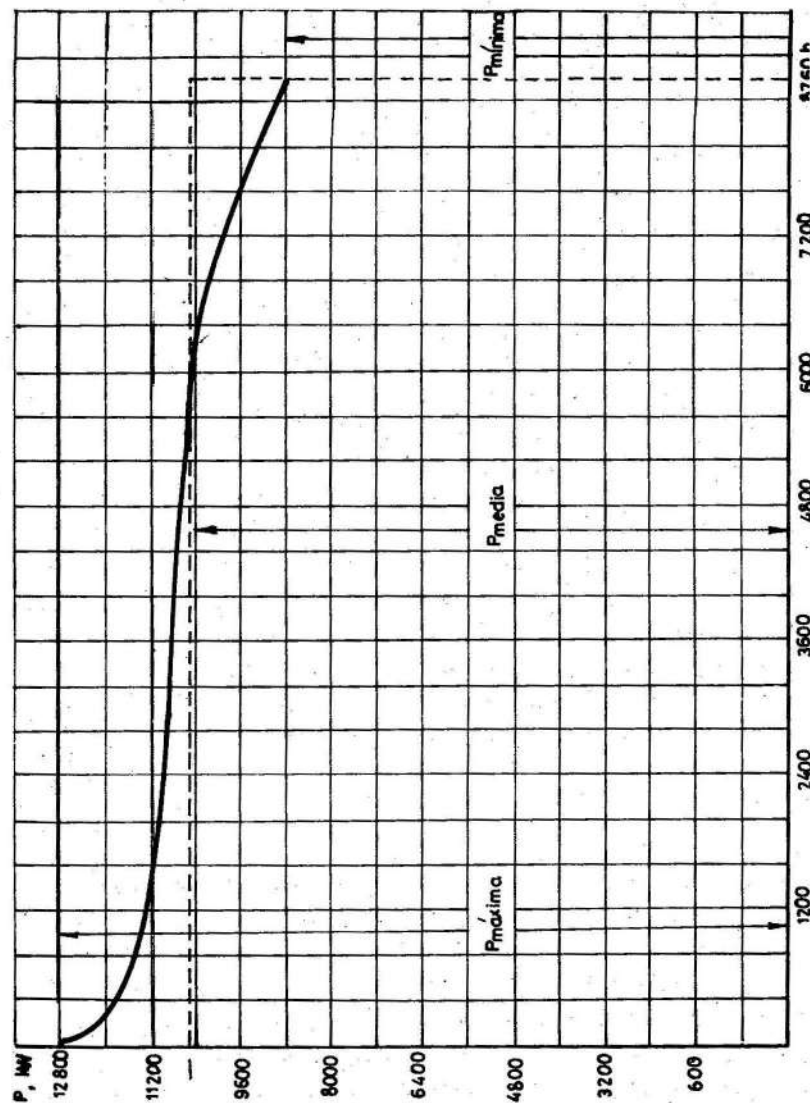


Fig. 1. Carga anual por tiempo de duración de demanda.

El hecho de que la potencia de carga media de la empresa de 10 400 kW esté asegurada con la instalación de transformadores con 44 126 kVA de potencia, excesivamente grande, ha determinado el presente análisis que muestra las posibilidades de ahorrar la energía eléctrica y por lo tanto el combustible sólo mediante la racionalización de la carga de los mismos.

Desde el punto de vista de la carga eléctrica todos los transformadores de la empresa pueden dividirse en tres grupos de acuerdo al coeficiente de carga, que constituye la relación entre la potencia de trabajo S_{tr} (kVA) y la potencia nominal del transformador S_n (kVA):

$$K_c = \frac{S_{tr}}{S_n}$$

La clasificación de los transformadores se muestra en la Tabla 1.

Como se ve en la Tabla 1 la mayor potencia de reserva le corresponde al grupo de los transformadores que se caracterizan por más bajo coeficiente de carga. Es imposible que esta situación no influya sobre las pérdidas de potencia y de energía eléctrica en los transformadores y en la red que los alimenta y para determinarlos se realizaron los cálculos cuyos resultados se presentan en la Tabla 2.

Como es conocido las pérdidas de la potencia activa en los transformadores para la carga nominal están compuestas de las pérdidas en el acero del núcleo (o sea las pérdidas activas de marcha al vacío) y de las pérdidas en los conductores de los enrollados (las pérdidas de cortocircuito).

