

УДК 621.317.382:621.311(575.2)

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
НА ПС “КЕМИН” НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЙ УЗЛОВЫХ  
ПОДСТАНЦИЙ 220 кВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КЫРГЫЗСТАНА**

*Ю.П. Симаков, Э.Т. Куданалиев*

Рассматривается баланс реактивной мощности в электрических сетях 110–220 кВ севера Кыргызстана. Проведена оценка влияния управляемой компенсации на подстанции “Кемин” на уровень напряжений узловых подстанций.

*Ключевые слова:* баланс реактивной мощности; уровень напряжения; компенсация реактивной мощности; батарея статических конденсаторов.

---

**THE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE CONTROL OF REACTIVE POWER  
AT SS “KEMIN” ON THE VOLTAGE LEVELS OF THE NODE SUBSTATIONS 220 kV  
FOR THE NORTHERN PART OF THE KYRGYZSTAN ENERGY SYSTEM**

*Yu.P. Simakov, E.T. Kudanaliev*

It is considered the balance of reactive power in electric networks of 110–220 kV of the north of Kyrgyzstan. It is estimated the impact of a controlled compensation at the substation “Kemin” on the voltage levels of the node substations.

*Keywords:* reactive power balance; voltage level; reactive power compensation; the battery of static capacitors.

Общеизвестно, что одним из основных условий существования режима электроэнергетической системы в каждый момент времени требуется равенство генерации и потребления активной и реактивной мощности.

Основным нормативным показателем поддержания баланса реактивной мощности в каждый момент времени являются уровни напряжения, которые для каждого узла нагрузки и каждой ступени номинального напряжения могут существенно различаться. Поэтому в отличие от баланса активной мощности необходимо обеспечить баланс и резерв реактивной мощности не только в целом в энергосистеме, но и в узлах нагрузки.

В отличие от активной мощности реактивная мощность может генерироваться не только генераторами на электростанциях, но и компенсирующими устройствами (КУ) – батареями статических конденсаторов (БСК), синхронными компенсаторами (СК) или статическими источниками реактивной мощности (ИРМ).

Количественной характеристикой реактивной мощности является *коэффициент мощности*, он

равен косинусу угла между током и напряжением ( $\varphi$ ), или отношению между активной мощностью ( $P$ ) и полной мощностью ( $S$ ), т. е.:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$$

Коэффициент мощности, по мнению многих специалистов, является недостаточной характеристикой потребляемой реактивной мощности, в связи с чем в последние годы основным показателем, характеризующим величину потребления РМ, является *коэффициент реактивной мощности* ( $\operatorname{tg} \varphi$ ):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P},$$

где  $Q$ ,  $P$  – величины реактивной и активной мощности.

Компенсация реактивной мощности (КРМ) и качество электроэнергии относятся к наиболее важным и актуальным проблемам современных электрических сетей, эффективное решение которых значительно снижает эксплуатационные расходы. Под компенсацией реактивной мощности понимается её выработка или потребление с помощью компенсирующих устройств.

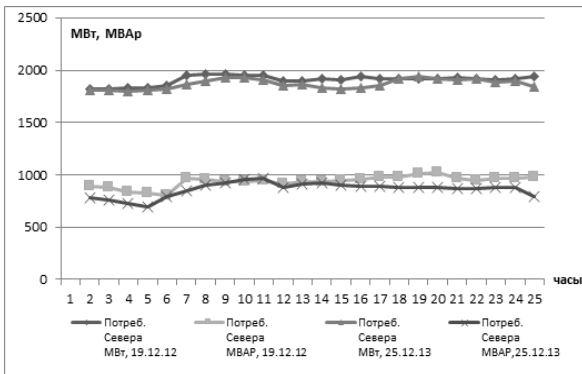


Рисунок 1 – Суточное потребление активной и реактивной мощности на севере КР по результатам контрольных замеров 2012 и 2013 гг.

