УДК 622:621.316:72:621.316.17

В.А.ХАЧАТУРЯН
ООО «КИНЕФ»
Д.М.ТАРАСОВ
Горно-электромеханический факультет, аспирант кафедры электротехники и электромеханики

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В настоящее время на добычу, транспортировку и переработку полезных ископаемых расходуется около 20 % всей производимой электроэнергии, а энергетическая составляющая в общем объеме производственных затрат достигает 30-60 %. Поэтому в условиях роста цен на электроэнергию и экономии энергоресурсов особую значимость приобретает вопрос снижения энергетической составляющей в общем объеме затрат на добычу и переработку полезных ископаемых и уменьшения потерь электроэнергии.

Напряжения у отдельных электроприемников должны быть такими, чтобы обеспечивалась их надежная, экономичная и устойчивая работа во всем возможном диапазоне изменения технологических и электрических параметров. Регулирование напряжения в конце участка при заданной нагрузке может осуществляться изменением: напряжения в начале участка; коэффициента трансформации трансформатора, включенного в начале участка; индуктивного сопротивления участка, например путем включения установки продольной компенсации; активного сопротивления участка; потока реактивной мощности в участке. Выявлено, что применение мер по стабилизации напряжения обеспечивает повышение срока службы электрооборудования выемочных участков в среднем на 10-15 %, магистрального транспорта и конвейерного подъема – на 7-12 %. Для повышения стабилизации напряжения структуру участковых сетей целесообразно формировать с учетом возникновения минимальных отклонений напряжения сети относительно рационального уровня.

Nowadays about 20 % of total produced electric power is spent on extraction, transportation and processing of useful minerals and a power component in total amount of production costs reaches 30-60 %. Therefore, the problem of reduction in power component in total amount of costs on extraction and processing of useful minerals and reduction in losses of electric power are becoming especially significant in conditions of price rise in electric power and saving of power resources. Separate electroreceivers should possess the voltage to produce reliable, economic and stable functioning within a possible range of changes of technological and electrical parameters. The control of voltage at the end of a segment at the given load can be taken into practice by changing of voltage at the beginning of the segment, or by changing a transformation ratio of a transformer, switched on at the beginning of the segment, or by changing an inductive impedance of a segment, for example by switching on the installation of longitudinal compensation, by changing an active resistance of a segment, or by changing of reactive power flux in the segment. It has been found out that application measures on voltage stabilization provides the increase in service life of electrical equipment of mining extraction sites on the average by 10-15 % and main transport and conveyer hoisting – by 7-12 %. It is rational to form a structure of local electric systems, taking into consideration the appearance of minimum voltage deviations in comparison with a rational level to increase voltage stabilization.

В условиях роста цен на электроэнергию и экономии энергоресурсов особую значимость приобретает вопрос снижения энергетической составляющей в общем объеме затрат на добычу и переработку полезных ископаемых и уменьшения потерь электроэнергии. Это требует внедрения энергосберегающих технологий на предприятиях горно-добывающей промышленности.

Среди способов совершенствования режимов электропотребления особое место занимает регулирование режима напряжения, так как позволяет снизить потребление активной и реактивной мощности, потери

мощности и напряжения в ЛЭП, трансформаторах и нагрузке, обеспечить устойчивость работы электрооборудования и увеличение срока его службы.

Напряжения у отдельных электроприемников должны быть такими, чтобы обеспечивалась их надежная, экономичная и устойчивая работа во всем возможном диапазоне изменения технологических и электрических параметров. Эксплуатационные службы горных предприятий с целью обеспечения устойчивой работы наиболее удаленных электроустановок даже в часы максимума нагрузки завышают напряжение на шинах ГПП до уровня 1,05-1,1 $U_н$, при котором гарантируется их устойчивая работа во всех анормальных режимах. Поэтому в часы минимума нагрузки напряжение на электроустановках в начале питающих линий может составлять до 1,1 $U_н$.

В этих условиях обеспечить надежную и экономичную работу электроустановок горных предприятий представляется затруднительным, что обуславливает необходимость разработки и применения комплекса технических средств, научного и методического обеспечения для реализации в радиально-магистральных линиях горного предприятия рационального режима напряжения.

