

# ИПК Государственных инноваций в энергетике Технологиях

## Доклады юбилейной конференции к 50-летию ИПК, Москва 2002 г.

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Запоздалая самореабилитация!  
Астахов Н.Л.,  
ОАО «Фирма ОРГРЭС»

#### НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ТЭС МЕЖДУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ И ТОПЛИВОМ ТЕПЛОМ.

В докладе рассмотрены только три метода: физический, действовавший на ТЭС Минэнерго СССР, а так же в РАО «ЕЭС России» до 1996 г., действующий в настоящее время и аналог энергетического (по значениям удельных расходов топлива). Последние два метода предложены АО «Фирма ОРГРЭС»

**1. Показатели, используемые при всех методах распределения** (формулы приведены в общем виде без детализации и коэффициентов пропорциональности)

Расход тепла свежего пара на турбину:

$$Q_0 = D_0 \cdot i_0 - G_{\text{пв}} \cdot i_{\text{пв}} \quad (1)$$

Отпуск тепла из отборов турбин:

$$Q_{\text{отб}} = D_{\text{отб}} \cdot (i_{\text{отб}} - i_{\text{возв}}) \quad (2)$$

Расход тепла на производство электроэнергии:

$$Q_e = Q_0 - Q_{\text{отб}} \quad (3)$$

Выработка тепла котлами —  $Q_k^{\text{бр}}$ .

Расход тепла на собственные нужды:

• котлов:

а) абсолютный —  $Q_k^{\text{сн}}$ ;

б) относительный —  $q_k^{\text{сн}}$ ;

топливо [тут]

90 Домбр =  $D_0 - D_{\text{конд}}$  [т.т.]

турбин

$$\delta_{\text{э}} = Q_e \text{ домено}$$

быть разбито

для конденсации

для ГРЭС-БКОН

Надо анализировать

топливо, а не тепло!

- турбин:
  - а) абсолютный —  $Q_t^{\text{сн}}$ ;
  - б) относительный —  $q_t^{\text{сн}}$ .

Отпуск тепла внешним потребителям:

- всего —  $Q_{\text{от}}$ ;
- отработавшим паром турбин —  $Q_{\text{отр}}$ .

Потери тепла, связанные с его отпуском:

- абсолютные —  $Q_{\text{пот}}$ ;

- относительные —  $\alpha_{\text{пот}}$ .

Электроэнергия:

- выработка —  $\mathcal{E}$ ;

- отпуск —  $\mathcal{E}_{\text{от}}$ ;

- расход на собственные нужды турбин:

- а) абсолютный —  $\mathcal{E}_t^{\text{сн}}$ ;

- б) относительный —  $\bar{\mathcal{E}}_t^{\text{сн}}$ .

- расход на собственные нужды котлов:

- абсолютный —  $\mathcal{E}_k^{\text{сн}}$ .

- расход на собственные нужды, связанный с выработкой электроэнергии:

- а) абсолютный —  $\mathcal{E}_e^{\text{сн}}$ ;

- б) относительный —  $\bar{\mathcal{E}}_e^{\text{сн}}$ :

$$\mathcal{E}_e^{\text{сн}} = \mathcal{E}_t^{\text{сн}} + k_e \cdot \mathcal{E}_k^{\text{сн}} \quad (4)$$

Коэффициент отнесения расхода топлива энергетическими котлами на производство электроэнергии —  $k_e$ .

Коэффициент ценности тепла:

$$\xi = \frac{i_{\text{отб}} - i_{\text{конд}}}{i_0 - i_{\text{конд}}} \cdot \left( 1 + k \cdot \frac{i_0 - i_{\text{отб}}}{i_0 - i_{\text{конд}}} \right),$$

корень ошибки

занимавший весь

энергетики номер изменения

в комоде если и

учеба не 22

брюх что не 830 а 2500

где  $k$  – коэффициент, учитывающий регенеративный подогрев питательной воды: его значение равно 0,25; 0,30; 0,40 и 0,42 для турбин на давление свежего пара соответственно 35, 90, 130 и 240 кгс/см<sup>2</sup>.

Для турбин с промежуточным перегревом пара в числителе и знаменатель каждой дроби добавляется член  $\Delta i_{\text{пп}}$  – повышение энталпии пара в промежуточном пароперегревателе.