Учитывая сравнительно высокую экономическую и энергетическую эффективность компенсации реактивной мощности, в промышленно развитых странах ей уделяют большое внимание. В частности, во Франции, Швеции, Германии мощность конденсаторных установок составляет 35 % активной пиковой мощности, в США и Японии – около 70 %. В отдельных энергокомпаниях США мощность установленных компенсирующих устройств достигает 100 % мощности генераторов. При этом во многих странах наблюдается тенденция уменьшения выдачи генераторами электростанций реактивной мощности за счёт увеличения ее доли, вырабатываемой конденсаторами.

Наиболее напряженными являются режимы работы электрических сетей в период прохождения осенне-зимнего максимума, в последние годы в республике наблюдался существенный рост потребления электроэнергии. Суточное потребление активной мощности на севере Кыргызстана в осенне-зимний период в 2013 г. достигло 2000 МВт, а потребление реактивной мощности в последние годы достаточно стабильно находится в пределах 800–1000 МВАр (рисунок 1). Коэффициенты реактивной мощности ( $tg \varphi$ ) по результатам зимних и летних контрольных замеров суточного потребления активной и реактивной мощности находятся в интервале от 0,385 до 0,509, среднее значение  $tg \varphi$  равно 0,458, что соответствует значениям коэффициента мощности ( $cos \varphi$ ) – 0,945; 0,87; 0,9 соответственно.

Баланс реактивной мощности в электрических сетях севера Кыргызстана до 2014 г. обеспечивался за счёт её генерации на ТЭЦ г. Бишкека, Атбашинской ГЭС, станциями Каскада Аламединских ГЭС, компенсирующих устройств (БСК и СК), установленных на ряде подстанций (ПС) Иссык-Кульско-

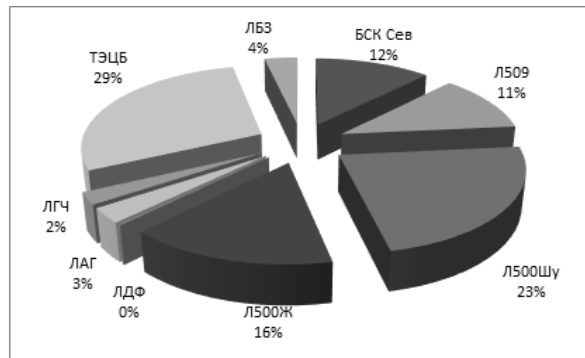


Рисунок 2 – Долевое участие ТЭЦБ, БСК и ВЛ 220–500 кВ в обеспечении баланса реактивной мощности на севере Кыргызстана по результатам контрольных замеров 18.12.2013 г. в 18.00 при максимальном поступлении реактивной мощности

го, Таласского и Нарынского предприятий высоковольтных электрических сетей (ИПВЭС, ТПВЭС и НПВЭС) и поступлений по линиям электропередачи напряжением 500 кВ: “ТГЭС-ПС Тулебердиева – ПС Фрунзенская” (Л509), “ПС Фрунзенская – ПС ШУ” (Л500 ШУ), “ПС Фрунзенская – ПС Жамбыл” (Л500 Ж) и линиям электропередачи напряжением 220 кВ: “ПС Фрунзенская – ЖГРЭС” (ЛДФ), “ПС Главная – ПС Алматы” (ЛАГ), “ПС Главная – ПС ШУ” (ЛГЧ), “ПС Быстровка – ПС Западная” (ЛБЗ).

Как показал анализ результатов зимних контрольных замеров параметров режимов, выполненных в 2012–2013 гг., баланс реактивной мощности в сетях Чуйского предприятия высоковольтных электрических сетей (ЧуПВЭС), при существовавшей на тот период схеме сети, обеспечивался только при условии параллельной работы энергосистемы Кыргызстана в составе ОЭС Центральной Азии и Южного Казахстана. В период максимальных нагрузок более 50 % реактивной мощности поступало в сети ЧуПВЭС по межгосударственным линиям связи 220–500 кВ с энергосистемой Казахстана (рисунок 2).

