

**А.В. Ляхомский, В.И. Попельнюхов, С.В. Вахрушев,
Д.А. Петров**

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ЛЕБЕДИНСКОМ ГОКе

Семинар № 20

Компенсация реактивной мощности является самым дешевым и одновременно самым эффективным средством повышения технико-экономических показателей электрических систем, уменьшая все виды потерь. При компенсации реактивной мощности снижаются потери электрической энергии в сетях, разгружаются электрические линии и трансформаторы от перетоков реактивной мощности и одновременно улучшается качество напряжения. При снижении $\cos\varphi$ до значения 0,7 происходит удвоение потерь в линиях. Причём под линиями следует понимать не только линии электропередачи, но и обмотки трансформаторов, в которых также происходит удвоение потерь.

Устойчивый рост цен на топливно-энергетические ресурсы, повышение доли энергетической составляющей в себестоимости продукции (в настоящее время этот показатель может достигать 27-32 %), приводит к необходимости сокращения себестоимости продукции за счёт сокращения энергетической составляющей.

Для определения необходимых объемов компенсации реактивной мощности требуется оценка баланса генерации и потребления реактивной мощности (БГиП РМ). Исследование динамики генерации и потребления реактивной мощности по отдельным частям СЭС позволяет определить

объемы и направления движения её потоков в СЭС, что в свою очередь дает возможность определить источники и потребители РМ в СЭС.

Оптимизация баланса с использованием современных средств контроля и учета электроэнергии, а также потребителей-регуляторов, установленных на предприятии, позволяет компенсировать РМ таким образом, чтобы обеспечивать необходимый объем генерации реактивной мощности в течение требуемого времени, с минимальными её перетоками.

В настоящее время исследование баланса потребления и генерации РМ позволит, применяя современные технологии, реализовать контроль и управление данным процессом в режиме реального времени, интегрировать этот процесс в АСКУЭ и АСУТП предприятия и добиться тем самым улучшения качества электроэнергии.

Исходя из изложенного выше, актуально определить целью исследования: путем анализа данных системы учета электроэнергии, определить баланс и динамику генерации и потребления реактивной мощности и на основании полученных данных определить возможность и рентабельность оптимизации баланса генерации и потребления реактивной мощности.

Для В этой связи целесообразно решить следующие задачи исследования:

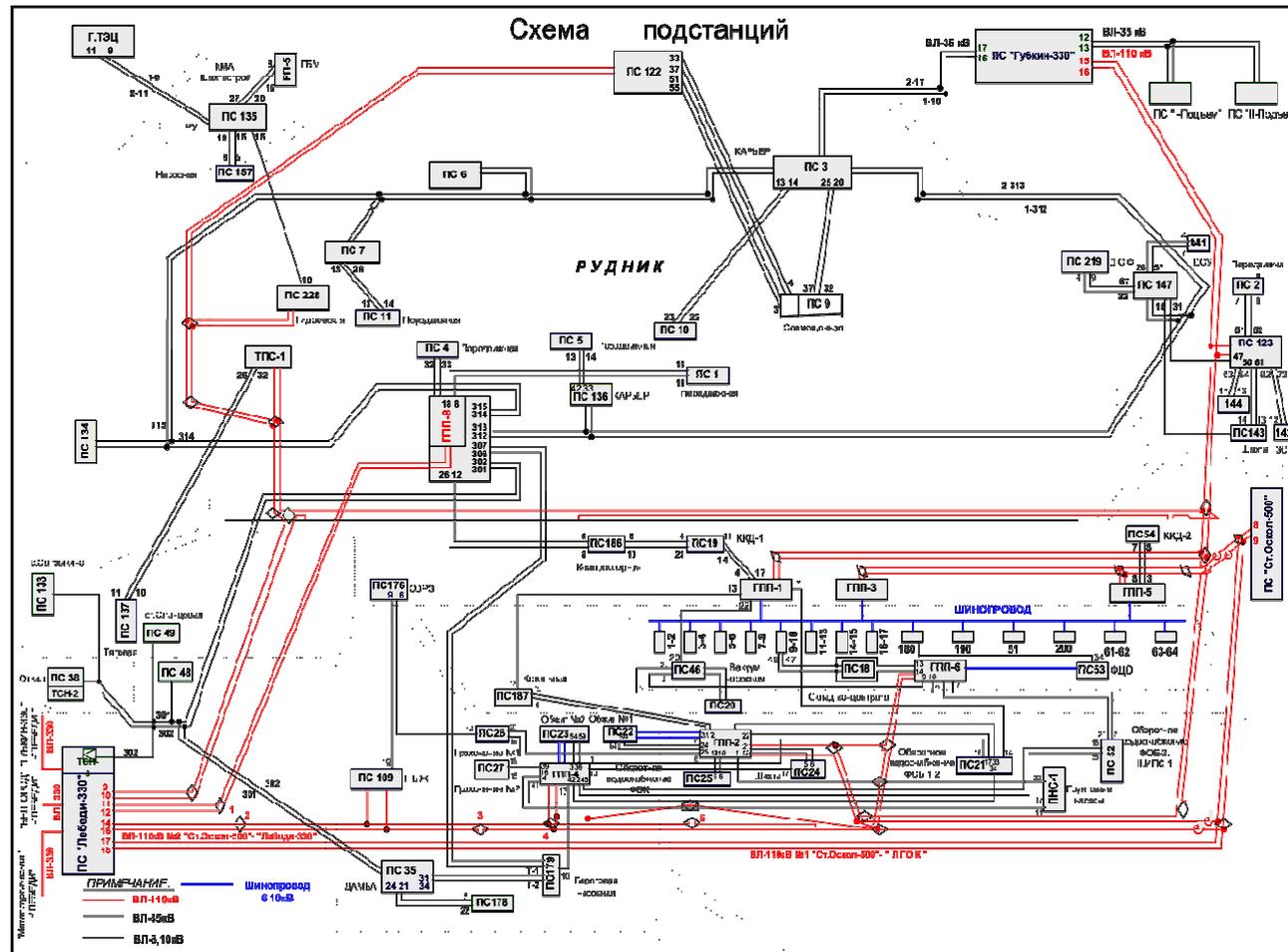


Рис. 1. Схема основных подстанций и системообразующих линий ЛебГОК

1. Определить баланс генерации и потребления активной и реактивной мощности на стороне 110 кВ;

2. Определить коэффициент мощности на шинах подстанций напряжением 110, 35, 6 кВ;

3. Установить динамику потребления РМ;

4. Определить возможность и пути повышения $\cos\varphi$ на исследуемых объектах, определить их рентабельность;

5. Разработать мероприятия по компенсации РМ.

Для определения БГиП РМ в сети ОАО «ЛебГОК» использовались данные, полученные с автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ), а также системы автоматизированного учета и контроля электроэнергии (САУКЭ). К анализу были приняты данные по потреблению активной и реактивной энергии по основным подстанциям ГОКа напряжением 330, 110, 35, 10 и 6 кВ за август и сентябрь 2007 с интервалом осреднения 1 час. Кроме этого были использованы материалы из отчета по измерению показателей качества электрической энергии за 2004 г.

Полученный объем данных составил около трех миллионов значений.

После определения БГиП РМ проблему компенсации реактивной мощности можно решать тремя путями:

1. Компенсация реактивной мощности с помощью автоматических регулируемых конденсаторных установок.

2. Использование потребителей регуляторов (Технологическое оборудование с синхронным электроприводом).

3. Внедрение фильтрокомпенсирующих устройств, включая улучшение электромагнитной совместимости оборудования.

Для определения БГиП РМ использовались данные САУКЭ. На основании полученных данных строились временные графики потребления и ге-

нерации реактивной мощности по фидерам основных подстанция ЛГОК.

Путем интеграции часовых данных значений активной и реактивной мощности в результате были определены направления основных потоков активной и реактивной энергии (рис. 2).