Увеличение расхода тепла на производство электроэнергии по сравнению с фактическим, определенным по формуле (3), при условии, что отпуск тепла внешним потребителям от турбин замещен отпуском тепла от энергетических котлов свежим или редуцированным паром:

$$\Delta Q_{\text{э(отр)}} = (1 - \xi_{\text{сред}}) \cdot Q_{\text{отр}} \quad (6)$$

Расход тепла турбиной на производство электроэнергии:

- брутто:  $q_t = Q_3 / \varTheta$ ; (7)

- нетто:  $q_t^{\text{н}} = \frac{Q_3 + Q_t^{\text{сн}}}{\varTheta - \bar{\varTheta}_t^{\text{сн}}} = q_t \cdot \frac{100 + q_t^{\text{сн}}}{100 - \bar{\varTheta}_t^{\text{сн}}}$ . (8)

КПД котла:

- брутто:  $\eta_k^{\text{бр}} = Q_k^{\text{бр}} / B \cdot 7$ ; (9)

- нетто:  $\eta_k^{\text{н}} = \eta_k^{\text{бр}} \cdot (100 - q_k^{\text{сн}}) \cdot \frac{100 - \bar{\varTheta}_3^{\text{сн}}}{100 - \bar{\varTheta}_t^{\text{сн}}}$ . (10)

Расход топлива энергетическими котлами –  $B$ .

Коэффициент теплового потока –  $\eta_{\text{пп}}$ .

Расход топлива на отпуск электроэнергии:

$$B_3 = k_3 \cdot B \cdot \frac{\varTheta_{\text{отр}}}{\varTheta - \bar{\varTheta}_3^{\text{сн}}} \quad (11)$$

Удельные расходы топлива на отпуск электроэнергии и тепла:

- средние по применяемому методу:  $b_3$ ,  $b_{\text{тз}}$ ;
- при раздельном производстве (отпуске тепла помимо турбин):  $b_3^{\text{разд}}$ ,  $b_{\text{тз}}^{\text{разд}}$ .

## 2. Физический метод

$$k_3 = \frac{Q_3 + Q_t^{\text{сн}}}{Q_3 + Q_t^{\text{сн}} + Q_{\text{отр}} + Q_{\text{от}}} \quad (12)$$

$$b_3 = \frac{q_t^{\text{н}}}{\eta_k^{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пп}} \cdot 7} \quad (13)$$

$$b_{\text{тз}} = b_{\text{тз}}^{\text{разд}} = \frac{100 + \alpha_{\text{пот}}}{\eta_k^{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пп}} \cdot 7} \quad (14)$$

Вся экономия топлива от теплофикации относится на электроэнергию.

Удельные расходы топлива не отражают технические характеристики (параметры свежего пара) оборудования теплоэлектроцентралей. Для турбины Т-250-240, работающей с трехступенчатым подогревом сетевой воды, и турбины Р-6-35 удельные расходы топлива как на электроэнергию, так и на тепло, практически одинаковы. Исходя только из значений удельных расходов топлива нельзя ответить на вопрос: с какой целью давление свежего пара увеличили с 35 до 240 кгс/см<sup>2</sup>.

Удельный расход топлива на тепло, отпущенное из разных точек тепловой схемы электростанции, имеет одинаковое максимальное (как для свежего пара, для которого  $\xi=1$ ,  $\Delta Q_{\text{э(отр)}}=0$ ) значение, в том числе и для тепла, отпущенного от конденсатора турбины при нормальном вакууме, хотя наличие последнего вообще не вызывает изменения расхода топлива на котел.

Удельный расход топлива на тепло не может быть дифференцирован по параметрам пара.

Прогноз и анализ удельных расходов просты, т.к.  $b_{\text{тз}}$  практически постоянен.

## 3. Действующий метод

$$k_3 = \frac{Q_3 + Q_t^{\text{сн}} + \Delta Q_{\text{э(отр)}}}{Q_3 + Q_t^{\text{сн}} + \Delta Q_{\text{э(отр)}} + Q_{\text{отр}} + Q_{\text{от}}} \quad (15)$$

$$b_3 = \frac{q_t^{\text{н}} \cdot K_{\text{отр}(t)}}{\eta_k^{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пп}} \cdot 7 \cdot K_{\text{отр}(k)}} = b_3^{\text{разд}} / K_{\text{отр}(k)} \quad (16)$$

$$b_{\text{тэ}} = \frac{100 + \alpha_{\text{пот}}}{\eta_{\text{k}}^{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пп}} \cdot 7 \cdot K_{\text{отр(k)}}} = b_{\text{тэ}}^{\text{разд}} / K_{\text{отр(k)}}, \quad (17)$$