Анализ уровней напряжений на шинах 220 и 10 кВ узловых подстанций (“Фрунзенская”, “Кара-Балта”, “Главная”, “Ала-Арча”, “Чуйская”, “Быстровка”) по результатам суточных зимних контрольных замеров показал, что в часы наибольших нагрузок (с 8.00 до 23.00) практически на всех подстанциях имеют место пониженные (по отношению к номинальному значению) уровни напряжений. Удовлетворительными можно считать уровни напряжений на шинах 220 кВ на подстанциях “Фрунзенская” и “Кара-Балта”, самый низкий уровень отмечен на подстанции “Ала-Арча” – 180 кВ (на

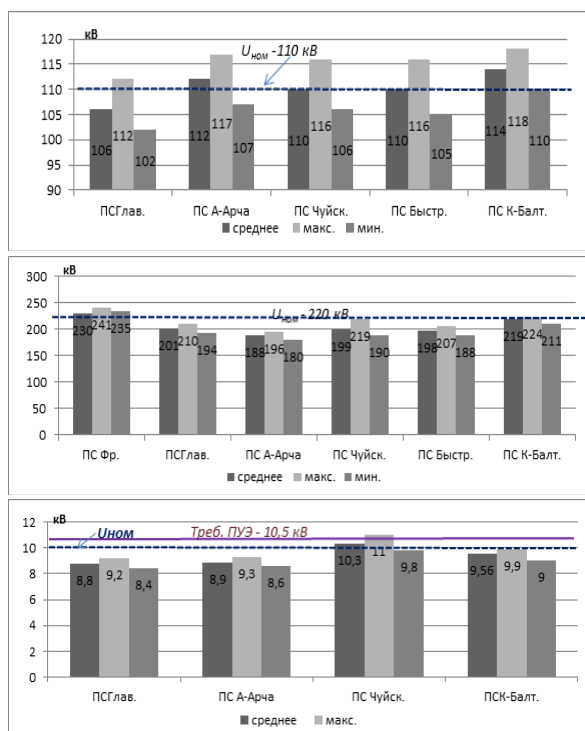


Рисунок 3 – Диаграммы уровней напряжения на шинах 220, 110 и 10 кВ узловых подстанций по результатам замеров 18.12.2013 г.

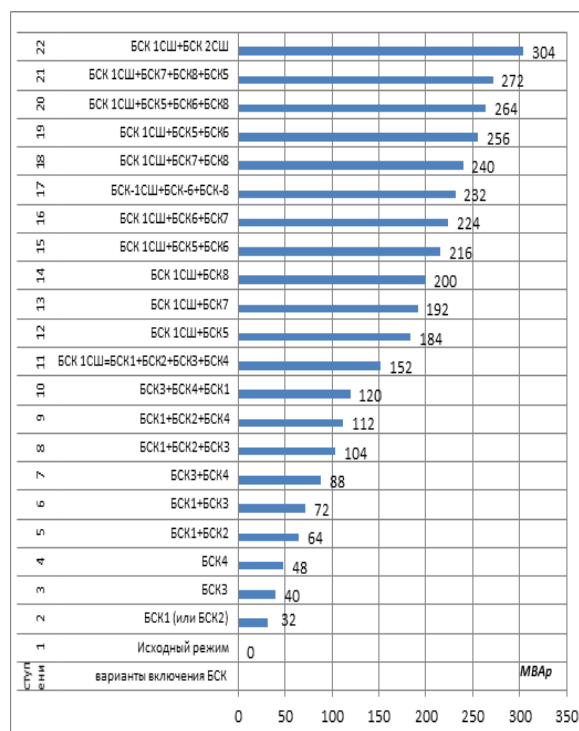


Рисунок 4 – Ступени возможного регулирования реактивной мощности путём включения (отключения) БСК на подстанции “Кемин”

