

ӘМІРБЕК ДИНАРА ӘМІРБЕКҚЫЗЫ

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАСЧЕТЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

6N0718 - Электроэнергетика

Автореферат магистерской диссертации
на соискание академической степени магистра технических наук по
специальности «Электроэнергетика»

Республика Казахстан
г. Усть – каменогорск
2011

Работа выполнена в Восточно–Казахстанском государственном техническом университете им. Д. Серикбаева

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Квасов А.И.

Официальный оппонент: доктор технических наук,
академик МАИ Кошумбаев М.Б.

Защита состоится 20 июня 2011г. в 9-00 на заседании Диссертационного совета для защиты магистерских диссертаций при Восточно-Казахстанском государственном техническом университете им. Д. Серикбаева по адресу: 070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева 19, аудитория Г1-317

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева.

Автореферат разослан «20» мая 2011 г

Ученый секретарь
Диссертационного совета

Сегеда Т.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одна из актуальнейших проблем современных экономики и промышленности РК - дефицит электроэнергии и изношенность энергетической системы. Это достаточно веский аргумент, чтобы со всей серьезностью подойти к анализу и аудиту энергопотребления и выработке методики энергосбережения. Компенсацию реактивной мощности в полной мере можно отнести к энергосберегающим технологиям. Повышение $\cos(\varphi)$ позволяет уменьшить потребление из сети активной и реактивной энергии и увеличить за счет разгрузки по мощности срок службы оборудования.

Цель работы.

Оценка эффективности энергосберегающих мероприятий с применением компенсирующих установок на действующей энергосистеме АО «ВКРЭК» Лебоверезный РЭС, а также определение наивыгоднейших решений по выбору способа компенсации реактивной мощности.

Объектом исследования является электрическая сеть АО «ВКРЭК» Лебоверезный РЭС.

Предметом исследования является оптимизация режимов работы путем регулирования реактивной мощности.

Методы исследования: при решении поставленных задач использованы методы теории электроэнергетических систем, методы оптимизации, методы математического моделирования.

Для поставленной цели в диссертации решались следующие **основные задачи:**

- изучение основных типов компенсирующих устройств и условий их работы;
- сравнение методов определения мощности компенсирующих устройств;
- определение мощности компенсирующих установок (КУ) для конкретных сетей, исходя из графиков нагрузки потребителей;
- определение основных требований, предъявляемых к системе автоматического регулирования устройства для обеспечения нормальной работы и оптимальных режимов электроэнергетической системы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработка методов оценки эффективности применения компенсирующих устройств, основанных на анализе графиков нагрузки потребителей;
2. Попытка внедрение компенсации в конкретных сетях АО «ВКРЭК»;
3. Расчетами подтверждена целесообразность применения компенсирующих устройств для значительного расширения потенциала использования пропускной способности существующей электрической сети в широком диапазоне электрических режимов.

Практическая значимость полученных результатов.

Реализация системного подхода к компенсации реактивной мощности как к эффективному средству снижения потерь электроэнергии в распределительных сетях.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в проектных, научно-исследовательских и эксплуатационных организациях при решении задач перспективного развития энергосистем, выбора средств компенсации реактивной мощности, средств режимного управления.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты анализа текущего состояния потребления реактивной мощности и технических потерь Левобережного РЭСа;
- результаты обследования компенсации реактивной мощности в электрических сетях;
- методика расчета оптимальной мощности компенсирующих устройств для конкретных сетей;
- описание прикладного программного обеспечения;
- технико-экономические показатели эффективности разработанных мероприятий по энергосбережению.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались: на X, XI Республиканской научно – технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана» (ВКГТУ им. Д.Серикбаева апрель 2010 г, апрель 2011 г); на заседании кафедры «Промышленная энергетика» ВКГТУ им. Д. Серикбаева (май 2011 г). За отличные результаты по итогам конференций награждена дипломом I степени.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 научных статьи в изданиях республиканских конференций:

1. Әмірбек Д.Ә. Реактивті қуаттың электр энергиясы сапасына әсерін бағалау // «Жастар шығармашылығы – Қазақстанның инновациялық дамуына» атты студенттердің, магистранттардың, аспиранттар мен жас ғалымдардың X Республикалық ғылыми-техникалық конференцияның жинағы. - Өскемен қаласы, 2010 ж. - V бөлім. - 27-28 б.;

2. Әмірбек Д.Ә., Квасов А.И. Системный подход в управлении реактивной мощностью // Сборник трудов XI Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 20-летию Независимости Республики Казахстан «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана». - Усть-Каменогорск, 2011 г. - Часть I. – с. 59-60;

3. Амирбек Д.А. Оптимизация режима по реактивной мощности // Сборник трудов IV Международной научно – практической конференции студентов и молодых ученых «Интеллектуальный потенциал молодежи XXI века в инновационном развитии современного общества». - Усть-Каменогорск, 2011 г. - Часть I. – с. 152-154.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Основное содержание работы изложено на 95 страницах машинописного текста, иллюстрированного таблицами и рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации и дана общая характеристика выполненной работы. Сформулированы цель работы, научная новизна и практическая ценность работы.

В **первом** разделе «**Состояние вопроса энергосбережения для распределительной сети**» проведен анализ исходного состояния проблемы энергосбережения, выполнен общий обзор существующих компенсирующих устройств в электрических сетях: традиционные устройства и устройства на основе новых технологий гибких линий электропередачи переменного тока. Проанализированы некоторые аспекты деятельности в электроэнергетическом бизнесе с использованием компенсации реактивной мощности.

Во **втором** разделе «**Методы оптимизации компенсации реактивной мощности распределительных сетях**» изложена основная идея оптимизации электрической сети. Предложен и реализован системный подход к оптимальной компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. Разработан метод оптимизации по реактивной мощности. Требуемая в электроэнергетической системе (ЭЭС) суммарная мощность компенсирующих устройств определена из уравнения баланса реактивной мощности (1). Эту мощность необходимо разместить в узлах электрической сети с минимальными затратами.

$$\sum Q_G = \sum Q_H + \sum Q_{CH} + \Delta Q_\Sigma = \sum Q_P \quad (1)$$

где $\sum Q_G$ - суммарная реактивная мощность, генерируемая в ЭЭС, включая реактивную мощность, поступающую из соседних ЭЭС;

$\sum Q_H$ - суммарная реактивная мощность потребителей ЭЭС, включая реактивную мощность, отдавая в соседние ЭЭС;

$\sum Q_{CH}$ - суммарная реактивная мощность собственных нужд электростанций;

ΔQ_Σ - суммарные потери реактивной мощности;

$\sum Q_P$ - суммарное потребление реактивной мощности в ЭЭС.

Целевая функция, представляющая собой суммарные затраты на установку компенсирующих устройств и покрытие потерь активной мощности в схеме, имеет следующий вид:

$$Z = z_0 \cdot (Q_{k1} + Q_{k2}) + \alpha_1 \cdot (Q_1 + Q_2 - Q_{k1} - Q_{k2})^2 + \alpha_2 \cdot (Q_2 - Q_{k2})^2 \rightarrow \min$$

$$\text{где } \alpha_1 = \frac{R_1 \cdot c_0 \cdot 10^{-3}}{U_2} = 0,0006; \quad \alpha_2 = \frac{R_2 \cdot c_0 \cdot 10^{-3}}{U_2} = 0,0004.$$

Введение числового коэффициента 10^{-3} необходимо для приведения всех составляющих целевой функции к одной размерности.

Для решения задачи выбрано метод покоординатного спуска. Определены частные производные целевой функции Z по переменным Q_1 и Q_2 :

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{k1}} = z_0 - 2 \cdot \alpha_1 \cdot (Q_1 + Q_2 - Q_{k1} - Q_{k2}),$$
$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{k2}} = z_0 - 2 \cdot \alpha_1 \cdot (Q_1 + Q_2 - Q_{k1} - Q_{k2}) - 2 \cdot \alpha_2 \cdot (Q_2 - Q_{k2})$$

Применяя приближение, вычисляются значения целевой функции и ее частные производные.