где  $K_{\text{отр(t)}}$  и  $K_{\text{отр(k)}}$  – коэффициенты, показывающие, во сколько раз расход тепла на производство электроэнергии и расход топлива энергетическими котлами при отпуске тепла помимо турбин были бы больше фактических значений:

$$K_{\text{отр(t)}} = \frac{Q_{\text{з}} + Q_{\text{т}}^{\text{сн}} + \Delta Q_{\text{з(отр)}}}{Q_{\text{з}} + Q_{\text{т}}^{\text{сн}}}; \quad (18)$$

$$K_{\text{отр(k)}} = \frac{Q_{\text{з}} + Q_{\text{т}}^{\text{сн}} + \Delta Q_{\text{з(отр)}} + Q_{\text{от}} + Q_{\text{от}}^{\text{пот}}}{Q_{\text{з}} + Q_{\text{т}}^{\text{сн}} + Q_{\text{от}} + Q_{\text{от}}^{\text{пот}}}. \quad (19)$$

Экономия топлива от теплофикации в равной доле относится на оба вида энергии (пропорционально расходам тепла на их производство по раздельной схеме на данном оборудовании:  $Q_{\text{з}} + Q_{\text{т}}^{\text{сн}} + \Delta Q_{\text{з(отр)}}$  и  $Q_{\text{от}} + Q_{\text{от}}^{\text{пот}}$ ).

Удельный расход топлива на электроэнергию зависит от параметров свежего пара турбин, удельный расход топлива на тепло – от коэффициента его ценности, и оба они – от доли выработки электроэнергии по теплофикационному циклу.

Расход топлива на тепло может быть дифференцирован по параметрам пара:

$$b_{\text{тэ,i}} = b_{\text{тэ}} \frac{1 - \xi_i}{1 - \xi_{\text{сред}}}. \quad (20)$$

Прогноз и анализ сложны. При изменении режима работы ТЭС изменяются оба удельных расхода топлива.

#### 4. Аналог эксергетического метода

$$K_{\text{з}} = \frac{Q_{\text{з}} + Q_{\text{т}}^{\text{сн}} + \Delta Q_{\text{з(отр)}}}{Q_{\text{з}} + Q_{\text{т}}^{\text{сн}} + Q_{\text{от}} + Q_{\text{от}}^{\text{пот}}}; \quad (21)$$

$$b_{\text{з}} = b_{\text{разд}} = \frac{\eta_{\text{т}}^{\text{н}} \cdot K_{\text{отр(t)}}}{\eta_{\text{k}}^{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пп}} \cdot 7}; \quad (22)$$

$$b_{\text{тэ}} = \frac{100 + \alpha_{\text{пот}}}{\eta_{\text{k}}^{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пп}} \cdot 7} \cdot \xi_{\text{сред}} = b_{\text{тэ}}^{\text{разд}} \cdot \xi_{\text{сред}}. \quad (23)$$

Экономия топлива от теплофикации целиком относится на тепло.

Метод отражает реальную взаимосвязь между электрической и тепловой нагрузками турбоагрегатов, а также теплопроизводительностью (расходом топлива) котлов.

При неизменном отпуске тепла из отборов турбоагрегата дополнительная электрическая мощность производится по конденсационному циклу.

При неизменной электрической мощности турбоагрегата:

- увеличение отпуска тепла от конденсатора при нормальном вакууме ( $\xi = 0$ ) не вызывает изменения теплопроизводительности котла ( $\Delta Q_k^{\text{бр}} = 0$ );
- увеличение отпуска тепла из отбора турбоагрегата вызывает тем большее увеличение теплопроизводительности котла, чем выше давление пара (и, соответственно,  $\xi$ ) в отборе ( $\Delta Q_k^{\text{бр}} = \xi \cdot Q_{\text{отр}}$ );
- при отпуске тепла непосредственно от котла (свежим или редуцированным паром при  $\xi = 1$ ) изменение теплопроизводительности котла равно изменению отпуска тепла ( $\Delta Q_k^{\text{бр}} = \Delta Q_{\text{отр}}$ ).

Удельный расход топлива на электроэнергию практически равен удельному расходу конденсационного цикла. Поэтому его значение для ТЭЦ (так же, как и для КЭС) непосредственно отражает технический уровень оборудования (параметры свежего пара).

Удельный расход топлива на тепло характеризует параметры пара, используемого для теплоснабжения внешних потребителей, поскольку его значение прямо пропорционально зависит от коэффициента ценности этого тепла  $\xi$ .

Удельный расход топлива на тепло для пара каждого i-го параметра определяется по формуле:

$$b_{t_3,i} = b_{t_3}^{\text{разд}} \cdot \xi_i . \quad (24)$$

Прогноз и анализ удельных расходов топлива, как и при использовании физического метода, прости.

