

---

TEHNIK TADQIQOTLAR JURNALI  
ЖУРНАЛ ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
JOURNAL OF TECHNICAL SCIENCE

---

ЭНЕРГЕТИКА / ЭНЕРГЕТИКА / POWER ENGINEERING

**Пулатов Бехзод Маннопович,**  
Ташкентский государственный технический университет  
имена Ислама Каримова, старший преподаватель кафедры  
"Электрические станции, сети и системы" г. Ташкент, Узбекистан

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
АКТИВНОЙ НАГРУЗКИ МЕЖДУ АГРЕГАТАМИ ТЕПЛОВОЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**



<http://dx.doi.org/10.26739/2181-9599-2019-1-1>

---

**АННОТАЦИЯ**

В статье приводится подход для определения часового расхода топлива на основе исходных данных относительных приростов расхода топлива блока с применением метода численного интегрирования. Исследован критерий оптимального распределения активной нагрузки между двумя агрегатами тепловой электрической станции с использованием программного комплекса Matlab. Рассмотрен пример оптимального покрытия нагрузки энергосистемы одного из суточных интервалов обеспечивающих минимальный расход топлива.

**Ключевые слова:** критерия; режим; энергосистема, топлива, расходная характеристика, нагрузка.

---

**Пулатов Бехзод Маннопович,**  
Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети,  
"Электр станциялари, тармоқлари ва тизимлари"  
кафедраси катта ўқитувчиси Ташкент ш., Узбекистан

**ИССИҚЛИК ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРГА ЭГА ЭНЕРГЕТИК ТИЗИМ  
ХОЛАТИНИ АКТИВ ҚУВВАТ БЎЙИЧА ОПТИМАЛЛАШ**

---

**АННОТАЦИЯ**

Мақолада чизикли интеграллаш усули ёрдамида дастлабки берилган нисбий ўсиш тавсифлари асосида сутка интервалидаги блокнинг ёқилги сарфини аниқлаш усули келтирилган. Matlab дастури ёрдамида икки агрегатдан иборат иссиқлик электр станциянинг актив қувват бўйича оптимал тақсимланиши мезони текширилган. Бир сутка интервалида минимал ёқилги сарф қилган ҳолда энергетика тизимидаги истеъмол қилинаётган юкларни таъминлаш мисолини кўриб ўтилган.

**Калит сўзлар:** мезон; иш холати, энергетика тизими, ёқилги, сарф тавсифи, юклар.

**Pulatov Bekhzod Mannonovich,**  
Tashkent state technical university named after Islam Karimov,  
senior teacher department of "Electrical stations,  
networks and systems" Tashkent c., Uzbekistan

## DETERMINATION OF THE CRITERION FOR THE OPTIMAL DISTRIBUTION OF ACTIVE LOAD BETWEEN UNITS OF A THERMAL POWER PLANT

### ANNOTATION

In article presents the approach for determination of hourly fuel consumption on the base of initial values of fuel incremental rates consumption of the block with the use of the method of numerical integration. The criterion for active power flow optimal distribution between two units of the thermal electric power station with the use of the program Matlab was studied. The example for active power load optimal distribution in the Electrical Power Network for one of the day's interval which provides minimal fuel consumption.

**Key words:** criteria; mode; power system; fuel; consumption characteristics; load.

**For citation:** Pulatov Bekhzod Mannonovich. Determination of the criterion for the optimal distribution of active load between units of a thermal power plant. International Journal of Technical Sciences. 2019, vol. 1, issue 1, pp 4-

**Введение:** Одной из основных задач, решаемых при управлении режимами электроэнергетических систем (ЭЭС) на современном этапе является оптимизация режимов работы тепловых электростанции (ТЭС). Она предусматривает определения оптимальных значений мощности, в регулируемых диапазонах агрегатов обеспечивающих минимальный расход топлива. В настоящее время используемые на практике методы и алгоритмы решения этой задачи имеют некоторые недостатки, связанные с ненадёжностью сходимости итеративного расчетного процесса при оптимизации тяжелых режимов электрических сетей с учетом программной реализации [1-3].

Электрические системы являются управляемыми. Управляющие воздействия позволяют при одной и той же совокупности электрических нагрузок реализовывать различные режимы системы. В связи с этим возникает задача выбора оптимального режима. Под оптимальным режимом электрической системы обычно подразумевается режим, наиболее экономичный из всех возможных. Таким образом, критерием оптимизации в общем случае является один из критериев экономической эффективности, например, приведенные затраты. Для ТЭС в качестве эти затраты можно принимать расход топлива использующих этих станции.

Анализ и результаты: Расходная характеристика агрегата  $B_i = f(P_i)$  представляет собой зависимость часового расхода условного топлива  $B$  от генерируемой им активной мощности  $P$ , изменяющейся в диапазоне  $[P_{min}, P_{max}]$ . Начальный расход  $B_0$  используется на генерацию минимально возможной мощности  $P_{min}$  (рис. 1). По расходной характеристике методом численного дифференцирования можно получить характеристику относительных приростов расхода топлива (ОПРТ)  $b_i = (P_i)$  (рис. 2).