Данная схема демонстрирует баланс генерации и потребления активной и реактивной мощности между основными подстанциями. Основываясь на полученной схеме, экспериментальных и расчетных данных, построена диаграмма, отражающая объемы потребляемой мощности (активной и реактивной) подстанциями ГОКа при питании с шин п/с «Лебеди-330». Диаграммы, отражающие балансы потребления активной и реактивной энергии по п/с «Лебеди», представлены на диаграммах на рис. 3. Внешняя диаграмма – шины 330 кВ; внутренняя диаграмма – шины 110 кВ. Графики потребления активной и реактивной мощности на стороне 330 кВ п\с «Лебеди-330» приведены на рис. 4. Отрицательные значения потребления – генерация энергии в сеть.

Из графика видно, что общее потребление по подстанции идет, в основном, от п/с «Металлургическая». Во время работы п/с «Металлургическая» на шинах 330 кВ наблюдается перетоки от п/с «Губкин» и на п/с «Белгород» и наоборот. При отключении питания на п/с «Металлургическая» потребление активной энергии идет от п/с «Губкин», и реактивной – от п/с «Губкин» и п/с «Белгород». На графике отражена сумма объемов энергий, потребленных от подстанций «Губкин» и «Лебеди».

На рис. 5 Представлен график потребления реактивной мощности на подстанции «Лебеди-330» и «Старый Оскол-500».

Из представленных реализаций видно, что в системе имеется переток реактивной мощности с п/с «Старый Оскол-500» на п/с «Белгород-330».

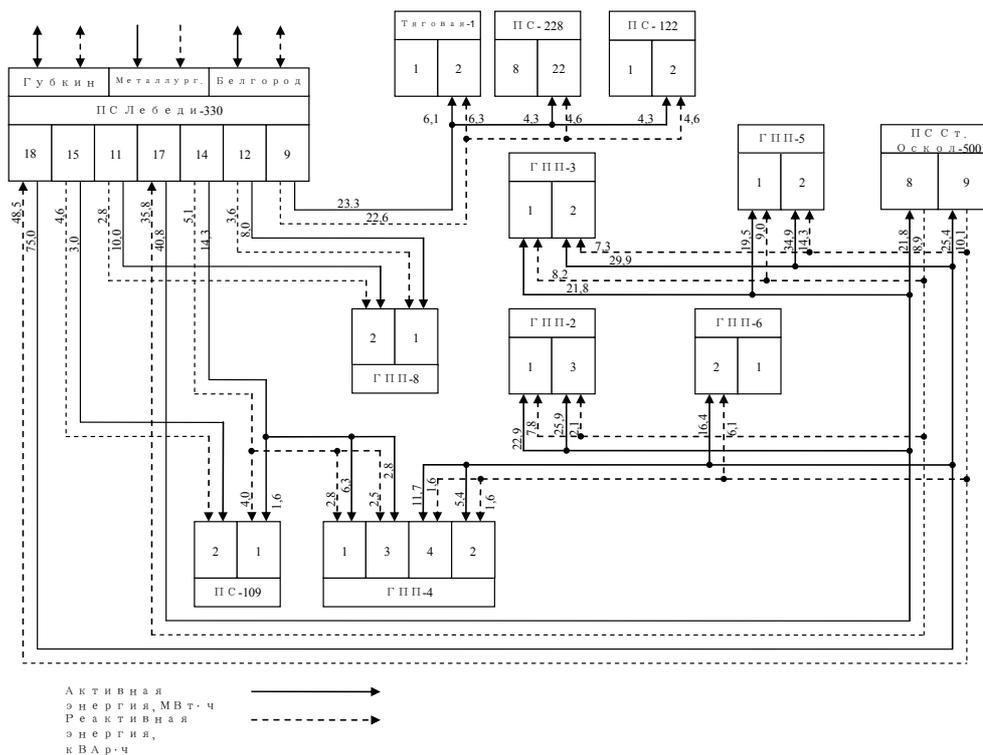


Рис. 2. Схема баланса потребления и генерации активной и реактивной мощности по основным подстанциям ЛебГОКа

данный факт делает полную компенсацию затруднительной, т.к. отмеченное явление не может быть устранено средствами потребителей.

