

УДК 621.318.48:621.316

С.И. Черный, Е.В. Перекопский, Н.Н. Радочина
(Украина, Днепропетровск, Государственный ВУЗ "Национальный горный университет")

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗНАЧИМОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ
ПАРАМЕТРОВ РЕАКТИВНЫХ НАГРУЗОК ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Повышение эффективности работы горных предприятий невозможно без улучшения качества электроснабжения. Один из наиболее эффективных путей улучшения работы систем электроснабжения – это компенсация реактивной мощности (РМ) [1]. Однако в реальных условиях эксплуатации на большинстве горных предприятий достигнутая степень оснащенности электрических сетей средствами компенсации РМ значительно меньше оптимального значения. В этих условиях актуально проведение мероприятий по уменьшению перетоков реактивной электроэнергии (РЭ). Низкая рентабельность горных предприятий не позволяет выделять одноразово достаточные средства на приобретение компенсирующих устройств. Поэтому с целью уменьшения затрат на компенсацию РМ необходимо совершенствовать методические подходы по размещению и выбору компенсирующих устройств, что может быть достигнуто за счет учета реальных вероятностных показателей формирования реактивных нагрузок и потребления РЭ.

Известны исследования электрических нагрузок промышленных предприятий и вероятностно – статистических методов их определения, например, это работы [2,3]. Однако для проведения мероприятий

по компенсации РМ необходимо учитывать реальные показатели формирования реактивных нагрузок с учетом корреляционных связей. В работах [4,5] приведены значения коэффициентов корреляции, но они не могут быть рекомендованы горнорудным предприятиям. Результаты исследований, приведенные для горнорудных предприятий [6], дают вероятностные характеристики показателей электроснабжения, но не позволяют решить задачи компенсации РМ, поскольку нет оценки значимости корреляционных связей реактивных нагрузок.

В статье ставится задача определения и анализа значимости взаимных корреляционных связей реактивных нагрузок потребителей с целью уменьшения перетоков РЭ вблизи точек балансового раздела электрических сетей горнорудных предприятий.

Горнорудные предприятия имеют электрические сети древовидной конфигурации. Для узлов нагрузки максимальное (минимальное) значение РМ будет определяться их суммой (разницей) [3], т.е.

$$Q_{max} = \bar{Q}_{min} \pm \beta G_{\Sigma}, \quad (1)$$

где \bar{Q} – среднее значение реактивных нагрузок; β – статистический коэффициент, учитывающий вероятность появления максимальной (минимальной) нагрузки; G_{Σ} – результирующее среднеквадратическое отклонение реактивных нагрузок.

Функциональная взаимосвязь дисперсии результирующего случайного процесса описывается выражением [3,5] вида

$$D_{\Sigma} = \sum_1^n D_n + 2 \sum \lambda_{cs}, \quad (2)$$

где D_n – дисперсия n -й реактивной нагрузки; λ_{cs} – взаимно-корреляционные моменты индивидуальных графиков нагрузки [7],

$$\lambda_{cs} = k_{cs} G_c G_s, \quad (3)$$

где k_{cs} – коэффициент корреляции между потребителями энергии Q_c и Q_s ; G_c , G_s – соответственно среднеквадратические отклонение Q_c и Q_s .

Коэффициент корреляции [8]

$$k_{cs} = \frac{\sum_1^n (Q_{ci} - \bar{Q}_c)(Q_{si} - \bar{Q}_s)}{(N-1)G_c G_s},$$

где \bar{Q}_c , \bar{Q}_s – соответственно среднее значение нагрузок потребителей Си S ; N – количество наблюдений.

Для проведения мероприятий по компенсации перетоков РМ целесообразно оценить коэффициенты корреляции для усредненных графиков реактивных нагрузок, поскольку они являются обобщающими графиками нагрузок.

С целью проведения эксперимента была разработана методика исследования режимов реактивных нагрузок Орджоникидзевского горно-обогатительного комбината, которая позволила определить сроки и условия пассивного эксперимента, и соответственно вероятностные параметры реактивных нагрузок в центрах питания при доверительной вероятности 0,95 и относительной ошибке не более 0,07.

По результатам исследований нагрузок выполнены расчеты коэффициентов взаимной корреляции усредненных графиков нагрузок электроприемников (табл. 1).