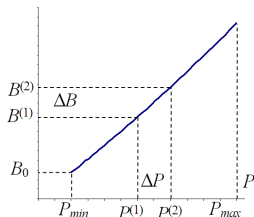


Рис. 1. Расходная характеристика агрегата

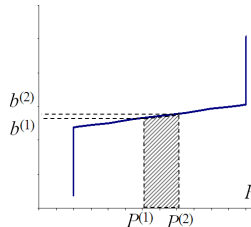


Рис. 2. Характеристика ОПРТ агрегата

$$b = \frac{dB}{dP} = \lim \frac{\Delta B}{\Delta P} = \frac{B^{(2)} - B^{(1)}}{P^{(2)} - P^{(1)}}$$

Обратный переход от характеристики ОПРТ к расходной осуществляется методом численного интегрирования. Так, площадь  $\Delta B$  криволинейной трапеции (рис. 2) можно приблизительно определить по формуле

$$\Delta B = \frac{1}{2}(b^{(2)} + b^{(1)})(P^{(2)} - P^{(1)})$$

Тогда  $B^{(2)} = B^{(1)} + \Delta B$

И остальные значения расхода топлива соответственно определяется аналогично.

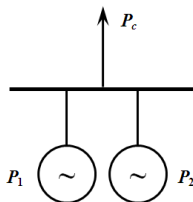


Рис. 3. Расчетная схема энергосистемы

Рассмотрим ТЭС с двумя энергоблоками (рис.3), работающие параллельно на шинах станции. В каждый момент времени должно выполняться следующее условие баланса мощности:

$$P_c = P_1 + P_2$$

Суммарный расход топлива на ТЭС:

$$B_\Sigma = B_1 + B_2$$

Если произвольным образом загрузить первый энергоблок до значения  $P_1^0$ , то мощность второго агрегата определится как

$$P_2^{(0)} = P_c - P_1^{(0)}$$

Чтобы оценить экономичность такого распределения нагрузки, разгрузим первый энергоблок от значения  $P_1^{(0)}$  до  $P_1^{(1)} = P_1^{(0)} - \Delta P$ . Тогда второй блок нужно загрузить на величину

$$P_2^{(1)} = P_2^{(0)} + \Delta P$$

Такая операция приведёт к уменьшению расхода топлива первого блока на  $\Delta B_1^{(1)}$  и увеличению расхода топлива второго энергоблока на  $\Delta B_2^{(1)}$ . Пусть  $\Delta B_2^{(1)} > \Delta B_1^{(1)}$  (характеристика  $B_1(P_1)$  более пологая, чем  $B_2(P_2)$ ), то есть суммарный расход топлива двух блоков увеличится на

$$\Delta \Delta B^{(1)} = B_2^{(1)} - \Delta B_1^{(1)} > 0$$

При загрузке первого блока на  $\Delta P$  и разгрузке второго на столько же

$$P_1^{(2)} = P_1^{(0)} + \Delta P$$

$$P_2^{(2)} = P_2^{(0)} - \Delta P$$

получим:

$$\Delta \Delta B^{(2)} = B_2^{(2)} - \Delta B_1^{(2)} < 0$$

то есть имеется экономический выигрыш. Продолжая действовать в этом же направлении, можно убедиться, что наиболее экономичным режимом является случай, когда

$$\square B_2 = \square B_1$$

Из условия баланса мощностей  $\Delta P_2 = \Delta P_1$ , тогда можно получить:

$$\frac{\Delta B_1}{\Delta P_1} = \frac{\Delta B_2}{\Delta P_2}$$

или в пределе  $b_1 = b_2$ .

Этот вывод можно обобщить и для ТЭС с «n» энергоблоками, то есть оптимальное распределение  $P_c$  достигается при

$$b_1 = b_2 = \dots = b_n = \text{idem.}$$

Таким образом, критерием экономичного (оптимального) распределения активной нагрузки тепловой электростанции между ее энергоблоками является равенство относительных приростов расхода топлива отдельных ее агрегатов [4].