Результаты определения коэффициента мощности на основных подстанциях ЛебГОКа представлены в табл. 1

В результате выявлены заниженные значения коэффициента мощности на подстанциях: ПС 121 (Тяговая-1), ПС-122, ПС-109.

Для увеличения коэффициента мощности путем компенсации реактивной энергии для указанных подстанций был произведен технико-экономический расчет и выбор автоматических конденсаторных установок на напряжение 6 и 10 кВ.

Выбор необходимой мощности компенсирующего устройства проводился по расчетно-графическим методом.

Выбор типа и мощности компенсирующего устройства (КУ) производился по средней потребляемой на участке сети реактивной мощности, по номинальному напряжению потребителей реактивной мощности, по уровню высших гармоник напряжения и тока, по динамике потребления реактивной мощности.

Величина капитальных затрат на внедрение КУ принималась равной стоимости КУ плюс 35 % от его стоимости: 20 % - стоимость транспортных расходов и 15 % - стоимость пусконаладочных работ.

Величина экономии активной энергии определялась через расчёт снижения тока в линии при применении КУ. К этой величине прибавлялась стоимость скомпенсированной реактивной мощности.

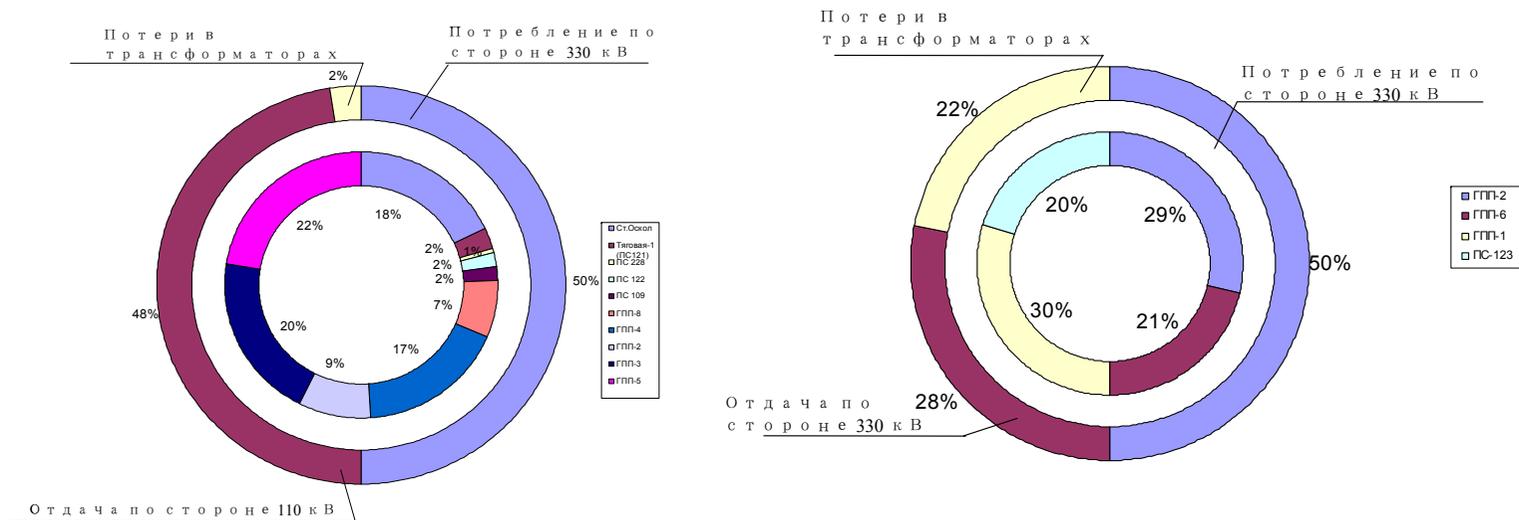


Рис. 3. Баланс потребления активной мощности по п/с «Лебеди-330»