Методы регулирования режима напряжения. Связь между параметрами нагрузки и напряжениями в начале и конце участка электрической сети (силового трансформатора, отрезка линии и т.д.) может быть представлена в виде:

$$\frac{U_1^2U_2^2}{K_т} = \Big[U_2^2 + P_0\left(a_0 + a_1U_2 + a_2U_2^2\right)R_у + Q_0\left(b_0 + b_1U_2 + b_2U_2^2\right)X_у\Big]^2 + \Big[P_0\left(a_0 + a_1U_2 + a_2U_2^2\right)X_у - Q_0\left(b_0 + b_1U_2 + b_2U_2^2\right)R_у\Big]^2, \qquad (1)$$

где U_1 и U_2 – напряжения в начале и конце участка; $R_у$ и $X_у$ – активное и реактивное сопротивления участка; P_0 и Q_0 – активная и реактивная мощности,потребляемые нагрузкой в конце участка при $U_2 = 1$; a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, характеризующие зависимость активной нагрузки в конце участка от напряжения; b_0, b_1, b_2 – коэффициенты, характеризующие зависимость реактивной нагрузки в конце участка от напряжения; $K_т$ – коэффициент трансформации трансформатора в начале участка, при отсутствии трансформатора на участке $K_т = 1$.

В соответствии с приведенным выражением регулирование напряжения в конце участка при заданной нагрузке P_0 и Q_0 может осуществляться:

- изменением напряжения в начале участка;
- изменением коэффициента трансформации трансформатора, включенного в начале участка;
- изменением индуктивного сопротивления участка, например путем включения установки продольной компенсации;
- изменением активного сопротивления участка;
- изменением потока реактивной мощности в участке.

На основании результатов моделирования в реальном поле варьирования независимых переменных произведена оценка эффективности и выполнено ранжирование различных способов регулирования напряжения.

Величины регулирующих эффектов в приведенном поле варьирования независимых переменных и потери напряжения в участке приведены ниже:

Независимые переменные	Регулирующие эффекты	ΔU_2
$K_т$	1,002 / 1,415	0,3006 / 0,3822
U_1	0,969 / 1,270	0,2906 / 0,3476
Q_0	0,076 / 0,325	0,0330 / 0,2047
$X_{сэс}$	0,200 / 1,958	0,0218 / 0,1938
P_0	0,0087 / 0,155	0,0061 / 0,0758
$R_{сэс}$	0,075 / 1,945	0,0015 / 0,0447

Примечание. В числителе – минимум, в знаменателе – максимум.

Наиболее эффективными способами регулирования напряжения в порядке убывания их ранга являются изменение коэффициента трансформации, изменение напряжения в начале участка, изменение потока реактивной мощности, изменение индуктивного сопротивления участка.

Из изложенного следует, что рациональный режим территориально рассредоточенных электроустановок необходимо поддерживать системой автоматического управления режимом напряжения на шинах ГПП посредством автоматического изменения коэффициента трансформации силового трансформатора при отклонении напряжения от рационального уровня и регулирования напряжения непосредственно в месте расположения удаленных электроприемников с использованием технически и экономически обоснованных средств.

Определение параметров режима напряжения. Для организации рационального необходимо определить соответствующие уровни напряжения в начале и конце питающих линий, потери напряжения и мощности в *i*-м участке выделенной линии. Для решения этой задачи на основе однолинейной схемы СЭС горного предприятия составим ее схему замещения, выделив ЛЭП с наибольшими потерями напряжения (см. рисунок).

Потеря напряжения в выделенной линии

$$\Delta U = \sum_{i=1}^{n} \Delta U_i ;$$

потеря напряжения в *i*-м участке выделенной линии

$$\Delta U_i = U_{i-1} - U_i ;$$

$$U_{i-1} =$$

$$= \sqrt{\left(U_i + \frac{P_{\text{л}i} R_{\text{л}i} + Q_{\text{л}i} X_{\text{л}i}}{U_i}\right)^2 + \left(\frac{P_{\text{л}i} X_{\text{л}i} - Q_{\text{л}i} R_{\text{л}i}}{U_i}\right)^2} ;$$

$$U_i =$$

$$= \sqrt{\left(U_{i-1} - \frac{P_{i-1} R_{\text{л}i} + Q_{i-1} X_i}{U_{i-1}}\right)^2 + \left(\frac{P_{i-1} X_{\text{л}i} - Q_{i-1} R_{\text{л}i}}{U_{i-1}}\right)^2} .$$

Потери активной и реактивной мощности в *i*-м участке равны:

$$\Delta P_{\text{л}i} = P_{i-1} - P_{\text{л}i} = \frac{U_{i-1}^2 + U_i^2}{Z_{\text{л}i}} \sin\alpha_i -$$

$$- \frac{2U_{i-1}U_i}{Z_{\text{л}i}} \sin\alpha_i \cos\delta_i ;$$

$$\Delta Q_{\text{л}i} = Q_{i-1} - Q_i = \frac{U_{i-1}^2 + U_i^2}{Z_{oi}} \cos\alpha_i -$$

$$- \frac{2U_{i-1}U_i}{Z_{oi}} \cos\alpha_i \cos\delta_i .$$

Таким образом определяются параметры режима электроснабжения для i-го участка радиально-магистральной ЛЭП.