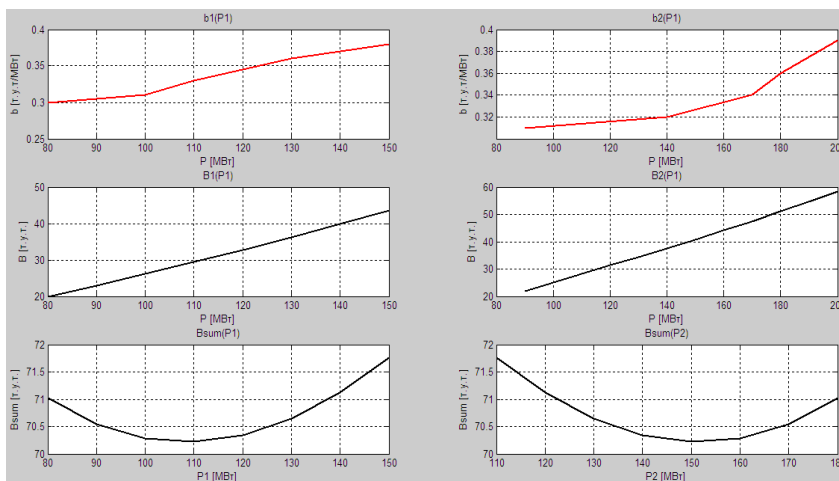
Для подтверждения полученного вывода рассмотрим пример, заключающийся в оптимальном покрытии нагрузки энергосистемы одного из интервалов суток (остальные интервалы определяются аналогично), двумя агрегатами ТЭС, разработанных в комплексе Matlab, со следующими исходными данными (табл. 1 и 2):

**Табл. 1. ХОП I-й станции:**

<b>b<sub>1</sub></b> [т.у.т./МВт]	0,3	0,31	0,34	0,36	0,38
<b>P<sub>1</sub></b> [МВт]	80	100	110	130	150

**Табл. 2. ХОП II-й станции:**

<b>b<sub>2</sub></b> [т.у.т./МВт]	0,31	0,32	0,34	0,36	0,39
<b>P<sub>2</sub></b> [МВт]	90	140	170	180	200



**Нагрузка энергосистемы 260 МВт.**

На основе разработанного программного комплекса Matlab результаты расчета имеют следующий вид (рис.4, табл. 3 и 4):

Минимальный суммарный расход топлива электростанции:  $V_{sum} = 70,220$  т.у.т.

Оптимальный расход топлива I-й станции:  $V_{opt 1} = 29,372$  т.у.т.

Оптимальная выработка мощности I-й станции:  $P_{opt 1} = 110,0$  МВт.

Оптимальный расход топлива II-й станции:  $V_{opt 2} = 40,848$  т.у.т.

Оптимальная выработка мощности II-й станции:  $P_{opt 2} = 150,0$  МВт.

Значение величины  $b_1$  при выработке оптимальной мощности I-й станцией:  $b_1 = 0,329$  т.у.т./МВт.

Значение величины  $b_2$  при выработке оптимальной мощности II-й станцией:  $b_2 = 0,325$  т.у.т./МВт.

**Табл. 1. Суммарная характеристика расхода топлива от мощности I-ой станции.**

<b>B<sub>sum</sub></b> [т.у.т]	71,02	70,54	70,28	<b>70,22</b>	70,34	70,65	71,12	71,76
<b>P<sub>1</sub></b> [МВт]	80	90	100	<b>110</b>	120	130	140	150
<b>P<sub>sum</sub></b> [МВт]	260	260	260	<b>260</b>	260	260	260	260

**Табл. 2. Суммарная характеристика расхода топлива от мощности II-ой станции.**

<b>B<sub>sum</sub></b> [т.у.т]	71,02	70,54	70,28	<b>70,22</b>	70,34	70,65	71,12	71,73
<b>P<sub>2</sub></b> [МВт]	180	170	160	150	140	130	120	110
<b>P<sub>sum</sub></b> [МВт]	260	260	260	<b>260</b>	260	260	260	260

Из рис. 4 видно что, минимум функций  $B_{sum}=f(P1)$  достигается при значение  $P_{opt1} = 110$  МВт, а для функций  $B_{sum}=f(P2)$ ,  $P_{opt2} = 150$  МВт. Это подтверждает, что при равенстве относительных приростов расхода топлива двух станции обеспечивает самый минимальный расход топлива.

**Вывод:** Выбранную критерию можно легко реализовать в программе Matlab и использовать при оптимальном планировании суточных режимов ТЭС с учетом ограничений в виде неравенств при максимальных и минимальных мощностей станции.

**Литература:**

1. Panigrahi C.K. Linear Programming Approach for Bidding of Generators in Restructured Power Industry / C.K.Panigrahi, P.K.Chattopadhyay, U.Prasad // International Electrical Engineering Journal. – 2012. - vol. 3, no. 5(4). P. 589-594.
2. Rudenko Yu.N., Semyonov V.A. *Avtomatizatsiya dispetcherskogo upravleniya v elektroenergetike* [Automation of dispat ching management in power energetics]. Moscow, Publishing house of MEI., 2000, 648 p.
3. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M., Qayumov J.A. Minimization of Losses in Distributed Power Networks by Genetic Algorithms.- International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology.-Vol. 6, Issue 2, February 2019.
4. Гайибов Т.Ш. Оптимизация режимов энергосистем генетическими алгоритмами. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2017. – № 1,2. – С. 43-48. (Gayibov T.Sh. Optimization of power systems modes by genetic algorithms. // Problems of energy and resource saving. - Tashkent, 2017. - № 1,2. - p. 43-48.)