

УЧЕТ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИМИ АЛГОРИТМАМИ

Пулатов Бехзод Маннонович

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, доцент кафедры «Электрические станции, сети и системы» г.

Ташкент, Узбекистан

e-mail: b.pulatov27@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы учета различных ограничений при оптимизации режимов энергосистем генетическими алгоритмами. Предложен алгоритм оптимизации с учетом функциональных ограничений в виде равенств и неравенств различными штрафными функциями. Приведены результаты исследования эффективности предложенного алгоритма на примере оптимизации режима 8 узловой энергосистемы с четырьмя ТЭС и тремя линиями с контролируемыми перетоками мощности.

Ключевые слова: Оптимизация, энергосистема, электрическая станция, целевая функция, ограничение, генетический алгоритм, штрафная функция, весовой коэффициент.

In this article the problems of taking into account of different constraints at optimization of modes of power system's using genetic algorithms are considered. The algorithm of optimization with taking into account of functional constraints in forms of equality and non-equality through different penal functions is offered. The results of research of offered algorithm's efficiency in example of optimization of mode of 8 bus power system with four thermal power plants and tree transmission lines with controlled power flow are presented.

ВВЕДЕНИЕ:

Оптимизация режимов современных энергосистем по активной мощности представляет собой сложную задачу нелинейного математического программирования с множеством простых и функциональных ограничений в виде равенств и неравенств. Поэтому эффективности алгоритмов её решения

определяется, в частности, возможностью эффективного учета таких ограничений.

Основными ограничениями, учитываемыми при решении задачи оптимизации режима энергосистемы для некоторого момента времени являются:

- простые ограничения в виде неравенства по минимально и максимально возможным нагрузкам станций

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (1)$$

- условия баланса активной мощности в энергосистеме (функциональное ограничение в виде равенства)

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_H, \quad (2)$$

где n - число расчетных станций; P_i - мощность i - й расчетной станции; P_H - суммарная нагрузка энергосистемы;

- ограничения на потокам мощностей по некоторым контролируемым линиям электропередачи (функциональные ограничения в виде неравенства)

$$P_l^{\min} \leq P_l \leq P_l^{\max}, \quad l = 1, 2, \dots, L, \quad (3)$$

где L - число линий, в которых потоки активной мощности ограничены; P_l - поток активной мощности по l - й контролируемой линии.

ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ:

В настоящее время методы учета таких ограничений при оптимизации режимов энергосистем традиционными алгоритмами являются достаточно совершенными [1-3]. Однако, вопросы учета таких ограничений при решении задач оптимизации нетрадиционными алгоритмами, в частности, генетическими алгоритмами [4-6] требует дополнительных исследований.

Генетические алгоритмы предлагают новый и мощный подход к решению задач оптимизации. Их применение стало возможным благодаря расширению возможностей вычислительных средств при относительно низких затратах. Последнее время эти алгоритмы находят применение в решении глобальных проблем поисковой оптимизации, когда традиционные алгоритмы оптимизации не могут быть использованы. Они используют параллельные и глобальные поисковые методы, имитирующие природные генетические операторы. Вероятность сходимости генетического алгоритма к глобальному решению задачи наиболее высокая, так как она, одновременно, оценивает множество точек в пространстве параметров. Эти алгоритмы также не требуют дифференцируемости и непрерывности пространство поиска [4, 7]. Вместе с тем вопросы учета функциональных ограничений в виде равенств и неравенств при

оптимизации режимов энергосистем этими алгоритмами исследованы не достаточно.

Возможности использования генетических алгоритмов для оптимального распределения нагрузки энергосистемы между ТЭС были исследованы в работе [7]. Здесь на основе проведенных исследований предлагается алгоритм учета функциональных ограничений в виде равенств и неравенств при оптимизации режимов энергосистем генетическими алгоритмами. Согласно этому алгоритму задача условной минимизации функции, представляющей собой функцию суммарных топливных издержек или суммарного расхода условного топлива B в расчетных тепловых электростанциях энергосистемы, сводится к безусловной минимизации обобщенной функции, состоящей из суммы целевой функции исходной задачи и штрафных функций, учитывающих ограничений (2) и (3). Простые ограничения (1) учитываются автоматически в соответствии с процедурой генетического алгоритма.

