

---

**УЧЕТ ОГРАНИЧЕНИЙ В ВИДЕ НЕРАВЕНСТВ ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ПЛАНИРОВАНИИ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

---

*Гайибов Тулкин Шерназарович*

*Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Электрические станции, сети и системы»  
Ташкентского государственного технического Университета,  
г. Ташкент*

*Латинов Шерхон Шухратович*

*Ассистент кафедры «Электрические станции, сети и системы»  
Ташкентского государственного технического университета,  
г. Ташкент*

[DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.59.7-10](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.59.7-10)

**АННОТАЦИЯ**

В статье рассматриваются вопросы учета ограничений в виде неравенств при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем. Предложен эффективный алгоритм решения задачи. На основе расчетных экспериментов для конкретных задач оптимального планирования режимов энергосистем выявлена эффективность предложенного алгоритма.

**ABSTRACT**

In the article the issues of taking into account of constraints in the form of inequality in optimal planning of short-term modes of power systems are considered. An efficient algorithm for solving of the problem is offered. On the basis of computational experiments for specific problems of optimal planning of modes of power systems the efficiency of the proposed algorithm is revealed.

**Ключевые слова:** оптимизация, ограничение, целевая функция, информация, неопределенная информация, оптимальное планирование.

**Keywords:** optimization, constraint, target function, information, indefinite information, optimal planning.

Задача оптимального планирования краткосрочных режимов больших энергосистем относится к сложным задачам, использующим различные формы исходной информации. При этом различают детерминированные, вероятностные и неопределенные исходные информации. Детерминированная информация дает достаточно полное представление для решения рассматриваемой задачи о состоянии события. В вероятностной информации задается сведения о возможных случайных состояниях события с соответствующими вероятностями их появления.

Неопределенность означает, что эта информация ставит в соответствие данному состоянию события не точку, а некоторую область определения в пространстве состояний. Внутри этой области состояние не определено ни как детерминированное, ни как вероятностное. К тому же, границы этой области оказываются «размытыми или расплывчатыми», что не удается их четко зафиксировать. В результате о состоянии события можно судить лишь с некоторой погрешностью, определяемой этими границами области состояния. Неопределенность не означает принципиальную невозможность представления события, которое она отражает. Она является следствием двух обстоятельств: неполноты полученных сведений и ошибок при формировании, передаче, приеме и обработке информации.

В настоящее время методы и алгоритмы оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с детерминированной исходной информацией является достаточно совершенными [1, с. 329-375; 3, с. 23-62; 5, с. 86-168; 6, с. 11-69]. Вме-

сте с тем, такое заключение нельзя делать для подобных задачи с различными ограничениями в виде неравенств в условиях вероятности и, особенно, неопределенности исходной информации. В связи с этим исследовательские работы, направленные на усовершенствование существующих и разработку новых методов и алгоритмов оптимизации с учетом режимных и технологических ограничений в виде неравенств в условиях вероятности и неопределенности исходной информации являются актуальными.

В данной работе предлагается алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом ограничений в виде неравенств в условиях частичной неопределенности исходной информации. При описании сущности алгоритма, для удобства, рассмотрим энергетическую систему, в которой в оптимизации участвуют только тепловые электростанции (ТЭС).

В известном диапазоне исходного параметра принимается его  $n$  значения  $P_1, P_2, \dots, P_n$  с примерно одинаковыми интервалами. Затем, принимая поочередно каждого из принятых значений исходного параметра как детерминированный, решается детерминированная задача оптимизации с учетом всех ограничений, в том числе, ограничений в виде неравенств как в [2, с. 40-41; 4, с. 60]. В результате получаются условно-оптимальные решения (планы) задачи  $U_1, U_2, \dots, U_n$ . При всех полученных условно-оптимальных планах  $U_i$  и возможных значениях исходного параметра  $P_j$  вычисляются значения целевой функции  $F_{ij}=F(U_i, P_j)$ , по которым формируется «платёжная матрица».

В оптимизационном расчете по такому алгоритму простые ограничения, наложенные на независимые переменные (регулируемые параметры) задачи

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

учитываются автоматически при решении детерминированных задач оптимизации. А функциональное ограничение в виде равенства по балансу активной мощности в энергосистеме

$$\sum_{i=0}^N P_i = P_H \quad (2)$$

учитывается введением балансирующей станции, определяя её мощность как

$$P_0 = P_H - \sum_{i=1}^N P_i, \quad (3)$$

где  $N$ - число ТЭС, участвующих в оптимизации (кроме балансирующей ТЭС);  $P_H$  - суммарная нагрузка энергосистемы;  $P_i$ - мощность  $i$ - й ТЭС.

