

**ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
РЕГУЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ
МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Гайибов Т.Ш.

Заведующий кафедрой «Электрические станции, сети и системы»

Ташкентского государственного технического университета

имени Ислама Каримова,

доктор технических наук, профессор

Айтбаев Н.А.

Студент магистратуры Ташкентского государственного технического

университета имени Ислама Каримова

**EQUIVALENCE OF FINDING OF OPTIMAL QUANTITIES OF
CONTROLLABLE PARAMETERS AT MINIMIZING OF POWER LOSSES
IN ELECTRICAL NETWORKS**

Gayibov T.Sh.

Head of chair "Power plants, systems and networks" of Tashkent state technical

university named after Islam Karimov, doctor of technical sciences, professor

Aytbaev N.A.

Undergraduate student of Tashkent state technical university named

After Islam Karimov

Аннотация

В статье приводятся результаты исследований по определению эквивалентности нахождения оптимальных значений напряжения, реактивной мощности узла и коэффициента трансформации повышающего трансформатора, обеспечивающих минимальные потери активной мощности в электрических сетях. Даны результаты расчетных экспериментов на конкретном примере, где показана одинаковость оптимальных режимов по перечисленным параметрам.

Abstract

In the article the results of research on determining of equivalence of finding of optimal quantities of bus voltage, reactive power and transformer coefficient of step-up transformer, which provide the minimum of power losses in networks are presented. The results of calculating experiments in example, where the equality of optimal regimes on abovementioned parameters are given.

Ключевые слова: Оптимизация, минимизация потерь, эквивалентность, оптимальный режим, параметр, оптимальное планирование, оперативное управление.

Keywords: Optimization, minimization of losses, equivalence, optimal regime, parameter, optimal planning, operative control.

Одной из основных задач, решаемых при планировании и оперативном управлении режимами электроэнергетических систем (ЭЭС), является оптимизация режимов их сетей. Она предусматривает минимизацию потерь активной мощности в допустимой области режимов электрической сети ЭЭС. При этом определяются оптимальные уровни напряжений в контролируемых точках ЭЭС, реактивные мощности источников и коэффициенты трансформации регулируемых трансформаторов, обеспечивающих принудительное экономичное распределение потоков мощностей в контурах электрической сети. Исходными данными являются активные и реактивные нагрузки всех узлов, а также активные генерируемые мощности электростанций. В число заданных параметров входят также минимально и максимально возможные значения регулируемых параметров и некоторые их функции, которыми определяются области допустимых режимов электрической сети.

Рассматриваемая задача оптимизации формулируется следующим образом:

минимизировать функции суммарных потерь активной мощности в электрических сетях

$$\pi = \sum_{i=0}^n P_i \rightarrow \min \quad (1)$$

при выполнении условий:

а) баланса мощностей в узлах:

$$\left. \begin{aligned} W_i' &= P_i - \bar{P}_i = 0, \quad i \in \Gamma + H; \\ W_i'' &= Q_i - \bar{Q}_i = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

б) режимных и технических ограничений в форме неравенств:

$$U_{i,min} \leq U_i \leq U_{i,max}, \quad i \in \Gamma + H; \quad (3)$$

$$Q_{i,min} \leq Q_i \leq Q_{i,max}; \quad i \in \Gamma - \Gamma_1; \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{Tl,min}' &\leq K_{Tl}' \leq K_{Tl,max}' \\ K_{Tl,min}'' &\leq K_{Tl}'' \leq K_{Tl,max}'' \end{aligned} \right\}, \quad l \in T_K; \quad (5)$$

$$P_{l,min} \leq P_l \leq P_{l,max}, \quad l \in L_P; \quad (6)$$

$$I_{l,min} \leq I_l \leq I_{l,max}, \quad l \in L_I; \quad (7)$$

где n - число узлов в электрической сети; H, Γ - множество нагрузочных и генераторных узлов (за исключением балансирующего узла), соответственно; Γ_1 - множество генераторных узлов, реактивные мощности которых нерегулируемые; T_K - множество ветвей, содержащих трансформаторы с регулируемыми коэффициентами трансформации (в общем случае с продольно-поперечным регулированием); L_P, L_I - множество ветвей, в которых контролируются потоки активных мощностей и токи; $P_i, Q_i, \bar{P}_i, \bar{Q}_i$ - расчетные и заданные значения активной и реактивной мощностей i -го узла, соответственно.