Результаты исследований коэффициентов корреляции реактивных нагрузок показывают, что их значения изменяются в широких пределах от -0,48 до +0,54. Из полученных значений только 19% по абсолютной величине превышают 0,4 (в т.ч. из них 2 значения – отрицательные, а одно – положительное). Для остальных взаимозависимых сочетаний среднее значение положительных коэффициентов корреляции $k_{cs} = 0,31$, отрицательных соответственно $k_{cs} = -0,28$. При этом высокий положительный коэффициент характерен для присоединений, питающих аналогичные производственные процессы. Например, вводпуль-понасосных, вводы обогатительных фабрик, линии, питающие карьеры с одинаковым технологическим циклом. Отрицательные коэффициенты корреляции определяются различием технологии производства. Так, для реактивных нагрузок ЛЭП "Чкаловская - 33 – Север - 32", "Александровка - 31 – Север- 32" $k_{cs} \approx -0,48$. Это определяется тем, что линия "Север - 32" питает карьеры с роторными комплексами, а

Електропостачання та електроустаткування

ЛЭП "Чкаловская - 33 ", "Александровка - 31 " питают карьеры, где работают шагающие экскаваторы и экскаваторы ЭКГ.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции реактивных нагрузок

Электроприемники	k_{cs}
Ввод №1 пульнонасосной БОФ -	
ввод №2 пульнонасосной БОФ	0,39
Ввод №3 БОФ - ввод №1 пульнонасосной БОФ	-0,313
Ввод №3 БОФ - ввод №2 пульнонасосной БОФ	-0,07
ЛЭП Л363 -Л364	0,28
ЛЭП Чкаловская - 33 - Чкаловская - 34	0,34
ЛЭП Чкаловская - 33 - ЧОФ - 31	-0,15
ЛЭП Чкаловская - 34 - ЧОФ - 31	0,31
ЛЭП Чкаловская - 34 - ЧОФ - 32	0,54
ЛЭП Чкаловская - 34 - Север - 32	0,2
ЛЭП ЧОФ-31 - ЧОФ-32	0,37
ЛЭП ЧОФ-31-Север-32	0,153
ЛЭП Чкаловская - 33 - Север - 32	-0,48
ЛЭП Александровка - 31 - Север - 32	-0,47
ЛЭП ЧОФ - 32 - Чкаловская - 33	-0,18
ЛЭП ЧОФ - 32 - Север - 32	0,26
ЛЭП Александровка - 31 - Чкаловская - 33	0,25

Компенсация перетоков РЭ требует учитывать колебания реактивных нагрузок по времени суток, поскольку при обратных перетоках РЭ предприятия платят по повышенным тарифам за электроэнергию. В соответствии "Методики..." [9] для мощных потребителей электроэнергии , как правило, применяется зонный учет потребляемой и генерируемой РЭ. Коэффициент дифференцированного тарифа для зон "пик" ($k_{пик}$) значительно выше, чем для зон "полупик" ($k_{полупик}$) и для зоны "ночь" ($k_{ночь}$);т.е., чтобы уменьшить плату за перетоки РЭ необходимо правильно выбрать мощность компенсирующих устройств (КУ) для каждой из зон тарифа. Зона "полупик" будет характеризоваться средними нагрузками и выбор мощности КУ для данной зоны определяется первой составляющей выражения (1). Формирование минимальных и максимальных нагрузок будет определяться дисперсионной составляющей (2), на которую влияют корреляционные связи. Поскольку удельная плата за обратные перетоки РЭ в часы "ночь" и потребление РЭ в часы "пик" существенно выше удельной платы для часов "полупик", то здесь необходимо учитывать особенности формирования вероятностных параметров реактивных нагрузок.

Исходя из выражений (2) и (3) результирующее среднеквадратическое отклонение

$$G_{\Sigma} = \sqrt{\sum_1^n D_n + 2 \sum k_{cs} G_c G_s} . \quad (4)$$

Для инженерных расчетов необходимо оценить значение коэффициентов корреляции, которые существенно влияют на формирование результирующей дисперсии. Исходя из допустимой погрешности ($\pm 10\%$) при равенстве коэффициентов корреляции вторая составляющая выражения (4) будет больше (меньше) суммарной дисперсионной составляющей $\sum_1^n D_n$ для коэффициентов корреляции, т. е.

$$k_{cs} \geq \frac{0.1 \sum D_n}{2 \sum G_c G_s} . \quad (5)$$

При определении интегральных показателей потребления (генерации)РМ и перетоков РЭ учитывается результирующее среднеквадратическое отклонение G_{Σ} [10]. Для 10% - ного увеличения (уменьшения) G_{Σ} по сравнению с $\sqrt{\sum_1^n D_n}$ значение коэффициента корреляции должно быть таким:

$$|k_{cs}| \geq \frac{0.21 \sum D_n}{2 \sum G_c G_s} . \quad (6)$$

В табл. 2 приведены значения $|k_{cs}|$, полученные по результатам расчетов на основании выражений (5) и (6). Расчеты проводились в относительных единицах по отношению к самой большой дисперсионной составляющей (D_{max}). При этом изменялось количество присоединений N соотношение G_c и G_s ($\frac{G_s}{G_{s\ max}} = 0,2...1$). Для соотношения $\frac{G_s}{G_{s\ max}} \leq 0,1$ корреляционными моментами можно пренебречь.