РЕЗУЛЬТАТЫ:

Штрафные функции, учитывающие этих ограничений должны равняться нулю при их выполнении и увеличиться при нарушении пропорционально степени нарушения.

В соответствии с этим для учета ограничения в виде равенства (2) принята штрафная функция в виде

$$Ш_p = \frac{\alpha}{2} \left(\sum_{i=1}^n P_i - P_H \right)^2. \quad (4)$$

Ограничения (3) учитываются штрафной функцией в виде

$$Ш_l = \beta e^{\gamma(P_i - P_i^{\max})} \quad \text{или} \quad Ш_l = \beta e^{\gamma(-P_i + P_i^{\min})}, \quad (5)$$

где α , β , γ - весовые (штрафные) коэффициенты.

Таким образом, обобщенная целевая функция, при оптимизации генетическим алгоритмом с учетом ограничений описанными методами, представляется в следующем виде

$$F = B + Ш_p + \sum Ш_l$$

Эффективность описанного алгоритма исследуем на примере оптимизации режима восьми узлов энергосистемы с 13 линиями электропередач (рис.1). В четырёх узлах имеются ТЭС со следующими расходными характеристиками условного топлива т.у.т./ч:

$$\begin{aligned} B_0 &= 100 + 0,2P_0 + 0,002P_0^2, & B_1 &= 120 + 0,2P_1 + 0,0025P_1^2, \\ B_6 &= 60 + 0,15P_6 + 0,0015P_6^2, & B_7 &= 80 + 0,25P_7 + 0,001P_7^2. \end{aligned}$$

Ограничения по минимальным и максимальным нагрузкам ТЭС одинаковы и $P_{min} = 200$ МВт, $P_{max} = 700$ МВт.

Мощности нагрузочных узлов: $P_2 = 400$ МВт, $P_3 = 600$ МВт, $P_4 = 200$ МВт, $P_5 = 500$ МВт.

В трех линиях электропередачи (ЛЭП) ограничены перетоки активной мощности:

$$P_{6-3} \leq 450 \text{ МВт}, \quad P_{6-5} \leq 65 \text{ МВт}, \quad P_{0-3} \leq 95 \text{ МВт}.$$

Перетоки мощностей по этим контролируемым ЛЭП определяются по коэффициентам распределения, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты распределения мощностей узлов по контролируемым ЛЭП.

ЛЭП	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
6-3	0,2536	-0,0713	-0,1720	0,4106	0,4890	0,6343	0,4986
6-5	-0,0701	0,02025	0,0484	-0,2810	-0,4223	0,1029	-0,2986
0-3	-0,1400	-0,1735	-0,2670	-0,1744	-0,1917	-0,2240	-0,1939

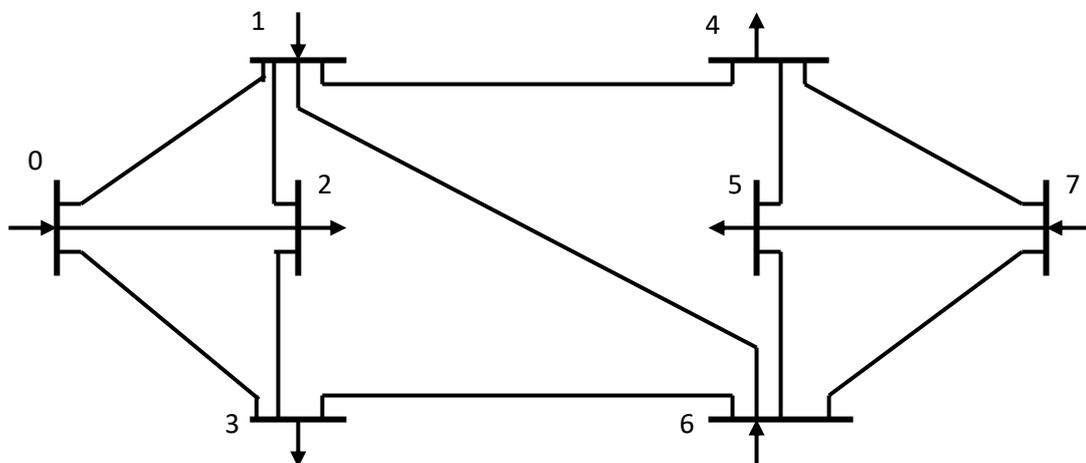


Рис.1. Схема энергосистемы.