TABLA 1. Clasificación de los transformadores de fuerza de la Empresa Niquelífera "Comandante Pedro Sotto Alba" en dependencia del coeficiente de carga.

Grupo de los transformadores	Coeficiente de carga K_c	Número de transformadores trabajando	Potencia instalada en trab. kVA	Potencia de carga kVA	Número de transformadores en reserva	Potencia instalada en reserva kVA
I	0,16 - 0,49	10	9 600	3 714	10	12 400
II	0,5 - 0,69	10	9 250	5 582	2	1 750
III	0,7 - 0,95	13	7 626	6 152	6	4 500
TOTAL	-	33	26 476	15 448	18	18 650

TABLA 2. Pérdidas de potencia en el esquema existente.

No.	Taller	(1)*	(2)*	(3)*	(4)*	(5)*	(6)*	(7)*	(8)*	(9)*	ΔQ_{mv}	ΔQ_{cc}	$\Delta P'_{mv}$	$\Delta P'_{cc}$	$K_c^2 \Delta P'_{cc}$	$n \Delta P'_{mv}$	$n K_c^2 P'_{cc}$
1.	Maquinado	500	1	1	523	1	2,5	9,4	33,6	30,8	5,04	4,62	7,54	14,02	14,02	7,54	14,02
2.	Eléctrico	500	1	0,11	45,8	0,012	2,5	9,4	33,6	30,8	5,04	4,62	7,54	14,02	0,168	7,54	0,168
3.	Planta de agua	11000	2	0,66	1314,1	0,44	4,9	15	50,0	55,0	7,5	8,25	12,4	23,25	10,23	24,8	20,46
		500	1	0,67	337	0,45	2,5	2,4	33,6	30,8	5,04	4,62	7,54	14,02	6,309	7,54	6,309
4.	Preparación de pulpa	1000	2	0,49	972,8	0,24	4,9	15	50,0	55,0	7,5	8,25	12,4	23,25	5,58	24,8	11,16
5.	Planta H_2 y H_2S	1000	2	0,4	802,6	0,16	4,9	15	50,0	55,0	7,5	8,25	12,4	23,25	3,72	24,8	7,44
		1000	1	-	-	-	4,9	-	50,0	-	7,5	-	12,4	-	-	12,4	-
6.	Planta de precipitación de sulfuros	750	2	0,23	344	0,05	4,1	11,9	45,0	41,3	6,75	6,195	10,85	18,095	0,905	21,7	1,81
		1000	3	0,65	1686	0,314	4,9	15	50,0	55,0	7,5	8,25	12,4	23,25	7,3	37,2	21,9
7.	Acido sulfúrico	1200	2	0,35	1184,8	0,12	8,0	24	26,5	93,5	11,475	14,025	19,475	38,025	4,56	38,95	9,12
		1500	2	0,58	1738,3	0,336	7,0	20	67,5	82,5	10,125	12,375	17,125	32,375	10,878	34,25	21,756
		1000	2	0,39	391,7	0,15	4,9	15	50,0	55,0	7,5	8,25	12,4	23,25	3,488	24,8	6,975
		1000	1	-	-	-	4,9	-	50,0	-	7,5	-	12,4	-	-	12,4	-
		1600	1	0,59	944	0,35	7,5	22	72,0	88,0	10,8	13,2	18,3	25,2	8,82	18,3	8,82
8.	Lavado	750	2	0,467	695,6	0,218	4,1	11,9	45,0	41,3	6,75	6,195	10,85	10,095	3,945	21,7	7,889
9.	Neutralización	750	2	0,19	290,2	0,036	4,1	11,9	45,0	41,3	6,75	6,195	10,85	18,095	0,65	21,7	1,3
10.	Espesadores de pulpa	1500	2	0,417	1250,5	0,174	7,0	20	67,5	82,5	10,125	12,375	17,125	32,375	5,63	34,25	11,267

TABLE 2. Pérdidas de potencia en el esquema existente. (Continuación)