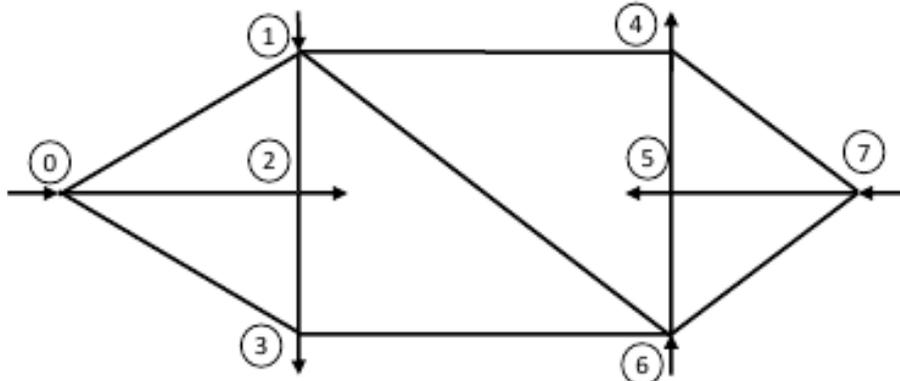


Рисунок. Схема энергосистемы

В узлах 0, 1, 6 и 7 имеются расчетные (участвующие в оптимизации) ТЭС со следующими расчетными характеристиками условного топлива, т.у.т./ч.:

$$B_0 = 100 + 0,2P_0 + 0,002P_0^2,$$

$$B_1 = 120 + 0,2P_1 + 0,0025P_1^2,$$

Учет ограничений в виде неравенств, например, по предельным допустимым значениям перетоков мощностей по контролируемым линиям электропередачи (ЛЭП)

$$P_l \leq P_l^{\max}, l=1, 2, \dots, L \quad (4)$$

предусматривает использования  $L$  платежных матриц, элементы которых определяются как

$$P_{lij} = P_l(U_i, P_j) \quad (5)$$

После формирования платёжной матрицы, состоящей из значений целевой функции и  $L$  платёжных матриц со значениями перетоков мощностей по контролируемым ЛЭП из общего числа условно-оптимальных планов выделяется только допустимые условно-оптимальные планы, при которых выполняются все ограничений. Для этого из общего числа выбрасываются те условно-оптимальные планы  $U_i$ , для которых хотя бы при одном  $P_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) ограничение (4) не выполняется.

Оптимальный план выбирается из числа оставшихся условно-оптимальных планов по критерию минимакса.

Эффективность описанного алгоритма исследована на примере оптимального планирования краткосрочного режима энергосистемы, схема которой представлена на рисунке.

$$B_6 = 60 + 0,15P_6 + 0,0015P_6^2,$$

$$B_7 = 80 + 0,25P_7 + 0,001P_7^2.$$

Узлы 2, 3, 4 и 5 являются нагрузочными с частично неопределенными нагрузками, предельные значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 Предельные нагрузки.

Предельные нагрузки	$P^{\min}$	$P^{\max}$
$P_H$ , МВт	1485	1815
$P_2$ , МВт	349	427
$P_3$ , МВт	524	641
$P_4$ , МВт	175	214
$P_5$ , МВт	437	533

По трем ЛЭП контролируются перетоки активной мощности:

$$P_{6-3} \leq 470 \text{ МВт}, P_{6-5} \leq 95 \text{ МВт}, P_{0-3} \leq 150 \text{ МВт}.$$

Перетоки мощностей по контролируемому ЛЭП находятся по коэффициентам распределений мощностей узлов, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 Коэффициенты распределения мощностей узлов по контролируемому ЛЭП

ЛЭП	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
6-3	0,2536	-0,0713	-0,0172	0,4106	0,489	0,6343	0,4986
6-5	-0,0701	0,02025	0,0484	-0,281	-0,4223	0,1029	-0,2986
0-3	-0,14	-0,1735	-0,267	-0,1744	-0,1917	-0,224	-0,1939

Для решения задачи описанным алгоритмом в заданных диапазонах исходных параметров (нагрузок узлов) выбираем по 5 значений нагрузок, приведенных в таблице 3.

Таблица 3. Возможные нагрузки узлов.

Интервал, $i$	1	2	3	4	5
$P_H$ , МВт	1485	1567,5	1650	1732,5	1815
$P_2$ , МВт	349	369	388	408	427
$P_3$ , МВт	524	527	582	611	641
$P_4$ , МВт	175	198	194	204	214
$P_5$ , МВт	437	473,5	486	509,5	533

При заданных нагрузках узлов (табл. 3) пять раз решена оптимизационная задача в детерминированной постановке. При этом осуществлена минимизация целевой функции, представляющей собой сумму расходов условного топлива в расчетных ТЭС  $B$ , с учетом ограничений по условию баланса активной мощности в энергосистеме и по

перетокам мощностей в контролируемых ЛЭП. По результатам такой оптимизации по значениям целевой функции получена платёжная матрица, приведенная в таблице 4, а также три платёжные матрицы по значениям перетоков мощностей в контролируемых ЛЭП.

Таблица 4. Платёжная матрица значений целевой функции, т.у.т./ч.