Рассматриваемая задача относится к классу сложных задач нелинейного математического программирования. В настоящее время наиболее распространенный подход при её решении основан на разделении процесса решения на циклы итераций, в каждом из которых выполняется шаг оптимизации и расчёт установившегося режима электрической сети [1-4]. В

широко применяемых на практике алгоритмах [2, с.346-357] оптимизация осуществляется градиентным методом, а расчёт установившегося режима электрической сети – методом Ньютона-Рафсона. Эти алгоритмы обладают рядом преимуществ, характеризуемых, в основном, простотой, возможностью легко учитывать простые и сложные ограничения. Вместе с тем, их нельзя считать совершенными. Сходимость итерационного процесса вычисления является медленной, а иногда, при оптимизации режимов сложных электрических сетей с большим количеством узлов и ограничениями в виде равенств и неравенств, ненадежной. Такие недостатки, недопустимые при краткосрочном планировании и оперативном управлении режимами электрических сетей, показаны, в частности, в работе [3, с.58-61] на конкретном примере оптимизации режимов электрических сетей по напряжениям узлов. Перечисленные трудности связаны, в частности, с разномасштабностью оптимизируемых параметров. В связи с этим, замена оптимизации по перечисленным выше параметрам с меньшим количеством обобщенных параметров, при оптимальных значениях которых обеспечивается минимум суммарных потерь активной мощности в электрических сетях вызывает особый интерес.

В данной работе с целью выявления такого обобщенного параметра приводятся результаты исследования авторами эквивалентности поиска оптимальных значений регулируемых параметров, т.е. реактивной мощности узла, напряжения узла и коэффициента трансформации повышающего трансформатора в узле.

Оптимизация по отдельным параметрам осуществлена по алгоритмам, описанным в [4, с.113-153].

Исследования выполнены, в частности, на примере электрической сети, схема которой представлена на рисунке. Осуществлена отдельная оптимизация по напряжению, реактивной мощности узла 4 и коэффициенту трансформации повышающего трансформатора в этом узле.

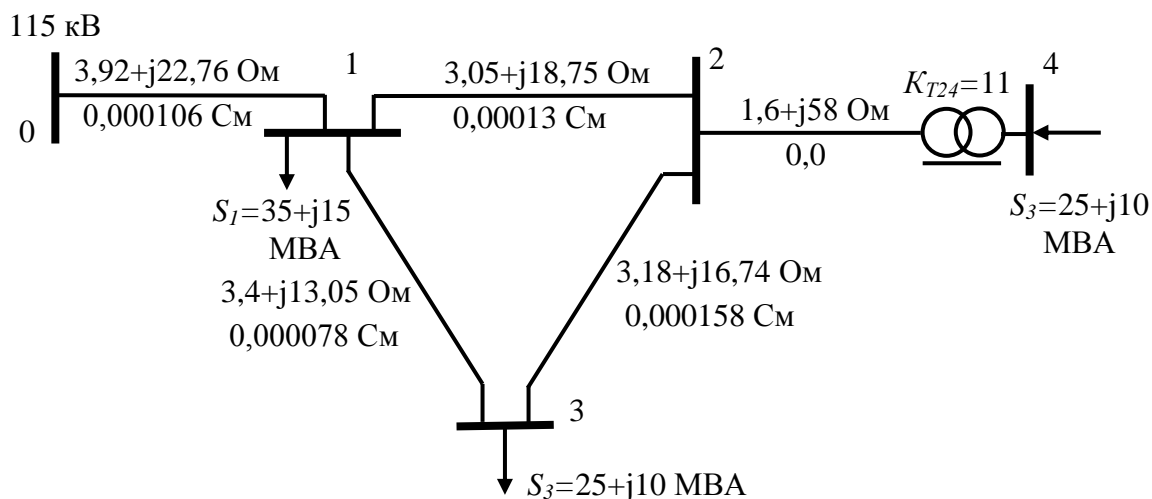


Рисунок. Схема исследуемой электрической сети.