Спуск по координате Q_{ki} следует продолжать до тех пор, пока $Z_n < Z_{n-1}$. Как только Z_n становится больше предыдущего значения Z_{n-1} , следует спуск к координате Q_{ki} прекратить и вернуться к значениям переменных $Q_{k1(n-1)}$ и $Q_{k2(n-1)}$, полученным на $n-1$ шаге.

В третьем разделе «**Разработка программного обеспечения метода оптимизации**» рассмотрены вопросы оптимизации текущего режима электропотребления по реактивной мощности и разработки адаптивной системы управления режимами электропотребления.

Для оптимизации режимов по реактивной мощности разработан комплекс программ (рисунок 1). Его условно можно разделить на две части:

интерфейсная часть, разработанная в удобном, понятном виде, предназначенная для работы с пользователем любого уровня;

расчетная часть, которая непосредственно выполняет необходимые расчеты для получения оптимальных режимов.

В интерфейсную часть комплекса входят программы ввода следующих параметров: линий, трансформаторов, нагрузок.

В расчетную часть входят следующие программы:

формирования узловой матрицы;

формирования векторов узловых токов без оптимизации мощностей компенсирующих устройств;

расчета узловых напряжений;

формирования векторов ограничений узловых токов;

расчета оптимальных значений узловых напряжений;

расчета оптимальных значений мощностей компенсирующих устройств.

Для решения задачи нелинейного программирования и определения оптимальных узловых напряжений была разработана программа, которая реализует последовательный алгоритм квадратичного программирования и конечноразностный градиент.

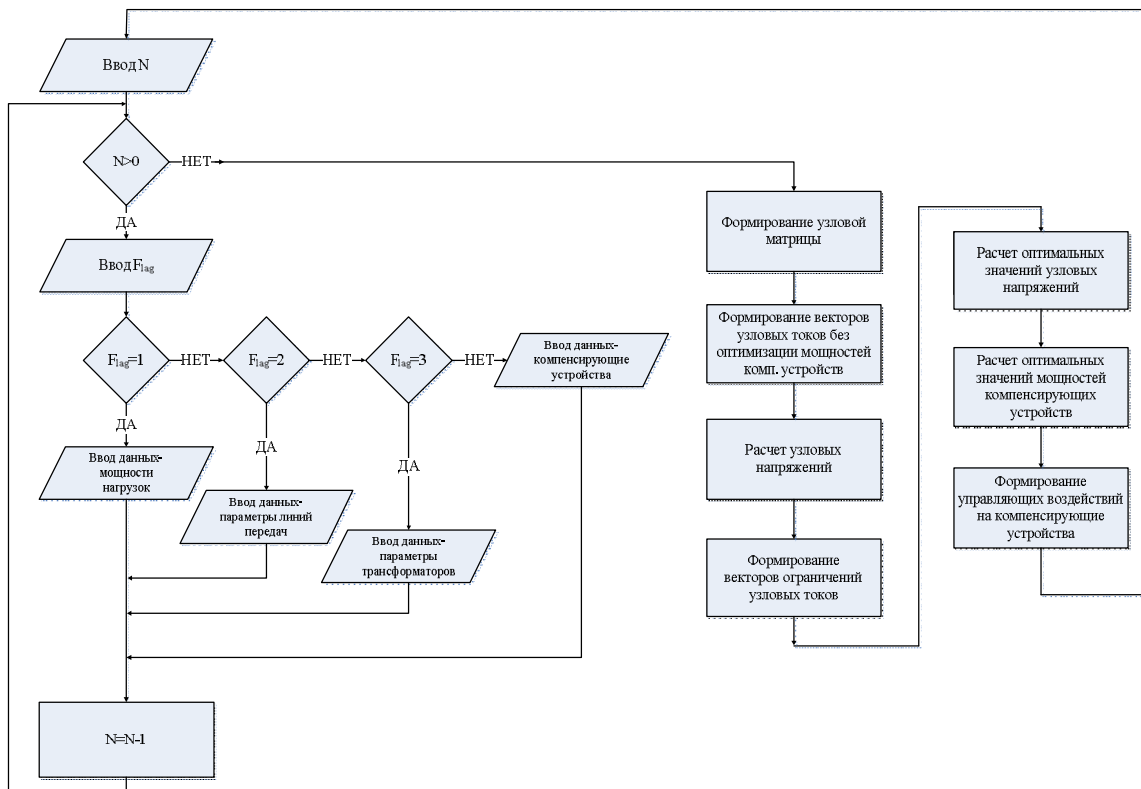


Рисунок 1 – Блок-схема разработанного программного обеспечения

Параметры программы:

входные: m , m_e , n , x_{guess} , $ibtype$, $xscale$, $iprint$, $maxitn$;

входной/выходной: xlb , $xhub$;

выходные: x , $fvalue$.

m - общее число ограничений.

m_e – число ограничений равенства.

n – число переменных.

x – вектор начальных значений напряжений (активных и реактивных составляющих).

x_{guess} – вектор размена n , содержащий начальное предположение о значениях напряжений;

$ibtype$ – скаляр, задающий вид ограничений на переменные:

$ibtype=3$ – задаем ограничение на напряжение первого узла, все остальные будут иметь те же ограничения.

xlb – вектор размера n , содержащий нижние границы переменных:

входная, если $ibtype=0$;

выходная, если $ibtype=1$ или 2 ;

входная/выходная, если $ibtype=3$.

$xhub$ - вектор размера n , содержащий верхние границы переменных:

входная, если $ibtype=0$;

выходная, если $ibtype=1$ или 2 ;

входная/выходная, если $ibtype=3$.

xscale – вектор размера n, содержащий диагональную матрицу масштабирования переменных. Все элементы вектора xscale равны 1.0.

iprint – параметр, задающий желаемый уровень печати; принимает следующие значения:

0 – нет печати;

1 – выводится итоговый анализ о работе программы;

2 – дополнительно на каждой итерации выводится одна строка с промежуточными результатами;

3 – о каждой итерации выводится детальная информация.

maxitn – максимально допустимое число итераций.

x – вектор размера n, содержащий вычисленное решение.

fvalue – скаляр, содержащий значение целевой функции в полученном решении.

Общая задача нелинейного программирования, решаемая данной программой, состоит в поиске минимума целевой функции

$$\min_{x \in R^n} f(x) \quad (2)$$

с ограничениями

$$g_j(x) = 0, j = 1, \dots, m_c$$

$$g_j(x) \geq 0, j = m_c + 1, \dots, m_c,$$

$$x_i \leq x \leq x_u, \quad (3)$$

где все функции задачи являются непрерывно дифференцируемыми.

При решении поставленной задачи целевая функция представляет собой потери мощности и имеет вид:

$$\Delta S = \Delta P + j\Delta Q = \sum_{K=1}^M (\dot{U}_{Ka} + \dot{U}_{Kp})^2 \cdot (g_K + jb_K), \quad (4)$$

где \dot{U}_{Ka} , \dot{U}_{Kp} – соответственно активная и реактивная составляющие векторов узловых напряжений;

g_K , b_K – соответственно активная и реактивная составляющие векторов узловых проводимостей.

Роль нелинейных ограничений выполняет система узловых уравнений с источниками реактивной мощности.

В этом разделе еще предложена система автоматизации процесса распределения реактивной мощности. Разработанная система автоматизации производит сбор необходимых параметров, рассчитывает текущий режим, определяет оптимальные мощности компенсирующих устройств и передает

управляющие воздействия на устройства, регулирующие мощности компенсирующих устройств.

В четвертом разделе «Расчет оптимальных режимов для сетей 10 кВ в Левобережных региональных энергетических сетях (ЛБРЭС)» выполнены следующие работы:

1. Проведен анализ режима работы электросетей ОАО «ЛБ РЭС» в целях выявления узлов, участков сети с повышенным потреблением реактивной мощности на основании составления локальных балансов реактивной мощности.

2. Осуществлен постоянно действующий мониторинг баланса реактивной мощности в электрических сетях 10-110 кВ.

3. Предложены мероприятия, обеспечивающие минимальную мощность потерь, учет и контроль реактивной энергии.

4. Определен оптимальный тангенс ($\text{tg}\varphi_{\text{опт}}$) потребителей.