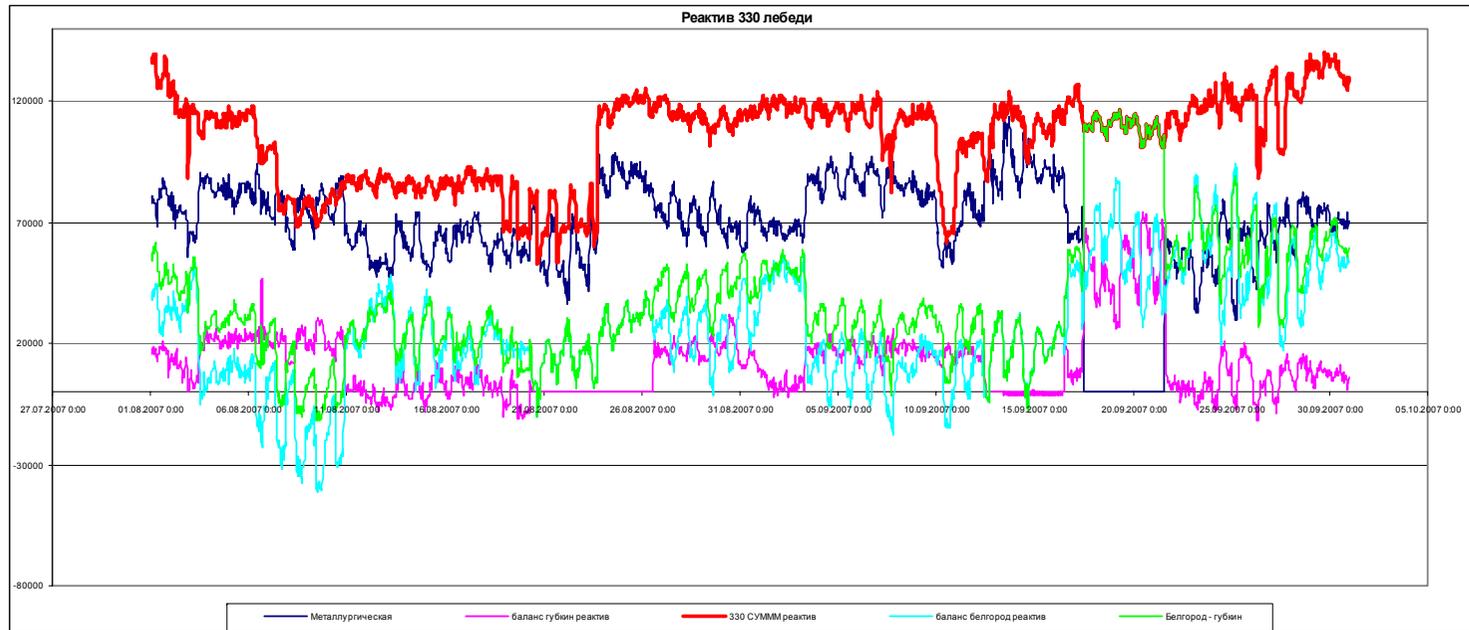


Рис. 4. График потребления реактивной мощности на стороне 330 кВ

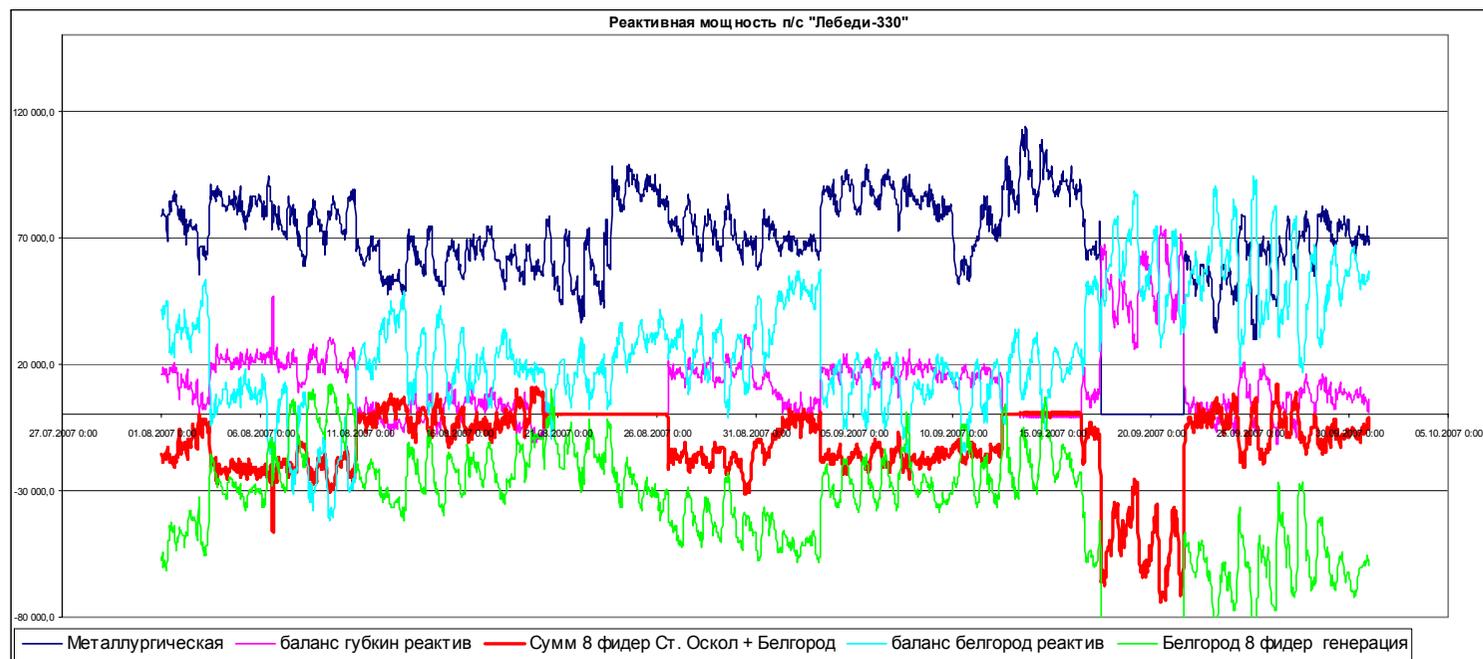


Рис. 5. Потребление реактивной мощности на подстанции «Лебеди-330» и «Старый Оскол-500»

Таблица 1
Коэффициент мощности на фидерах подстанций, получающих питание от п/с «Лебеди-330»

ПС	Напряжение	cosφ
Лебеди	330кВ	0,792628
Лебеди	110кВ (В-21, В-23)	0,819801
Лебеди	110кВ (В-9 – В-18)	0,817059
Ст.Оскол	110кВ	0,928239
Тяговая-1 (ПС121)	110кВ	0,696783
ПС 228	110 кВ	0,988274
ПС 122	110кВ	0,676811
ПС 109	6кВ	0,173395
ГПП-8	6 кВ	0,988274
ГПП-4	6 кВ	0,967947
ГПП-2	6кВ	0,949787
1	2	3
ГПП-3	6кВ	0,95778
ГПП-5	6кВ	0,929885

Стоимость реактивной мощности принималась равной 0,1 от величины стоимости активной мощности. Т.к. в среднем по ЛебГОКу стоимость активной мощности составляет 1 рубль/кВтч, то стоимость реактивной мощности будет составлять при расчётах 10 коп/кВАр.

Экономический эффект от внедрения автоматической конденсаторной установки складывается из следующих составляющих:

1. Экономия на оплате реактивной энергии. Оплата за реактивную энергию составляет от 10-12 % от активной энергии в различных регионах России.

$$\text{Эгр} = \text{Сг1} - \text{Сг2} =$$

$$= (\text{Пр1} - \text{Пр2})12 \cdot \text{Тр}$$

где Сг1 – годовая оплата за реактивную энергию до внедрения конденсаторной установки; Сг2 – годовая оплата за реактивную энергию после внедрения конденсаторной установки; Пр1 – потребление реактивной энергии за 1 месяц до внедрения конденсаторной установки; Пр2 – потребление реактивной энергии за 1 месяц после внедрения конденсаторной установки; Тр – тариф на реактивную энергию.

