

Метод расчета тарифов ТЭЦ на региональном рынке электрической и тепловой энергии при условии достижения максимальной балансовой прибыли всех участников рынка



В.В. Молодюк, д.т.н., первый заместитель председателя Научно-технической коллегии НП «Научно-технический совет Единой энергетической системы» (НП «НТС ЕЭС»), г. Москва

Комбинированное производство электрической и тепловой энергии на электростанциях, сжигающих органические топлива, было и остается эффективным энерго- и ресурсосберегающим процессом. Однако обязательное участие ТЭЦ на оптовом рынке электроэнергии привело к тому, что ТЭЦ стали убыточными. Из-за повышения цены тепловой энергии промышленные потребители в массовом порядке начали строить собственные локальные источники тепловой энергии – котельные.

Источники тепловой энергии – котельные.

Для создания эффективной конкуренции за поставки электрической и тепловой энергии по приемлемым тарифам необходимо дать возможность ТЭЦ и местным электростанциям работать на розничных рынках электроэнергии и тепла, а потребителям – заключать прямые договоры с местными электростанциями или с поставщиками электроэнергии с оптового рынка, если их цены будут более привлекательны [1]. У потребителей должно быть право выбрать поставщика электроэнергии или среди местных электростанций, работающих на розничном рынке, или приобрести электроэнергию с оптового рынка. Сейчас они этой возможности лишены.

Метод расчета тарифов на электрическую и тепловую энергию ТЭЦ на основе достижения максимальной балансовой прибыли всех участников рынка

Электроэнергетическая система включает в себя не только объекты производства, передачи, распределения и сбыта электро- и теплоэнергии, но и потребителей электрической и тепловой энергии. Рынок электроэнергии и тепла должен строиться так, чтобы он был эффективен для всех его участников

– производителей и потребителей энергии. Сейчас же оптовый рынок выгоден только производителям электроэнергии.

Рынок электроэнергии во многом строится на допущениях, поскольку электрическая энергия как товар обладает особыми свойствами. Возникает необходимость в **разработке специальных методов, правил и приемов**, позволяющих участникам торговых отношений работать, пусть и с существенными допущениями, но по рыночным правилам. В основе достижения максимально эффективного результата работы рынка автор предлагает использовать **критерий получения наибольшей балансовой прибыли** (прибыли до отчисления налогов) всех участников рынка. Тарифы на тепловую и электрическую энергию ТЭЦ необходимо рассчитывать по условиям, диктуемым рынком, и с учетом интересов всех участников рынка – производителей энергии и потребителей.

Построение кривой спроса потребителей электроэнергии начинается с формирования функции **полезности электрической энергии**. О функции полезности (ценности) электрической и тепловой энергии у потребителя ничего не известно. В этих

условиях ее условно предлагается оценивать удельной величиной добавленной стоимости выпускаемого потребителем товара при покупке им на рынке единицы энергии, используемой в процессе производства этого товара.

В расчетах показателей экономической эффективности работы субъектов рынка необходимо иметь **кривую полезности использования электрической и тепловой энергии у потребителей**. Полезность использования электрической энергии потребителем $\Pi_{пэ}$, тыс. руб./ч, представим следующим условием:

$$\Pi_{пэ} = c_{э} P_{п} - r_{э} P_{п}^2, \quad (1)$$

где $c_{э}$ – коэффициент удельной максимальной полезности электроэнергии у потребителя (полезность первого потребленного МВт·ч), тыс. руб./ (МВт·ч); $r_{э}$ – коэффициент снижения полезности электроэнергии у потребителя, тыс. руб./ (ч·МВт²); $P_{п}$ – часовое потребление электроэнергии, МВт·ч/ч. Кривые балансовой прибыли потребителей вогнуты вверх, т.е. обладают признаком насыщения.

Балансовая прибыль (прибыль до отчисления налогов) потребителя электрической энергии $\Phi_{пэ}$, тыс. руб./ч, определяется как разность между полезностью потребления электроэнергии, приобретенной на рынке, и затратами потребителя на ее покупку:

$$\Phi_{пэ} = \Pi_{пэ} - \lambda_{э} P_{п} = c_{э} P_{п} - r_{э} P_{п}^2 - \lambda_{э} P_{п}, \quad (2)$$

где $\lambda_{э}$ – цена (тариф) электроэнергии на рынке, тыс. руб./ (МВт·ч).