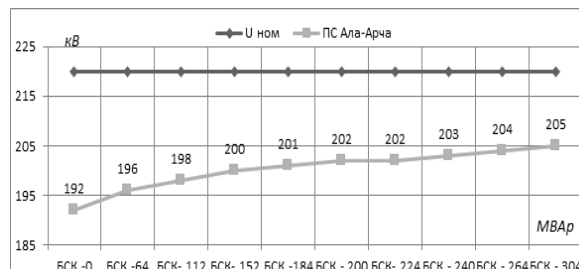
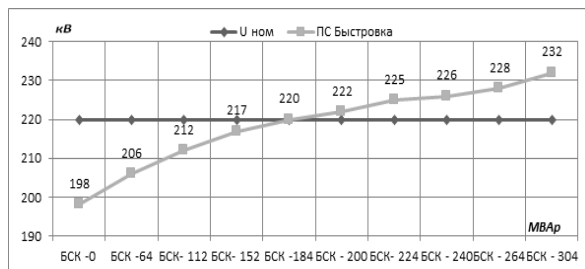


Рисунок 5 – Зависимости напряжений на шинах 220 кВ ПС “Ала-Арча” и “Быстровка” от мощности БСК ПС “Кемин” в режиме зимнего максимума 2100 МВт

18 % ниже номинального). На шинах 110 кВ самый низкий уровень напряжения имел место на шинах подстанции “Главная” (102 кВ, на 7 % ниже номинального), на остальных подстанциях за счёт РПН трансформаторов в принципе поддерживается удовлетворительный уровень напряжения.

На шинах 10 кВ удовлетворительным, отвечающим требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ) для режима максимальных нагрузок, является уровень напряжения на подстанции “Чуйская”, что достигнуто за счёт РПН трансформаторов Т1 и Т2 110/35/10 кВ. На остальных под-

станциях имеют место пониженные уровни напряжения, не удовлетворяющие требованиям ПУЭ. Устройства РПН автотрансформаторов позволяют регулировать напряжение в основном на стороне среднего напряжения, т. е. на стороне 110 кВ. Пределы суточного изменения уровней напряжений и средние значения на шинах 220, 110 и 10 кВ показаны на рисунке 3.

В ноябре 2014 г. завершено сооружение подстанции 500/220/35 кВ “Кемин”, которая поставлена под напряжение со стороны 220 кВ. Полный ввод ее в эксплуатацию был запланирован на ав-

Таблица 1 – Пределы повышения напряжения на шинах 220 кВ подстанций при максимальной мощности БСК на ПС “Кемин”

Мощ. БСК на ПС Кемин, МВАр	Повышение напряжения на шинах 220 кВ подстанций, кВ, %										
	Кем.	Фрун.	К-Балта	Глав.	А-Арча	ТЭЦБ	Чуй.	Быстр.	И-Куль.	Тамга	А-Кыя
0	197	232	215	198	192	197	198	198	191	186	193
304	234	239	224	213	205	224	213	232	229	225	230
	18,7%	2,9%	4,2%	7,6%	6,8%	13,7%	17,2%	19,2%	19,9%	21%	19,2%

Таблица 2 – Пределы повышения напряжения на шинах 110 кВ подстанций при максимальной мощности БСК на ПС “Кемин”

Подстанция	Напряжение, кВ при мощности БСК на ПС Кемин, МВАр		
	0	304	% повышения напряжения
ПС Кара-Балта	112	117	4,50
ПС Главная	109	118	8,30
ПС Ала-Арча	109	118	8,30
ТЭЦ г. Бишкек	111	120	8,10
ПС Чуйская	104	118	13,50
ПС Быстровка	108	124	14,80
ПС Ак-Кыя	108	128	18,50
ПС Иссык-Кульская	113	136	20,40
ПС Тамга	114	137	20,20

густ 2015 г. после завершения строительства линии электропередачи 500 кВ “ПС Датка – ПС Кемин”. На подстанции “Кемин” к I и II системам сборных шин 35 кВ были подключены батареи статических конденсаторов общей мощностью 304 МВАр. На рисунке 4 приведена диаграмма возможного регулирования генерации реактивной мощности путем соответствующих коммутаций БСК.