Для уточненного расчета и для анализа расхода электроэнергии за год, воспользовались суточными замерами расхода энергии «ЛБ РЭС» в летний (16.06.2010 г) и зимний (23.12.09 г) периоды (рисунок 2), полученные технико-экономические показатели проанализированы с годовыми потерями электроэнергии определенной по годовому графику (рисунок 3).

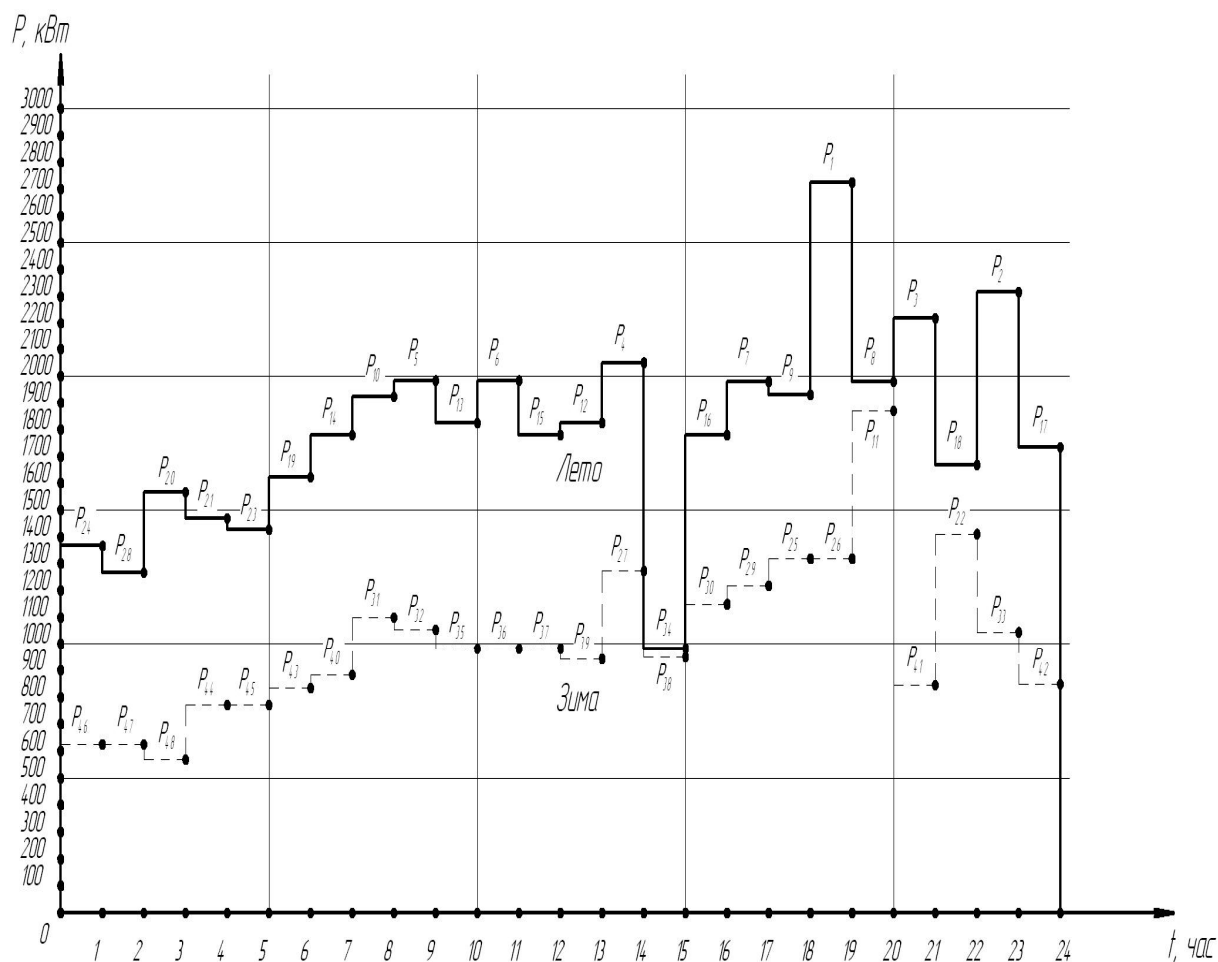


Рисунок 2 – Суточный график активной нагрузки ВЛ-301

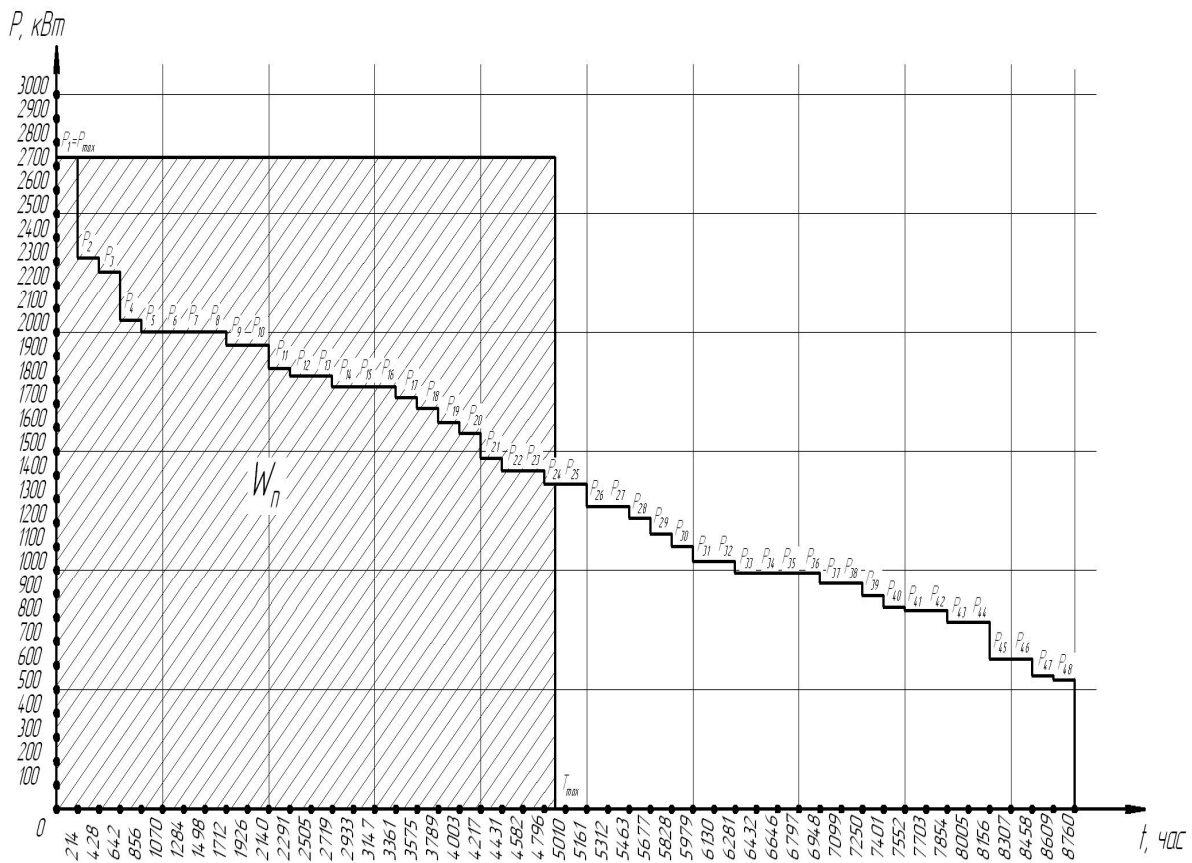


Рисунок 3 – Годовой график по продолжительности нагрузки ВЛ-301

На основе суточных графиков реактивной нагрузки для ПС №42 «ЛБРЭС» были определены мощности КУ из условий: 1 - по экономическому тангенсу; 2 - по критерию минимума приведенных затрат. Выбран оптимальный вариант: показана экономическая целесообразность применения управляемых конденсаторных установок.

Рассмотрен вопрос регулирования реактивной мощности в сетях ОАО «ВКРЭК» Левобережного региона, ПС №42 – 110 кВ.