Полезность использования тепловой энергии потребителем $\Pi_{тэ}$, тыс. руб./ч, представим аналогичным условием:

$$\Pi_{тэ} = c_{т} Q_{п} - r_{т} Q_{п}^2, \quad (3)$$

где $c_{т}$ – коэффициент удельной максимальной полезности тепловой энергии у потребителя, тыс. руб./Гкал; $r_{т}$ – коэффициент снижения полезности потребления тепловой энергии, тыс. руб./ (ч·Гкал²); $Q_{п}$ – часовое потребление тепловой энергии потребителем, Гкал/ч.

Балансовая прибыль потребителя тепловой энергии $\Phi_{пт}$ тыс. руб./ч, определяется разностью полезности тепловой энергии у потребителя и затратами на ее покупку на рынке:

$$\Phi_{пт} = \Pi_{тэ} - \lambda_{т} Q_{п} = c_{т} Q_{п} - r_{т} Q_{п}^2 - \lambda_{т} Q_{п}, \quad (4)$$

где $\lambda_{т}$ – цена тепловой энергии на рынке, тыс. руб./Гкал.

Балансовая прибыль ТЭЦ $\Phi_{тэц}$ определяется разностью между выручкой за реализованную на рынке продукцию (электроэнергию и тепло) и затратами на ее производство:

$$\begin{aligned} \Phi_{тэц} &= \lambda_{э} P_{тэц} + \lambda_{т} Q_{тэц} - z_{тэц} = \\ &= \lambda_{э} P_{тэц} + \lambda_{т} Q_{тэц} - z_{топ} V_{тэц} P_{сов}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $z_{топ}$ – удельные затраты топлива на единицу производства совокупной продукции ТЭЦ, руб./ (г у. т.); $V_{тэц}$ – удельный расход топлива на выработку единицы совокупной продукции ТЭЦ (суммы электрической и приведенной теплофикационной нагрузки ТЭЦ), г у. т./ (кВт·ч).

Целевую функцию – суммарную балансовую прибыль электроэнергетической системы Φ в единицу времени (ч) – представим следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_{пэ} + \Phi_{пт} + \Phi_{тэц} = c_{э} P_{п} - r_{э} P_{п}^2 + \\ &+ c_{т} Q_{п} - r_{т} Q_{п}^2 - z_{топ} V_{тэц} P_{сов}, \end{aligned} \quad (6)$$

Суммарные затраты потребителей на покупку электро- и теплоэнергии всегда равны выручке ТЭЦ, т. е. всегда выполняется условие:

$$\lambda_{э} P_{п} + \lambda_{т} Q_{п} = \lambda_{э} P_{тэц} + \lambda_{т} Q_{тэц}$$

и поэтому в целевой функции (6) затраты потребителей на покупку электро- и теплоэнергии и выручка ТЭЦ от продажи электрической и тепловой энергии не присутствуют.

Поиск максимума целевой функции (6) необходимо проводить с учетом условий связи часовых балансов электро- и теплоэнергии в узлах электрической и тепловой нагрузок энергосистемы:

$$P_{тэц} - P_{п} = 0, \quad (7)$$

$$Q_{\text{ТЭЦ}} - Q_{\text{п}} = 0. \quad (8)$$

Себестоимость производства энергии является основной составляющей в ценовой заявке производителя электрической и тепловой энергии. Для ТЭЦ – это в основном затраты на топливо. Способ разделения общих затрат ТЭЦ на топливо между электро- и теплоэнергией принципиально влияет на рыночную цену электрической и тепловой энергии.

Начиная с плана ГОЭЛРО и вплоть до 1995 г. при распределении экономии топлива от теплофикации использовали так называемый «физический» метод, по которому всю экономию топлива относили на электроэнергию. **Результатом широкого применения «физического» метода стал массовый отказ тепловых потребителей от получения тепловой энергии от ТЭЦ и переход на собственные котельные.**

С тем чтобы удержать потребителей тепла на оптовом рынке электроэнергии, в РАО «ЕЭС России» выполнили частичную корректировку «физического» метода. Так, для повышения конкурентоспособности ТЭЦ на рынке тепловой энергии в 1996 г. был введен **метод разделения затрат на топливо**, в соответствии с которым эффект от теплофикации относили на оба вида энергии. Из 100% экономии топлива комбинированного цикла ТЭЦ примерно одна пятая часть экономии топлива была передана в пользу тепловых потребителей, но четыре пятых частей экономии по-прежнему уходило в пользу потребителей электрической энергии. Конечно, такой способ разнесения общей экономии от применения теплофикации является условным, основная цель которого состояла в том, чтобы хоть как-то уйти от «физического» метода.