2. годовое снижение потребления активной энергии $W_c = W1[1 - \cos^2(\varphi1) / \cos^2(\varphi2)]Kп$

3. Для проектируемых объектов экономия на стоимости кабелей за счет уменьшения их сечения.

4. При значительной нагрузке силового трансформатора можно учитывать экономию от продления срока службы трансформаторов за счет снижения температуры перегрева обмоток.

Общий экономический эффект от предлагаемых к внедрению мероприятий приведен в табл. 2

При расчёте учитывались: капитальные вложения на закупку оборудования, затраты на доставку, монтаж и пусконаладку оборудования, амортизационные отчисления.

Направления дальнейших исследований в области исследования и оптимизации баланса генерации и потребления реактивной мощности состоит в выявлении зависимостей между технологическими процессами и изменением баланса генерации и потребления, а также динамикой генерации и потребления реактивной мощности.

Отыскание зависимостей между указанными процессами позволит получить математические модели исследуемых процессов, с помощью которых представится возможным прогнозирование и управление (оптимизация) БГиП РМ.

Кроме того, для предприятий, на электропотребление и нагрузку линий которых оказывает влияние энергосистема района, исследование балансов и динамики генерации и потребления активной и реактивной мощности позволит.

Таблица 2

Экономический эффект от внедрения компенсации реактивной мощности

Статьи затрат и экономии, тыс. руб.	Подстанции			Всего затрат и экономии, тыс. руб.
	121	122	109	
Закупка оборудования				16 800
Доставка, монтаж, пусконаладка	2 800	1 750	1 330	5 880
Амортизация	800	500	380	1 680
Итого: кап. затраты	11 600	7 250	5 510	24 360
Экономия от сокращения потерь активной мощности	7 449	5 492	5,3	12 946,3
Экономия от сокращения потребления реактивной мощности	6 030	5 561	3 015	14 606
Итого: экономия	13 479	11 053	3 020	27 552,3

Заключение и рекомендации

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. В результате исследования, проведенного на ОАО «Лебединский ГОК», были определены балансы генерации и потребления реактивной мощности.

2. На основании определенных балансов был сделан вывод о том, что на части основных подстанций требуется компенсация реактивной мощности, а также внедрение фильтрокомпенсирующих устройств.

3. На отходящих шинах подстанции «Лебеди-330» $\cos\varphi$ ниже, чем допускается по ГОСТ 13109-97. Компенсация реактивной мощности на подстанциях не в состоянии поднять значение данного показателя до необходимой величины. Данный факт объясняется перетоком реактивной мощности по линиям подстанций Леб-ГОКа под влиянием внешней сети.

4. Даны рекомендации по повышению энергоэффективности.

По произведенным расчетам можно сделать следующие рекомендации для повышения энергоэффективности

1. С целью повышения $\cos\varphi$ на подстанции №121 «Тяговая-1» рекомендуется внедрить фильтрокомпенсирующее устройство типа и ФКУ-6,3-4150-3ХЛ1.

2. С целью повышения $\cos\varphi$ на подстанции ПС 109 рекомендуется внедрение конденсаторной установки КРМ-6,3-4500-ХЛ1 на п/с № 109.

3. Для внедрения рекомендуются ФКУ и КРМ фирмы-изготовителя ООО «Матик-электро» как современные, отвечающие всем требованиям надежности и безопасности, изготовленные из экологически безопасных материалов. Данные установки могут быть подключены посредством стандартного промышленного протокола Modbus к пункту диспетчеризации для отслеживания режимов их работы и управления генерацией реактивной мощности. **ТИАБ**

Коротко об авторах

Ляхомский А.В. – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» Московского государственного горного университета,

Попельных В.И. – главный энергетик Лебединского ГОКа,

Вахрушев С.В. – заместитель главного энергетика Лебединского ГОКа,

Петров Д.А. – аспирант кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» Московского государственного горного университета.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 20 симпозиума «Неделя горняка-2008».