В таблице 1 приведены результаты расчета исходного установившегося режима электрической сети.

Таблица 1. Параметры исходного установившегося режима электрической сети.

Номер узла, i	U_i , кВ	δ , рад.	P , МВт	Q , МВАР
0	115,0	0,0	-30,610	-14,980
1	111,130	-0,0499	35,0	15,0
2	111,980	-0,0333	0,0	0,0
3	110,573	-0,0564	25,0	10,0
4	10,669	0,0981	-30,0	-12,0
Суммарные потери активной мощности в электрических сетях: 0,610 МВт				

При оптимизации по напряжению узла коэффициент трансформации трансформатора принимали как постоянный и равный на значение, приведенное на рисунке, а реактивная мощность узла как зависимая переменная. А при оптимизации по реактивной мощности тоже коэффициент трансформации принималась как постоянный, а напряжение узла – как зависимое переменное. При выполнении оптимизации по коэффициенту трансформации повышающего трансформатора напряжение узла принималось равным на 10,5 кВ, а реактивная мощность – как зависимая переменная.

В таблице 2 приводятся результаты оптимизации режима электрической сети по напряжению узла 4.

Таблица 2. Параметры оптимального режима электрической сети по напряжению узла 4.

Номер узла, i	U_i , кВ	δ , рад.	P , МВт	Q , МВАР
0	115,0	0,0	-30,588	-8,665
1	112,390	-0,0513	35,0	15,0
2	113,839	-0,0361	0,0	0,0
3	112,113	-0,0581	25,0	10,0
4	11,100	0,0873	-30	-18,397
Суммарные потери активной мощности в электрических сетях: 0,588 МВт				

В таблице 3 приведены основные режимные параметры и суммарные потери активной мощности, полученные в результате отдельной оптимизации режима электрической сети по напряжению, реактивной мощности узла 4, а также по коэффициенту трансформации повышающего трансформатора. Следует отметить, остальные параметры режима во всех случаях получались такими же, что и в таблице 2.

Таблица 3. Результаты оптимизации режима электрической сети по отдельным регулируемым параметрам.

Оптимизируемый параметр	U_4 , кВ	Q_4 , МВАР	K_{T24}	π , МВт
<i>Исходный режим</i>	10,669	-12,0	11,0	0,610
U_4 , кВ	11,100	-18,397	11,0	0,588
Q_4 , МВАР	11,100	-18,387	11,0	0,588
K_{T24}	10,5	-18,392	11,629	0,588

Сопоставив эти результаты, убедимся в том, что оптимальные режимы по отдельным параметрам одинаковые. Это показывает возможности определения

оптимального режима электрической сети выполняя оптимизации по одному из регулируемых параметров. А это создает дополнительные возможности для повышения эффективности алгоритмов оптимизации режимов электрических

Выводы.

1. Поиск оптимальных значений реактивной мощности и напряжения узла, а также комплексного коэффициента трансформации повышающего трансформатора в узле является эквивалентными.
2. Эквивалентность поиска оптимальных значений узловых регулируемых параметров создает возможность ведения оптимизации по одноименным узловым параметрам. Это повышает надежности сходимости итеративного процесса оптимизации.

Список использованной литературы

1. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Расчеты установившихся режимов электроэнергетических систем и их оптимизация. Ташкент: Молия, 1999. – 377 с.
2. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/ Под общей ред. Ю.Н.Руденко и В.А.Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000.-648 с.
3. Гайибов Т.Ш. Оптимизация режимов электрических сетей по напряжениям узлов с источниками реактивной мощности. – Вестник ТашГТУ, 2005, №3, С.58-61
4. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014, 188 с.