Проблеме разделения затрат на топливо между электроэнергией и теплом посвящены десятки работ, и окончательным результатом стало понимание того, что бесспорно сделать это нельзя. Выходом из сложившегося положения может стать применение принципиально другого подхода, который вообще не делит общие затраты ТЭЦ на топливо между электрической и тепловой энергией. Предлагается использовать понятие **«совокупная продукция ТЭЦ»**.

В теплофикационной установке ТЭЦ производство электрической и тепловой энергии происходит в едином технологическом процессе, поэтому обоснованно можно определить только зависимость удельного расхода топлива ($V_{\text{ТЭЦ}}$) от производства совокупной продукции ТЭЦ $P_{\text{сов}}$ [2].

Совокупная продукция ТЭЦ определяется как сумма электрической нагрузки $P_{\text{ТЭЦ}}$ и приведенной нагрузки теплофикационных отборов $Q_{\text{отб}}$

$$P_{\text{сов}} = P_{\text{ТЭЦ}} + b_{\text{э}} Q_{\text{отб}}, \quad (9)$$

где $b_{\text{э}}$ – электрический эквивалент одной Гкал равный 1,163 МВт·ч/Гкал. При этом в $P_{\text{ТЭЦ}}$ учитывается мощность турбонасосов (при их наличии), а в $Q_{\text{отб}}$ – тепло регулируемых и нерегулируемых отборов, использованное на собственные нужды.

Предлагается использовать зависимость удельного расхода топлива $V_{\text{ТЭЦ}}$ от соотношения электрической нагрузки $P_{\text{ТЭЦ}}$ и отборов тепла $Q_{\text{отб}}$

$$V_{\text{ТЭЦ}} = f(P_{\text{ТЭЦ}}/Q_{\text{отб}}) = f(k_{\text{э}}) \quad (10)$$

где $k_{\text{э}} = P_{\text{ТЭЦ}}/b_{\text{э}} Q_{\text{отб}}$ – отношение полной электрической нагрузки ТЭЦ к нагрузке тепловых отборов ТЭЦ, 1/ч. Переводный коэффициент $b_{\text{э}}$ для $Q_{\text{отб}}$ равен 1,163 МВт·ч/Гкал.

Воспользуемся зависимостью удельного расхода топлива от соотношения электрической и тепловой нагрузки ТЭЦ, полученной экспериментально [2]:

$$V_{\text{ТЭЦ}} = f(k_{\text{э}}) = a + mk_{\text{э}} - ek_{\text{э}}^2 \quad (11)$$

где a , m , e – коэффициенты в кривой зависимости удельного расхода топлива $V_{\text{ТЭЦ}}$ от объема совокупной продукции $P_{\text{сов}}$ (9).

Полный расход топлива ТЭЦ на производство электро- и теплоэнергии определяется условием:

$$V_{\text{ТЭЦ}} = (a + mk_{\text{э}} - ek_{\text{э}}^2)(P_{\text{ТЭЦ}} + b_{\text{э}} Q_{\text{отб}}). \quad (12)$$

Для отыскания численных значений искомым переменных, при которых функция суммарного выигрыша энергосистемы (6) достигает своего максимального значения, используем метод неопределенных множителей Лагранжа. Применение данного

Табл. 1. Система уравнений, полученная в результате дифференцирования целевой функции по искомым переменным