No.	Taller	(1)*	(2)*(3)*	(4)*	(5)*	(6)*(7)*	(8)*	(9)*	$\alpha \Delta Q_{mv}$	$\Delta P'_{mv}$	$\Delta P'_{oc}$	$K_o \Delta P'_{oc}$	RAP'	MV	nK _c '	P' _i oc		
11.	Planta eléctrica	1000	2	0,37	743,7	0,137	4,9	15	50,0	55,0	7,5	8,25	12,4	23,25	3,185	24,8	6,37	
		1000	2	0,52	1036	0,27	4,9	15	50,0	55,0	7,5	8,25	12,4	23,25	6,278	24,8	12,555	
12.	Lixiviación	750	2	0,64	960,4	0,41	4,1	11,9	45,0	41,3	6,75	6,195	10,95	18,095	7,42	21,7	14,938	
13.	Minas	500	3	0,28	423,7	0,078	2,5	9,4	33,6	30,8	50,4	4,62	7,54	14,02	1,094	22,62	3,28	
		1400	4	0,186	1101,6	0,035	5	14	63,0	77,0	9,45	11,55	14,55	25,55	0,89	57,8	3,577	
14.	Nuevo conveyor	400	1	0,33	264,7	0,11	2	7	28	22	4,2	3,3	6,2	10,3	1,13	6,2	1,43	
		500	1	0,96	231	0,21	2,5	9,4	33,6	30,8	5,04	4,62	7,54	14,02	2,94	7,54	2,94	
15.	Dirección	500	1	0,51	255	0,26	2,5	9,4	33,6	30,8	5,04	4,62	7,54	14,02	3,645	7,54	3,645	
16.	Laboratorio	26	1	0,77	20	0,59	0,3	0,85	2,7	1,65	0,402	0,702	0,702	1,09	0,64	0,702	0,64	
17.	Planta de azufre	500	2	0,42	418	0,18	2,5	0,4	33,6	30,8	5,04	4,6	7,54	14,02	2,45	15	4,9	
18.	Torres y espesadores	300	1	0,93	280	0,87	1,9	6,2	22,4	17,6	3,4	2,6	5,3	8,8	7,7	5,3	7,7	
TOTAL																568,7		200,5

LEYENDA:

- (1)* Potencia de transformadores KVA
- (2)* No. de transformadores en trabajo
- (3)* Coeficiente de carga
- (4)* Carga total KVA
- (5)* K^2_c
- (6)* Pérdidas activas de marcha al vacío ΔP_{mv} , kW
- (7)* Pérdidas activas de cortocircuito ΔP_{cc} , kW
- (8)* Pérdidas reactivas de marcha al vacío ΔQ_{mv} , kW
- (9)* Pérdidas reactivas de cortocircuito ΔQ_{cc} , kW

Las pérdidas de marcha al vacío prácticamente no dependen del régimen de la carga en todo el intervalo desde la marcha al vacío hasta la carga nominal y constituyen aproximadamente 0,25-1 % de la potencia nominal del transformador.

El valor de las pérdidas en los enrollados es variable y proporcional al cuadrado del coeficiente de carga del transformador.

Al mismo tiempo en el transformador tienen lugar las pérdidas de la potencia reactiva, que se consumen para la creación del flujo magnético en el acero del núcleo y los flujos de dispersión. Estas pérdidas superan en varias veces las pérdidas activas. Es necesario tomar en consideración también el incremento de las pérdidas activas en la red de alimentación durante la transmisión de la potencia reactiva consumida por el transformador.

De esta manera las pérdidas totales de la potencia activa en el transformador y en la red de alimentación pueden determinarse por la fórmula:

$$\begin{aligned} \Delta P' &= \Delta P'_{mv} + \Delta P'_{cc} K_C^2 = \\ &= \Delta P_{mv} + \alpha \Delta Q_{mv} + \\ &+ (\Delta P_{cc} + \alpha \Delta Q_{cc}) K_C^2, \text{ kW} \end{aligned}$$

donde :

ΔP_{mv} y $\Delta P'_{cc}$ - pérdidas activas totales de marcha al vacío y de cortocircuito del transformador, kW;

ΔP_{mv} y ΔP_{cc} - pérdidas activas, reales o del catálogo, de marcha al vacío y

de cortocircuito del transformador, kW:

$$K_c = \frac{S_{\text{carga}}}{S_n} = \frac{I_{\text{carga}}}{I_n} = \text{coeficiente de carga del transformador:}$$