Номер плана	Условно-оптимальные мощности ТЭС, МВт	Суммарная нагрузка энергосистемы, МВт				
		1485	1567,5	1650	1732,5	1815
1	$P_1=233$ $P_6=405$ $P_7=556$	( $P_0=291$ ) 1582,3	( $P_0=373,5$ ) 1730,5	( $P_0=456$ ) 1874,1	( $P_0=538,5$ ) 2115,3	( $P_0=621$ ) 2338,9
2	$P_1=230$ $P_6=382$ $P_7=605,5$	( $P_0=267,5$ ) 1584,1	( $P_0=350$ ) 1725,6	( $P_0=432,5$ ) 1870,9	( $P_0=515$ ) 2114,7	( $P_0=597,5$ ) 2345,5
3	$P_1=360$ $P_6=392$ $P_7=600$	( $P_0=133$ ) 1587,6	( $P_0=215,5$ ) 1728,4	( $P_0=298$ ) 1872,2	( $P_0=380,5$ ) 2135,3	( $P_0=463$ ) 2344,4
4	$P_1=625$ $P_6=250$ $P_7=665,5$	( $P_0=-55,5$ ) 1588,2	( $P_0=27$ ) 1730,4	( $P_0=109,5$ ) 1866,5	( $P_0=192$ ) 2148,4	( $P_0=274,5$ ) 2322,2
5	$P_1=247,5$ $P_6=429,6$ $P_7=589,6$	( $P_0=-153$ ) 1577,5	( $P_0=-70,5$ ) 1744,6	( $P_0=12$ ) 1830,3	( $P_0=94,5$ ) 2166,7	( $P_0=177$ ) 2355,8

В результате анализа платёжных матриц по значениям перетоков мощностей в контролируемых ЛЭП выявлено, что при некоторых нагрузках

узлов для условно-оптимальных планов 1, 4 и 5 некоторые ограничения нарушаются (табл. 5). Поэтому эти условно-оптимальные планы исключены из дальнейшего рассмотрения.

Таблица 5. Случаи нарушения ограничений по перетокам мощностей в контролируемых ЛЭП.

Номер плана	Суммарная нагрузка энергосистемы, МВт	
	1485	1815
1		$P_{6-5}=104,8 > 95$ , $P_{0-3}=153,5 > 150$
4	$P_{6-3}=478,3 > 470$	
5		$P_{6-3}=479,9 > 470$

В соответствии с предложенным алгоритмом оптимальный план выбран из числа оставшихся двух – 2-й и 3-й условно-оптимальных планов по критерию минимакса. В результате как оптимальный план получен 3-й условно-оптимальный план, при котором

$$\min(i)\max(j)B_{ij} = 2344,4 \text{ т.у.т./ч}$$

$$P_1^{on} = 360 \text{ МВт}, P_6^{on} = 392 \text{ МВт}, P_7^{on} = 600 \text{ МВт}$$

и из условия баланса активной мощности в энергосистеме

$$P_0^{on} = 1815 - 360 - 392 - 600 = 463 \text{ МВт}$$

Таким образом, предложенный алгоритм учета ограничений отличается простой процедурой расчета и с достаточной для практических целей точностью.

#### Заключение

1. Предложен алгоритм учета ограничений в виде неравенств при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем в условиях неопределенности исходной информации.

2. На основе расчетно-экспериментальных исследований выявлена, что предложенный алгоритм обладает простой расчетной процедурой и достаточной для практических целей точностью.

3. Предложенный алгоритм эффективно может применяться для оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с учетом функциональных ограничений в виде неравенств в условиях частичной неопределенности исходной информации.

#### Список литературы

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/ Под общей ред. Ю.Н.Руденко и В.А.Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000.- 648 с.

2. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем. Москва, Высш. шк., 1987. – 272 с.

3. Гайилов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014. – 188 с.

4. Гайилов Т.Ш., Жураев М.Э., Узаков Б.А. Алгоритм оптимизации режимов электрических сетей с учетом ограничений в виде неравенств в условиях вероятности исходной информации.// Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал. – Москва, 2014. - №4 (часть 5). С. 60-62.

5. Murty P.S.R., Operation and Control in Power Systems. B.S. Publications, Hyderabad, 2008. – 410 p.

6. Насиров Т.Х., Гайилов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: «Fan va texnologiya», 2014. – 184 с.

### ABOUT THE USAGE OF THE TERM “RELIABILITY” IN TECHNIQUE

**Galeev A.P.**

*MIIGAiK, Moscow, R.F.,*

**Geller M.I.**

*International Informatization Academy, N.Y., U.S.A.,*

**Nazarova G.S.**

*Close Corporation LANTEP, Moscow, R.F.*

[DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.59.10-12](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.59.10-12)

#### ABSTRACT

The scope of the term "reliability" in technique is discussed. The examples of the incorrect usage of this term to characterize the results of measurements and observations are presented. The basic terms characterizing the accuracy and the confidence of measurements, observations, established in national and international standards are discussed. It is advisable to use the term "confidence" instead of the term "reliability" for a qualitative characteristic of the correctness of the results of the measurements and the observations. It is possible to speak only about the "metrological reliability" of the measuring equipment, in particular about the preservation of their metrological operability.

**Keywords:** reliability, confidence, measurement, observation.

In technical and educational literature, including the evaluation of the results of measurements and observations, the term "reliability" is often used incorrectly.

For example, in the book [1, p. 49] we read: "The optimality criterion is the minimum number of measurements to describe the dependence  $y(x)$  with given reliability (or we get maximum reliability for a given volume of measurements)."