Искомая переменная, по которой производится дифференцирование целевой функции (13)	Уравнение, полученное в результате дифференцирования	Физический смысл уравнения
Электрическая нагрузка потребителей, P_n	$P_n = (c_э - \lambda_э)/2r_э$	Объем электрической энергии P_n , который может купить потребитель по предложенной на рынке цене $\lambda_э$
Тепловая нагрузка потребителей, Q_n	$Q_n = (c_т - \lambda_т)/2r_т$	Объем тепловой энергии Q_n , который может купить потребитель по предложенной на рынке цене $\lambda_т$
Электрическая нагрузка ТЭЦ, $P_{тэц}$	$\lambda_э = z_{топ} (a + 2mk_э - ek_э^2 + m - 2ek_э)$	Рыночная цена электроэнергии, $\lambda_э$
Теплофикационная нагрузка ТЭЦ, $Q_{отб}$	$\lambda_т = z_{топ} (ab_э - mb_э k_э^2 + 2eb_э k_э^3 + eb_э k_э^2)$	Рыночная цена тепловой энергии, $\lambda_т$
Рыночная цена электроэнергии, $\lambda_э$	$P_{тэц} - P_n = 0$	Баланс электрической энергии
Рыночная цена тепловой энергии, $\lambda_т$	$Q_{отб} - Q_n = 0$	Баланс тепловой энергии

метода (кстати, традиционно широко используемого в оптимизационных задачах энергетики) в этом случае используется только для демонстрации предлагаемых идей. В реальных условиях представленные выше зависимости имеют более сложный характер и не будут поддаваться дифференцированию.

Из выражений (6) – (9) составим функцию Лагранжа

$$L = c_э P_n - r_э P_n^2 + c_т Q_n - r_т Q_n^2 - (a + mk_э - ek_э^2)(P_{тэц} + b_э Q_{отб}) + \lambda_э (P_{тэц} - P_n) + \lambda_т (Q_{отб} - Q_n) \quad (13)$$

Искомые переменными в (13) являются $P_n, Q_n, P_{тэц}, Q_{отб}, \lambda_э, \lambda_т$. Коэффициенты Лагранжа $\lambda_э$, тыс. руб./((МВт·ч), и $\lambda_т$, тыс. руб./Гкал, устанавливают рыночную цену соответственно на электрическую и тепловую энергию, вырабатываемые ТЭЦ в комбинированном цикле.

Текущая рыночная цена на электрическую $\lambda_э$ и тепловую энергию $\lambda_т$ определяется путем частного дифференцирования (13) по электрической $P_{тэц}$ и тепловой нагрузке ТЭЦ $Q_{отб}$ соответственно. Так, дифференцирование (13) по электрической нагрузке $P_{тэц}$ позволяет рассчитать рыночную цену электроэнергии:

$$\lambda_э = z_{топ} \frac{\partial [(a + mk_э - ek_э^2)(P_{тэц} + b_э Q_{отб})]}{\partial P_{тэц}} = z_{топ} [a + m + 2(m - e)k_э - ek_э^2]. \quad (14)$$

Рыночная цена тепловой энергии определяется дифференцированием целевой функции (13) по теплофикационной нагрузке ТЭЦ $Q_{отб}$:

$$\lambda_т = z_{топ} \frac{\partial [(a + mk_э - ek_э^2)(P_{тэц} + b_э Q_{отб})]}{\partial Q_{отб}} = z_{топ} [ab_э + b_э(e - m)k_э^2 + 2eb_э k_э^3]. \quad (15)$$

В результате получаем систему уравнений, совместное решение которых дает необходимый результат (табл.1).

Пример расчета работы ТЭЦ на рынке электро- и теплоэнергии без разделения затрат на топливо ТЭЦ между электрической и тепловой энергией

В качестве примера расчета эффективности работы ТЭЦ на рынке электрической и тепловой энергии была выбрана ТЭЦ-26 Москвы, для которой зависимость удельного расхода топлива (природного газа) от отношения электрической нагрузки к нагрузке те-

пловых отборов представлена следующей кривой [3]:

$$V_{\text{ТЭЦ}} = 107,7 + 77,1k_3 - 8,8k_3^2, \quad (16)$$

Удельную стоимость газового топлива принимаем равной $Z_{\text{топ}} = 0,004$ руб./г у. т.

Для потребителей электрической энергии:

$$C_3 = 2 \text{ тыс. руб./}(МВт\cdot\text{ч}); r_3 = 0,001 \text{ тыс. руб./}(ч\cdot\text{МВт}^2).$$

Таким образом, потребительская ценность одного кВт·ч установлена в размере 2 руб. При росте потребления электроэнергии на один кВт·ч его ценность для потребителя снижается со скоростью «насыщения» $r_3 = 0,001$ тыс. руб./ $(ч\cdot\text{МВт}^2)$.