S_{carga} y S_n - potencia de carga y potencia nominal aparentes del transformador, kVA;

I_{carga} e I_n - corriente real de carga nominal del transformador, A;

$$\Delta Q_{mv} = \frac{I_{mv} \% S_n}{100} \text{ - potencia reactiva, consumida por el transformador durante la marcha al vacío (pérdidas reactivas de marcha al vacío), kVA r;}$$

I_{mv} - corriente de marcha al vacío del transformador, %;

$$\Delta Q_{cc} = \frac{U_{cc} \% S_n}{100} \text{ - incremento de la potencia reactiva consumida por el transformador durante el aumento de su carga, desde la marcha al vacío hasta la nominal (o sea pérdidas de la potencia reactiva de cortocircuito), kVA r;}$$

U_{cc} - tensión de cortocircuito, %;

α - equivalente económico de la potencia reactiva (kW/kVA r) que toma en consideración el incremento de las pérdidas de la potencia activa en las redes durante la transmisión de la potencia reactiva.

Frecuentemente a este equivalente económico de la potencia reactiva le llaman también coeficiente de la elevación de las pérdidas y depende de los parámetros y la configuración de la red desde la planta eléctrica hasta los consumidores y del $\cos \varphi$. Mientras más bajo es el factor de potencia más alto es el coeficiente α que varía por lo general en los rangos desde 0,01 hasta 0,25.

De acuerdo a los datos de la literatura especializada [1] para los cálculos prácticos aproximados relacionados con la determinación de la economía de energía eléctrica y las condiciones concretas de suministro eléctrico existente en la Empresa "Comandante Pedro Sotro Alba" (alimentación de los consumidores desde la planta eléctrica mediante la línea de distribución y una sola etapa de transformación) el equivalente económico de la potencia reactiva puede ser tomado $\alpha = 0,1 - 0,15$ kW/kVA r.

Los cálculos exactos de las pérdidas de potencia y energía se dificultan por la ausencia de la documentación técnica para los transformadores utilizados en las empresas industriales, por lo que los parámetros necesarios fueron asumidos de la literatura especializada [1], [2], para máquinas con parámetros similares dejando siempre un margen de seguridad por debajo de los valores reales, con el objetivo de proponer una cifra de ahorro fiable.

En la Tabla 2 están representadas las subestaciones eléctricas existentes en cada uno de los talleres de la Empresa Niquelífera con la potencia y el número de los transformadores y la carga instalada del taller. Para estas condiciones se calculan las pérdidas de marcha al vacío, las pérdidas de cortocircuito y las pérdidas activas totales de cada transformador que se encuentre conectado a la red eléctrica.

Para el esquema de suministro eléctrico actual los datos de cálculo están representados en la Tabla 2 y constituyen 769,2 kW de pérdidas de potencia y 6 659 483 kWh de energía al año.

La existencia de los dispositivos de desconexión en la parte de la tensión secundaria de los transformadores de fuerza permite realizar el acomodo de carga en diferentes talleres de la empresa y la desconexión de los transformadores en los períodos de poca carga siempre y cuando se instalan los desconectores en la parte de la tensión primaria de los transformadores.

De acuerdo a la potencia de consumo de la empresa existe la posibilidad de acomodo de carga de los talleres y la desconexión de 16 transformadores de fuerza en aquellas condiciones donde las tensiones nominales de los consumidores eléctricos lo permitan.

Los resultados de cálculo de las pérdidas de potencia para diferentes subestaciones eléctricas que permiten la desconexión de los transformadores subcargados se muestran en la Tabla 3.

Como se ve en la Tabla 3 las pérdidas de la potencia para la nueva variante y el número de transformadores disminuido en 16 constituyen 631 kW, y de la energía eléctrica 5 527 814 kWh al año, o sea el ahorro de energía constituirá 1 210 509 kWh, lo que equivale al ahorro de 370 t de combustible a razón de 306 g/kWh, que en las condiciones de la Empresa Niquelífera "Comandante Pedro Sotillo Alba" es considerablemente mayor.

Es necesario aclarar que existe la posibilidad del acomodo de carga posterior y la desconexión de otros transformadores, para lo cual es indispensable realizar un análisis y estudio más detallado del trabajo de diferentes talleres.

TABLA 3. Pérdidas de potencia por la variante propuesta.