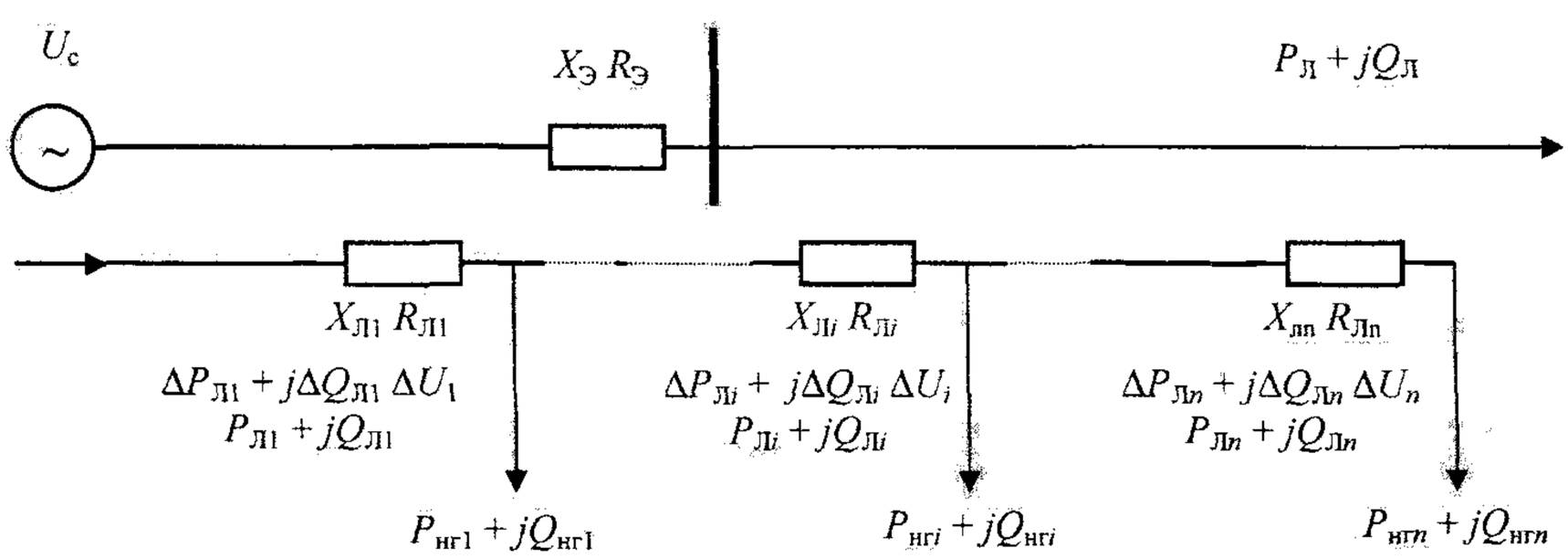


Схема замещения СЭС горного предприятия с выделением линии с наибольшими потерями напряжения

Управление режимом напряжения. Изменение напряжения в начале участка связано с изменением напряжения в питающей системе и является случайной, практически неуправляемой величиной. Поэтому при внедрении средств автоматического управления коэффициентом трансформации силовых трансформаторов на ГПП предприятий горной промышленности вопрос выбора верхней и нижней уставок переключения устройств РПН должен решаться с учетом обеспечения устойчивости работы электроприемников и экономической эффективности процесса автоматического регулирования режима напряжения и нормального закона его изменения. При регулировании уровня напряжения на ГПП необходимо производить выбор уставок срабатывания устройств РПН с учетом ограничения среднесуточного числа переключений устройства РПН и зависимости экономической эффективности процесса регулирования режима напряжения от ширины зоны нечувствительности.

В результате выявлено, что применение мер по стабилизации напряжения обеспечивает повышение срока службы, а, следовательно, наработок на отказ электрооборудования выемочных участков в среднем на 10-15 %, магистрального транспорта и конвейерного подъема – на 7-12 %. Для повышения стабилизации напряжения структуру участковых сетей целесообразно формировать с учетом возникновения минимальных отклонений напряжения сети относительно рационального уровня.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *Б.Н.Абрамович*