Для потребителей тепловой энергии:

$$C_T = 1 \text{ тыс. руб./}(Гкал); r_T = 0,001 \text{ тыс. руб./}(ч\cdot\text{Гкал}^2).$$

Таким образом, потребительская ценность одной Гкал установлена в размере одной тысячи рублей, а ее ценность с ростом потребления снижается со скоростью «насыщения» $r_T = 0,001$ тыс. руб./ $(ч\cdot\text{Гкал}^2)$.

Поиск максимума целевой функции (13) – сложная задача, поскольку удельный расход топлива $V_{\text{ТЭЦ}}$ является нелинейной (квадратичной) функцией отношения электрической и тепловой нагрузки отборов ТЭЦ k_3 . Поставленную задачу проще решать имитационным способом, т. е. заданием величины

потребления тепловой энергии ТЭЦ на рынке тепла $Q_{\text{п}}$ и последующим определением других искомым показателей.

Расчеты проведены для различных значений k_3 , определяемых по выражению:

$$k_3 = P_{\text{ТЭЦ}} / b_3 Q_{\text{отб}}$$

Уравнение (14) при принятых численных значениях выглядит следующим образом:

$$\lambda_3 = 0,004 (185 + 118 k_3 - 19,5 k_3^2). \quad (17)$$

Для тепловой энергии уравнение (15) при подстановке численных значений принимает вид:

$$\lambda_T = 0,004(125 - 59 k_3^2 + 13 k_3^3). \quad (18)$$

Пусть $Q_{\text{п}} = 100$ Гкал/ч; $k_3 = 0,5$. Потребление тепловой энергии равно теплофикационной нагрузке ТЭЦ.

Тогда электрическая нагрузка ТЭЦ $P_{\text{ТЭЦ}} = 116$ МВт, $V_{\text{ТЭЦ}} = 144$ г/(кВт·ч), $\lambda_3 = 0,96$ руб./ $(кВт\cdot\text{ч})$, $\lambda_T = 0,52$ тыс. руб./Гкал.

Суммарная балансовая прибыль потребителей электрической и тепловой энергии, ТЭЦ и энергосистемы рассчитываются соответственно по выражениям (2), (4), (5) и (6). Их итоговые значения приведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты расчета оптимальных вариантов при различных величинах тепловой нагрузки отборов ТЭЦ

Показатели	Результаты расчетов технико-экономических показателей ТЭЦ при различных величинах ее тепловой нагрузки								
	100			200			300		
Тепловая нагрузка отборов ТЭЦ, Гкал/ч	100			200			300		
То же, МВт	116			233			349		
Отношение электрической и тепловой нагрузок из отборов турбин (k_3), 1/ч	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Электрическая нагрузка ТЭЦ, МВт	58	116	174	116	233	349	174	349	523
Совокупная продукция ТЭЦ, МВт	174	232	290	349	466	582	523	698	872
Удельный расход топлива на совокупную продукцию ТЭЦ, г у. т./ $(кВт\cdot\text{ч})$	144	175	204	144	175	204	144	175	204
Тариф на электроэнергию ТЭЦ, руб./ $(кВт\cdot\text{ч})$	0,96	1,13	1,27	0,96	1,13	1,27	0,96	1,13	1,27
Тариф на тепловую энергию ТЭЦ, тыс. руб./Гкал	0,52	0,37	0,17	0,52	0,37	0,17	0,52	0,37	0,17
Балансовая прибыль субъектов рынка электрической и тепловой энергии									
Балансовая прибыль ТЭЦ, тыс. руб./ч	7	6	1	14	12	3	22	19	4
Балансовая прибыль потребителей электроэнергии, тыс. руб./ч	57	87	97	108	147	133	152	180	108
То же для потребителей тепловой энергии, тыс. руб./ч	38	53	73	56	86	126	54	99	159
Суммарная балансовая прибыль энергосистемы, тыс. руб./ч	102	146	171	178	245	262	227	298	271

Пусть $Q_n = 200$ Гкал/ч; $k_3 = 0,5$. Электрическая нагрузка $P_{ТЭЦ} = 116$ МВт; $B_{ТЭЦ} = 144$ г/(кВт·ч); $\lambda_3 = 0,96$ руб./((кВт·ч); $\lambda_T = 0,52$ тыс. руб./Гкал.