Таблица 2.
Предельные значения коэффициентов корреляции

N	Соотношение $\frac{G_s}{G_{s\ max}}$					
	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1
3	0,123/0,26	0,07/0,143	0,062/0,13	0,055/0,116	0,051/0,107	0,05/0,105
4	0,1/0,21	0,044/0,092	0,04/0,084	0,037/0,077	0,034/0,071	0,033/0,07
6	0,045/0,094	0,032/0,068	0,0225/0,047	0,022/0,04	0,021/0,044	0,02/0,042
8	0,025/0,052	0,017/0,035	0,0155/0,033	0,015/0,032	0,0145/0,031	0,014/0,03
10	0,0202/0,047	0,014/0,28	0,012/0,0252	0,0118/0,0247	0,0114/0,024	0,011/0,023

* Примечание: В числителе приведены значения k_{cs} для условия (5), а в знаменателе – соответственно для условия (6).

Анализ предельных значений коэффициентов корреляции k_{cs} показывает, что в пределах возможных соотношений ($\frac{G_s}{G_{s\ max}} = 0,2...1$) даже при низких значениях коэффициентов корреляции наблюдается существенное влияние на формирование результирующих значений дисперсии и среднеквадратического отклонения. Сравнивая результаты коэффициентов корреляции, полученные по результатам экспериментальных исследований, можно сделать вывод, что практически во всех случаях при расчете результирующих значений дисперсии и среднеквадратического отклонения для узлов нагрузки необходимо учитывать корреляционные связи.

Выводы

1. Коэффициенты корреляции усредненных графиков реактивных нагрузок потребителей горнорудного предприятия изменяются в широких пределах отрицательных и положительных значений (от $-0,48$ до $+0,54$), что подтверждает необходимость их учета при расчете результирующей дисперсионной составляющей суммарных реактивных нагрузок.

2. Неучет корреляционных связей реактивных нагрузок потребителей горнорудного предприятия может привести к существенным погрешностям результирующего среднеквадратического отклонения, определяющего интегральные показатели перетоков РЭ.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть продолжены в направлении оценки корреляционных связей реактивных нагрузок потребителей разного иерархического уровня (т.е. различных уровней напряжения).

Список литературы

1. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях/Ю.С.Железко – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
2. Электрические нагрузки промышленных предприятий/С.Д.Волобринский, Г.М.Каялов, П.Н.Клейн и др.;под ред. С.Д. Волобринского. – Л.: Энергия, 1971. – 264 с.
3. Фокин Ю. А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения/Ю.А.Фокин.– М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
4. Фокин Ю.А. Экспериментальные исследования нагрузок крупных городских подстанций с комплексным составом потребителей/Ю.А.Фокин, И.И.Арсамаков// Электричество. – 1972. – №10. – С.23 – 28.
5. Фокин Ю.А. Статистические характеристики активных и реактивных нагрузок потребителей электрических сетей напряжением 6–10 кВ/Ю.А.Фокин, А.А.Гремяков // Электричество. – 1972. – №2. – С. 75 – 78.
6. Джунов В.А. Оценка качества электроэнергии в распределительных сетях напряжением 6 кВ марганцеворудных карьеров/В.А. Джунов // Горн.электромеханика и автоматика: рецп. межвед. науч.-техн. сб. – 1984. – Вып.46. – С. 17 – 21.
7. Корн Г. Справочник по математике (для научных сотрудников и инженеров) / Г.Корн, Т.Корн –М.: Наука, 1974. – 822 с.
8. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум);: учеб. пособие/ под ред. Г.К.Круга.: – М.: Высшая школа, 1983. – 216.

Електропостачання та електроустаткування

9.Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії міжелектропередавальною організацією та її споживачами. Наказ міністерства палива та енергетики України// Офіційний вісник України. – 2002. – №6. –С.18 – 47.

10.Черный С.И. Улучшение режимов работы электрических сетей за счет снижения перетоков реактивной энергии/С.И.Черный // Гірн. електромеханіка та автоматика: нау. – техн.зб. – 2003.– Вип.70. – С. 33–36.

Рекомендовано до друку проф. Разумним Ю.Т.