No.	Taller	(1)*	(2)*	(3)*	(4)*	(5)*	(6)*	(7)*	(8)*	(9)*	"AQ" _{MV}	"AQ" _{CO}	ΔP^1_{MV}	ΔP^1_{CO}	K _O $\Sigma \Delta P^1_{CO}$	nK _N $\Sigma \Delta P^1_{CO}$	c _e
1.	Maquinado	500	1	288	0,58	2,5	9,4	33,6	30,8	0,33	5,04	4,6	7,54	14,02	4,63	7,54	4,63
2.	Eléctrico	500	1	288	0,58	2,5	9,4	33,6	30,8	0,33	5,04	4,62	7,54	14,02	4,63	7,54	4,63
3.	Planta de agua	1000	2	1314	0,7	4,9	15	50	55	0,44	7,5	8,25	12,4	23,25	10,23	24,8	20,46
		500	1	337	0,67	2,5	9,4	33,6	30,8	0,45	5,04	4,62	7,5	14,02	6,3	7,5	6,3
4.	Preparación de pulpa	1000	2	972	0,49	4,9	15	50	55	0,24	7,5	8,25	12,4	23,3	5,58	24,8	11,2
5.	Planta de H ₂ y H ₂ S	1000	1	802	0,8	4,9	15	50	55	0,64	7,5	8,25	12,4	23,3	14,9	12,4	14,9
6.	Precipitación de sulfuros	750	1	344	0,46	4,1	11,9	45	41,3	0,21	6,75	6,2	10,85	18,1	3,8	10,8	3,8
		1000	2	1686	0,84	4,9	15	50	55	0,51	7,5	8,25	12,4	23,3	16,5	24,8	3,33
7.	Acido sulfúrico	1700	1	1186	0,7	8	24	76,5	43,5	0,49	11,48	14,2	19,48	38,2	18,5	19,5	18,5
		1500	2	1738	0,58	7	20	67,5	82,5	0,34	10,13	12,37	17,13	32,37	11	34,25	22
		1000	1	391	0,39	4,9	15	50	55	0,15	7,5	8,25	12,4	23,3	3,5	12,4	3,5
8.	Planta de lavado	1600	1	944	0,59	7,5	22	72,6	88	0,36	10,8	13,2	18,3	25,2	8,8	18,3	8,8
		750	2	696	0,47	4,1	11,9	45	41,3	0,22	6,75	6,2	10,82	18,9	3,94	21,7	7,89

Tabla 3. Pérdidas de potencia por la variante propuesta. (Continuación.)

No.	Taller	(1)*	(2)*	(3)*	(4)*	(5)*	(6)*	(7)*	(8)*	(9)*	ΔQ_{mv}	ΔQ_{cc}	ΔP_{mv}	$\alpha \Delta P_{cc}$	$K_c^2 \Delta P_{cc}$	$n \Delta P_{mv}$	$n K_c^2 \Delta P_{cc}$
9.	Planta de neutralización	750	1	290	0,39	4,1	11,9	45	41,3	0,15	6,75	6,2	10,85	18,09	2,72	10,85	2,78
10.	Planta eléctrico-trica	1000	1	743	0,74	4,9	15	50	55	0,55	7,5	8,25	12,4	23,3	12,7	12,4	12,7
		1000	2	1036	0,52	4,9	15	50	55	0,27	7,5	8,25	12,4	23,3	6,3	24,8	12,56
11.	Espeadores de pulpa	1500	1	1250	0,83	7	20	67,5	82,5	0,7	10,2	12,4	17,12	32,37	22,34	17,12	22,34
12.	Minas	500	2	423	0,42	2,5	9,4	33,6	30,8	0,76	5,04	4,6	7,54	14,02	10,66	15,1	21,3
		1400	1	1101	0,79	5	9,4	63	77	0,62	9,45	11,6	14,4	25,6	15,8	14,4	15,8
13.	Nuevo conveyor	400	1	331	0,58	2	7	28	22	0,33	4,2	3,3	6,2	10,3	3,4	6,2	3,4
		500	1	231	0,46	2,5	9,4	33,6	30,8	0,21	5,04	4,62	7,54	14,02	2,94	7,54	2,94
14.	Laboratorio	26	1	20	0,77	0,3	0,85	2,7	1,65	0,6	0,4	0,25	0,7	1,1	0,77	0,7	0,77
15.	Dirección	500	1	255	0,51	2,5	9,4	33,6	30,8	0,26	5,04	4,6	7,54	14,02	3,65	7,54	3,65
16.	Planta de azufre	500	1	417	0,84	2,5	9,4	33,6	30,8	0,7	5,04	4,62	7,54	14,02	9,8	7,54	9,8
17.	Torres y espeadores	300	1	280	0,93	1,9	9,4	22,4	17,6	0,87	3,33	2,64	5,26	8,84	7,7	5,26	7,7
TOTAL			32													355,9	275,15