Для оценки возможностей регулирования реактивной мощности на ПС “Кемин” и её влияния на уровни напряжений на подстанциях 220 кВ северной части энергосистемы Кыргызстана по программе РАСТР выполнены расчёты режимов сетей 110–220 кВ северной части энергосистемы Кыргызстана для условий зимнего максимума (активная нагрузка 2100 МВт, шунтирующие ректоры на ПС “Фрунзенская” включены). При этом учитывалось, что осуществлялась генерация реактивной мощности от имеющихся источников в объемах, МВАр: ТЭЦ г. Бишкек – 430; Ат-Башинская ГЭС – 5,0; прочие ГЭС – 7,5; ТПВЭС – 10; И ПВЭС – 101.

Наибольший эффект повышения напряжения на шинах 220 кВ имеет место на близких к ПС “Кемин” подстанциях “Иссык-Кульская”, “Чуйская”, “Ак-Кыя”, “Быстровка” – более 15 %, по мере удаления от ПС “Кемин” – подстанции “Главная”, “Ала-Арча” “Кара-Балта” эффект повышения напряжения снижается и находится в пределах (4,2–7,6) %, (таблица 1).

Для примера на рисунке 5 показана динамика изменения напряжения на подстанциях “Быстров-

ка” (наибольший эффект повышения напряжения) и “Ала-Арча” (наименьший эффект повышения напряжения) в зависимости от генерации реактивной мощности на подстанции “Кемин”.

В таблице 2 приведены уровни напряжений на шинах 110 кВ узловых подстанций при максимальной генерации реактивной мощности на подстанции “Кемин”. Анализ результатов расчетов уровней напряжений на шинах 110 кВ подстанций от реактивной мощности, генерируемой БСК на ПС Кемин показывает, что на подстанциях ПС “Иссык-Кульская” и “Тамга” в рассматриваемой ситуации напряжение превысило максимально допустимое значение – 126 кВ при мощности БСК 152 МВАр и более, на ПС “Ак-Кыя” при мощности БСК 264 МВАр и более. На остальных подстанциях напряжение на шинах 110 кВ не превысило максимально допустимого значения.

Таким образом, анализ баланса реактивной мощности в электрических сетях Чуйского ПВЭС по результатам контрольных замеров 18.12.2013 г. показал, что в режимах максимальных нагрузок на ряде подстанций имеют место пониженные уровни напряжений.

При установке БСК на ПС “Кемин” мощностью 304 МВАр остается дефицит по генерации реактивной мощности порядка 100 МВАр, в связи с чем необходимо рассмотреть вопрос о целесообразности установки БСК на подстанциях “Главная” и “Ала-Арча”.

Анализ результатов расчетов по определению уровней напряжений на шинах 110 и 220 кВ узловых подстанций при регулировании генерации реактивной мощности БСК на подстанции “Кемин” для режима максимальных нагрузок показал, что:

➤ наибольший эффект повышения напряжения на шинах 220 кВ имеет место на близких к ПС “Кемин” подстанциях (более 15 %), по мере удаления от ПС “Кемин” эффект повышения

напряжения снижается и находится в пределах 4,2–7,6 %;

➤ на шинах 110 кВ подстанций “Иссык-Кульская” и “Тамга” в расчетном режиме напряжение превысило максимально допустимое значение – 126 кВ при мощности БСК 152 МВАр и более, на ПС “Ак-Кыя” при мощности БСК 264 МВАр и более, на остальных подстанциях напряжение на шинах 110 кВ не превысило максимально допустимого значения.