На основании расчетных данных в схеме решались вопросы необходимого количества устройств компенсации реактивной мощности, а также места их размещения. Рекомендуются установка непосредственно в узлах подключения нагрузки, таких как шины 10 кВ, всех подстанций, питающихся от ПС №42. Приоритетным является размещение компенсирующих устройств непосредственно у потребителя, так как это коренным образом влияет на потери электроэнергии в сети и на ее качество у потребителя. Батарея конденсаторов в данном варианте установки является одновременно и элементом регулирования напряжения.

В пятом разделе «Технико-экономические характеристики и экономическая оценка эффективности разработанных мероприятий» экономическая эффективность КУ оценивалась относительно базового варианта энергоснабжения (без КУ) путем сравнения приведенных затрат, учитывающих стоимость самих КУ, затраты на их эксплуатацию, стоимость потерянной

электроэнергии и плату за потребление и генерацию реактивной электроэнергии.

Определено снижение потерь активной мощности в сети после установки КУ в i -м узле. Рассчитан режим после КРМ. Проанализированы уровни напряжения в узлах, и решен вопрос об их оптимизации в случае необходимости с помощью устройств РПН силовых трансформаторов, или путем оптимизации напряжений источников питания.

Эффект от снижения коэффициента реактивной мощности приведен в таблице 1

Таблица 1 - Эффект от снижения коэффициента реактивной мощности

tg φ (cos φ) до компенсации	tg φ (cos φ) после компенсации	Снижение полной мощности в %	Снижение потерь активной мощности в %
1,0 (0,71)	0,5 (0,89)	20,94	37,50
0,8 (0,77)	0,5 (0,89)	12,70	23,78
0,6 (0,86)	0,5 (0,89)	4,13	8,09
1,0 (0,71)	0,4 (0,93)	23,84	42,0
0,8 (0,77)	0,4 (0,93)	15,90	29,2
0,6 (0,86)	0,4 (0,93)	7,65	14,71
1,0 (0,71)	0,35 (0,94)	25,08	43,88
0,8 (0,77)	0,35 (0,94)	17,27	31,55
0,6 (0,86)	0,35 (0,94)	9,15	17,46

Таким образом, при рассмотренном уровне стоимости КУ, их установка является экономически целесообразной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты работы состоят в следующем:

- разработаны методы оценки процесса режима потребления реактивной мощности для распределительной сети;
- получены данные, отражающие влияние конденсаторных установок на экономию электрической энергии для распределительной сети конкретного энергетического компании АО «ВКРЭК»;
- определен оптимальный тангенс (tg $\varphi_{\text{опт}}$) потребителей по суточному графику;
- разработан программный комплекс, позволяющий расширить возможности оптимизации распределительной сети по реактивной мощности.

Оценка полноты решений поставленных задач. Поставленная цель работы достигнута, задачи исследования решены полностью. Результаты исследования доведены до логического завершения в виде расчетных значений

на основе аналитического решения системы уравнений для определения оптимального значения мощности компенсирующих устройств.

Разработка рекомендаций по использованию результатов.

Программный комплекс может использоваться проектными организациями при разработке мероприятий по энергосбережению.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения.

Внедрение полученных результатов исследования на основе компенсации реактивной мощности позволит определить пути оптимизации реального режима

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области. Проведенный обзор литературы, результаты теоретического и прикладного исследования позволяют сделать вывод о том, что в диссертационной работе использованы положения, соответствующие современному уровню развития электроэнергетики по направлению энергосбережения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Әмірбек Д.Ә. Реактивті қуаттың электр энергиясы сапасына әсерін бағалау // «Жастар шығармашылығы – Қазақстанның инновациялық дамуына» атты студенттердің, магистранттардың, аспиранттар мен жас ғалымдардың X Республикалық ғылыми-техникалық конференцияның жинағы. - Өскемен қаласы, 2010 ж. - V бөлім. - 27-28 б.;

2. Әмірбек Д.Ә., Квасов А.И. Системный подход в управлении реактивной мощностью // Сборник трудов XI Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 20-летию Независимости Республики Казахстан «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана». - Усть-Каменогорск, 2011 г. - Часть I. – с. 59-60;

3. Амирбек Д.А. Оптимизация режима по реактивной мощности // Сборник трудов IV Международной научно – практической конференции студентов и молодых ученых «Интеллектуальный потенциал молодежи XXI века в инновационном развитии современного общества». - Усть-Каменогорск, 2011 г. - Часть I. – с. 152-154.