## 5. Характер изменения и значения удельных расходов топлива

Характер изменения удельных расхода топлива, определенных с использованием положений, изложенных в пп.2-4 методов распределения общего расхода топлива энергетическими котлами ТЭС между отпускаемыми ею электроэнергией и теплом, приведены на рисунке 1, а их средние значения по группам оборудования ТЭС за 2000 г. – в таблице 1.

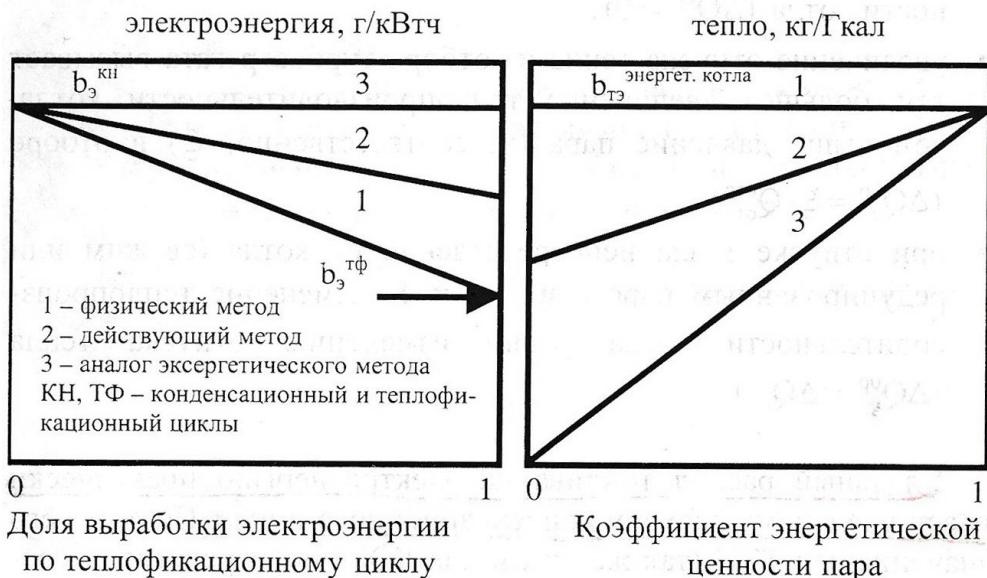


Рис. 1. Удельные расходы топлива по разным методам распределения его общего расхода между электроэнергией и теплом

## Результаты распределения общего расхода топлива ТЭС между отпускаемыми электроэнергией и теплом по различным методам

Ф – физическому (действовавшему до 1996 г.);

Д – действующему в настоящее время;

Э – аналогичному эксергетическому.

Группа оборудования	Электроэнергия, г/кВтч				Тепло, кг/Гкал			
	1995 г.		2000 г.		1995 г.		2000 г.	
	Ф	Д	Д	Э	Ф	Д	Д	Э
Энергоблок 1200 МВт	316	316	307	307	-	-	-	-
Энергоблоки, МВт:								
800	318	318	315	320	192	188	173	78
500	336	336	341	343	182	181	177	80
300	346	346	343	345	176	171	178	112
200	354	354	353	355	176	173	177	117
150	364	366	376	380	188	173	180	157
КЭС 90 кгс/см <sup>2</sup>	446	446	457	462	197	193	193	159
ПГУ, ГТУ и несерийное оборудование	397	397	368	386	157	159	146	105
<b>Всего по конденсационному оборудованию</b>	<b>351</b>	<b>352</b>	<b>348</b>	<b>351</b>	<b>182</b>	<b>177</b>	<b>172</b>	<b>117</b>
ТЭЦ 240 кгс/см <sup>2</sup>	226	265	273	346	168	134	134	64
Реконструированные энергоблоки 300, 200 и 150 Мвт	352	355	341	358	174	162	158	82
ТЭЦ 130 кгс/см <sup>2</sup>	270	331	324	408	174	143	141	94
ТЭЦ 90 кгс/см <sup>2</sup>	328	404	403	485	178	150	148	112
Прочее теплофикационное оборудование	275	463	444	557	174	153	153	139
<b>Всего по теплофикационному оборудованию</b>	<b>276</b>	<b>340</b>	<b>335</b>	<b>415</b>	<b>175</b>	<b>145</b>	<b>144</b>	<b>102</b>
Районные котельные	-	-	-	-	167	167	166	166
<b>Всего по АО-энерго и АО-ТЭС России</b>	<b>312</b>	<b>346</b>	<b>341</b>	<b>384</b>	<b>174</b>	<b>148</b>	<b>146</b>	<b>107</b>