Для сравнения результатов оптимизации предлагаемым алгоритмом приводим эталонный результат, полученный классическим градиентным методом.

ТЭС-1: $P_0=234,7$ МВт, $V_0=257.108$ т.у.т./ч.

ТЭС-2: $P_1=505,6$ МВт, $V_1=860.198$ т.у.т./ч.

ТЭС-3: $P_6=281,3$ МВт, $V_6=220.789$ т.у.т./ч.

ТЭС-4: $P_7=678,4$ МВт, $V_7=709.827$ т.у.т./ч.

Перетоки мощностей по ЛЭП: $P_{6-3}=450,0$ МВт, $P_{6-5}=21,2$ МВт, $P_{0-3}=95,0$ МВт.

Суммарный расход топлива: $V_{\Sigma}=2048,021$ т.у.т./ч.

ОБСУЖДЕНИЕ: Результаты оптимизации предложенным здесь алгоритмом при значениях весовых коэффициентов $\alpha=10$, $\beta=10$, $\gamma=2$ приведены ниже

ТЭС-1: $P_0=236,9$ МВт, $V_0=259.623$ т.у.т./ч.

ТЭС-2: $P_1=498,8$ МВт, $V_1=841.764$ т.у.т./ч.

ТЭС-3: $P_6=273,7$ МВт, $V_6=213.422$ т.у.т./ч.

ТЭС-4: $P_7=690,5$ МВт, $V_7=729.415$ т.у.т./ч.

Перетоки мощностей по ЛЭП: $P_{6-3}=449,5$ МВт, $P_{6-5}=17,2$ МВт, $P_{0-3}=95,3$ МВт.

Суммарный расход топлива: $V_{\Sigma}=2044,22$ т.у.т./ч.

Сравнивая полученный результат оптимизации с эталонным результатом убедимся в достаточно высокой точности предложенного алгоритма.

Таким образом, предложенный алгоритм учета функциональных ограничений в виде равенств и неравенств при оптимизации режимов энергосистем генетическими алгоритмами обладает высокой эффективностью. Он позволяет надежно определить оптимальный режим энергосистемы с учетом простых и функциональных ограничений в виде равенств и неравенств с высокой точностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

1. Предложен эффективный алгоритм учета функциональных ограничений в виде равенств и неравенств при оптимизации режимов энергосистем градиентным алгоритмом.

2. Генетический алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом функциональных ограничений предложенным алгоритмом обладает надежной сходимостью итеративного расчетного процесса. Он также не требует дифференцируемости и непрерывности пространства поиска.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш. (2014). Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: «Fan va texnologiya».
2. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/ Под общей ред. Ю.Н.Руденко и В.А.Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000.
3. Гайибов Т.Ш. (2014). Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. Т.: Изд. ТашГТУ,.
4. Манусов В.З., Павлюченко Д.А.(2004). Эволюционный алгоритм оптимизации режимов электроэнергетических систем по активной мощности. Электричество.-№3. – С.2-8.
5. J. Yuryevich, K. P. Wong, Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow Algorithm./ IEEE Transaction on power Systems. Vol. 14, No. 4, November 1999.
6. L.L. Lai, J. T. Ma, R. Yokoma, M. Zhao. (1997)Improved genetic algorithms for optimal power flow under both normal and contingent operation states./ Electrical Power & Energy System. Vol. 19, No. 5, p. 287-292.
7. Гайибов Т.Ш.(2017) Оптимизация режимов энергосистем генетическими алгоритмами. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент. – № 1,2. – С. 43-48.
8. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M. (2020) Optimization of Short-term Modes of Hydrothermal Power System. E3S Web of Conferences 209, 07014 ENERGY-21. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020907014>
9. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M. (2021) Taking into account the constraints in power system mode optimization by genetic algorithms. E3S Web of Conferences 264, 04045 CONMECHYDRO – 2021 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404045>
10. Pulatov B.M, Shanazarov A.E. 2020. Optimization Of Modes Of The Electric Power Systems By Genetic Algorithms. E3S Web of Conferences 216, 01099 (2020)RSES <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601099>.