АННОТАЦИЯ

Актуальность темы исследования заключается в применении энергосберегающих технологий при проектировании и расчете распределительных сетей

Ключевые слова: энергосбережение, оптимизация, реактивная мощность, активная мощность, потери мощности, автоматизация.

Цель работы - оценка эффективности энергосберегающих мероприятий с применением компенсирующих установок на действующей энергосистеме АО «ВКРЭК» Лебовережный РЭС, а также определение наивыгоднейших решений по выбору способа компенсации реактивной мощности.

Объект исследования - электрическая сеть АО «ВКРЭК» Лебовережный РЭС.

Предмет исследования – оптимизация режимов работы путем регулирования реактивной мощности.

Научная новизна:

1. Разработка методов оценки эффективности применения компенсирующих устройств, основанных на анализе графиков нагрузки потребителей;

2. Попытка внедрение компенсации в конкретных сетях АО «ВКРЭК»;

3. Расчетами подтверждена целесообразность применения компенсирующих устройств для значительного расширения потенциала использования пропускной способности существующей электрической сети в широком диапазоне электрических режимов;

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Основное содержание работы изложено на 95 страницах машинописного текста, иллюстрированного таблицами и рисунками.

ABSTRACT

The relevancy of the research issue is the computation and projection of distribution nets on basis of energy-efficient technology.

Key words: energy conservation, optimization, reactive power, active power, loss of power, automation.

Research aim is the computation of performance of energy-efficient activities with use of compensative plants on working power system AO “БКРЭК” Levoberezhniy RES, and also detection of the most advantageous solutions of choice of method.

The object of research – power grid of AO “БКРЭК” Levoberezhniy RES

The subjects of research – is lowering of technical quantity, the loss of electricity by means of optimization of regime of reactive power.

Scientific novelty and value of work:

1. Development of methods in estimation efficiency in use of bucking-out system based on analysis of graphs loads of consumers in;
2. Attempt of adoption of compensation in;
3. Reasonability of application of bucking-out system for considerable expansion of usage potential capacity for exist power grid in a big variation of electrical process;

The dissertation consists of introduction, five paragraphs, list of the used sources and applications. The main contents of the work lay on 95 pages in typescript, illustrated by tables and drawings.

АҢДАТПА

Зерттелу тақырыбының өзектілігі. Таратушы тораптарды энергияны үнемдеуші технологиялардың көмегімен есептеу және жобалау.

Тірек сөздер: энергияны үнемдеу, үйлесімділеу, реактив қуат, актив қуат, қуат шығыны, автоматтандыру.

Жұмыстың мақсаты - «ШҚАЭК» АҚ Лебовережный РЭС энерго жүйесінде қарымталаушы қондырғыларды қолдану арқылы жүргізілетін энергия үнемдеу шараларының тиімділігін бағалау, содай – ақ реактивті қуаттарды қарымталау әдістерінің ең тиімді шешімін анықтау.

Зерттеу объектісі - «ШҚАЭК» АҚ Лебовережный РЭС электрлік торабы.

Зерттеу заты – реактивті қуатты реттеу жолымен жұмыс режимін үйлесімділеу.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы:

1. Қарымталаушы құрылғыларды қолдану тиімділігін бағалайтын тұтынушылардың жүктеме графигіне негізделген әдістерді пайдалану;

2. «ШҚАЭК» АҚ тораптарына қарымталаушы шараларды енгізуге тырысу;

3. Кең ауқымды электрлік режимдерде электрлік тораптардың өткізу қабілеттілігін арттыру үшін қарымталаушы құрылғыларды пайдаланудың тиімділігі жүргізілген есептеулер арқылы дәлелденді.

Ғылыми жұмыстың құрылымы және көлемі. Магистрлік диссертация кіріспеден, 5 бөлімнен, қорытынды, әр аталымдағы қолданылған әдебиеттер тізімінен және қосымшадан тұрады. Жұмыстың негізгі мазмұны барлығы 95 бетті құрайды.