La desconexión de los transformadores subutilizados disminuye pérdidas de potencia de marcha al vacío (por ejemplo para la variante existente en la empresa ΔP_{mv} constituyen 568,7 kW y para la propuesta, con 16 transformadores menos, $\Delta P_{mv} = 355,88$ kW, pero al mismo tiempo aumentan las pérdidas de cortocircuito que son proporcionales al cuadrado del coeficiente de carga del transformador. De esta manera para la primera variante (como se ve en la Tabla 2), las pérdidas en cobre de los transformadores $\Delta P_{cc} = 200,5$ kW y para la segunda variante (ver la Tabla 3) $\Delta P_{cc} = 275,15$. O sea, el incremento de la carga de los transformadores provoca el incremento de las pérdidas totales de potencia y por consiguiente de la energía.

Como muestran los cálculos el coeficiente de carga racional de los transformadores existentes de la Empresa Niquelífera se encuentra entre 0,7-0,77.

El valor más racional del coeficiente de carga del transformador puede determinarse por la fórmula:

$$K_c = \sqrt{\frac{\Delta P_{mv} + \alpha \Delta Q_{mv}}{\Delta P_{cc} + \alpha \Delta Q_{cc}}}$$

En esta expresión todos los parámetros son conocidos. Con este valor del coeficiente de carga las pérdidas de la potencia y de energía en los transformadores de fuerza y en las líneas que los alimentan son mínimas.

El hecho de que exista la posibilidad de desconectar 16 transformadores de fuerza provoca la disminución de la potencia reactiva necesaria e invariablemente se refleja

en el mejoramiento del factor de potencia de la empresa. Los cálculos realizados muestran que en las condiciones más favorables, es decir, con el $\cos \varphi$ máximo de 0,83, esta medida permite aumentar el factor de potencia hasta 0,87 con el efecto que se deriva de este resultado.

CONCLUSIONES

La labor esforzada de los especialistas del servicio energético de la Empresa "Comandante Pedro Sotillo Alba" ha logrado garantizar el suministro eléctrico estable durante años, lo que constituye un verdadero logro. La disminución de los costos, el ahorro de energía y el incremento de capacidades sin inversiones abliga a establecer las posibles reservas existentes.

La instalación de desconectivos para los transformadores de fuerza en la parte de alta tensión permitirá flexibilizar el esquema, incrementar posibilidades operativas y racionalizar las cargas.

El esquema actual determina pérdidas de energía de cerca de 6 660 000 kWh al año e influye negativamente en el factor de potencia de la empresa.

En el trabajo se han determinado los coeficientes de carga racionales de los transformadores de fuerza y se propone la instalación de desconectores que racionalizan el uso de los transformadores, disminuyen las pérdidas en 1 210 000 kWh, el factor de potencia aumenta en un 4 % para el caso de carga máxima y el incremento relativo puede ser superior para cargas inferiores.

REFERENCIAS

1. ALABYEV, N. M.: Ahorro de energía eléctrica en las minas de carbón. Ed. Nedra, Moscú, 1970.
2. BAPTIDANOV, L. N. y otros: Electroequipamiento de las plantas y subestaciones eléctricas. Gosenergoizdat, t. I. Moscú, 1958, t. II. Moscú, 1983.
3. MALIUK, S. y R. Pérez Barreto: "Sobre el ahorro de energía eléctrica mediante la racionalización del servicio energético de empresas de producción" en revista Minería y Geología no. 1, ISMMMOA, 1983.
4. SOKOLOV, M. M.: Electroaccionamiento y suministro eléctrico en empresas industriales. Ed. Energía, Moscú, 1968.