Балансовая прибыль потребителей электрической и тепловой энергии и суммарная балансовая прибыль энергосистемы возросла за счет роста потребления электрической и тепловой энергии, а выигрыш ТЭЦ, наоборот, снизился из-за уменьшения цены продажи тепловой энергии, которая не компенсируется ростом цены на электроэнергию (табл. 2).

При $Q_n = 300$ Гкал/ч и $k_3 = 0,5$ указанная тенденция сохраняется. Результаты расчетов при $k_3 = 0,5$; $k_3 = 1,0$ и $k_3 = 1,5$ приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, при всех тепловых нагрузках максимальная балансовая прибыль ТЭЦ достигается при $k_3 = 0,5$.

Суммарная балансовая прибыль энергосистемы растет при увеличении выработки электроэнергии ТЭЦ до значения $k_3 = 1,0$ за счет роста балансовой прибыли потребителей тепловой энергии (тариф на тепловую энергию при увеличении x постоянно снижается). Тариф же на электрическую энергию при увеличении x , наоборот, постоянно растет.

Для потребителей электрической энергии увеличение k_3 ведет к росту цены на электроэнергию, что уменьшает балансовую прибыль потребителей электроэнергии. Отсюда следует важный вывод о том, что **интересы потребителей электрической и тепловой энергии и ТЭЦ на рынке не совпадают, поскольку максимальные выигрыши для них достигаются при различных нагрузках.**

Расчет эффективности работы ТЭЦ на рынке электрической и тепловой энергии по тарифу «альтернативной котельной»

В настоящее время активно обсуждаются принципы построения розничных рынков тепловой энергии. Трудность создания таких рынков объясняется многими объективными причинами: локальностью рынков тепла; отсутствием объективных критериев разделения общих затрат на ТЭЦ на производство электроэнергии и тепла, другими причинами.

Рынки электрической и тепловой энергии тесно связаны. Особенно это проявляется в случае, когда

основным поставщиком электрической и тепловой энергии является ТЭЦ. О необходимости создания рынка тепловой энергии говорят уже много лет, и их создание, действительно, давно назрело. Основные новшества, которые предлагают ввести при создании рынков тепла, касаются организации единых теплоснабжающих организаций (ЕТО) и перехода в расчетах на тарифы «альтернативной котельной».

Принцип «альтернативной котельной» состоит в том, что тариф на производство и передачу тепловой энергии ограничивают сверху наименьшей величиной, при которой окупается проект строительства новой котельной, замещающей ТЭЦ (отсюда термин – «альтернативная котельная»). В основе определения технико-экономических показателей альтернативной котельной лежит предпосылка о применении наиболее современных и экономичных технологий, а также максимально эффективное использование ее установленной мощности. На первый взгляд – идея хорошая, но что даст ее применение, необходимо тщательно проанализировать.

Выполним сравнение показателей работы ТЭЦ для следующих вариантов:

- **Вариант 1.** Тариф на электро- и теплоэнергию на розничном рынке рассчитывают исходя из достижения максимума суммарного выигрыша (б) всех участников рынка (ТЭЦ и потребителей);

- **Вариант 2.** ТЭЦ поставляет тепловую энергию на розничный рынок по цене альтернативной котельной, а электроэнергию – по топливной составляющей ТЭЦ.

В обоих вариантах ТЭЦ работает в теплофикационном режиме, и нагрузка ТЭЦ равна нагрузке потребителей.

Тариф на тепловую энергию альтернативной котельной определяется по выражению:

Табл. 3. Результаты расчета вариантов энергоснабжения от ТЭЦ по тарифам, рассчитанным по условию максимального выигрыша всех участников рынка и по тарифу альтернативной котельной

Показатели	Значения показателей, рассчитанные для вариантов тарифов на тепловую энергию ТЭЦ	
	тарифы ТЭЦ, рассчитанные по условию максимальной балансовой прибыли всех участников рынка	тарифы на тепловую энергию ТЭЦ, равные тарифам альтернативной котельной
Отношение электрической нагрузки ТЭЦ к нагрузке отборов тепла (k_{Σ}), 1/ч	0,50	0,69
Удельный расход топлива на совокупную продукцию ТЭЦ, г у. т/(кВт·ч)	144	157
Тариф на тепловую энергию ТЭЦ, тыс. руб./Гкал	0,45	–
Тариф на тепловую энергию ТЭЦ равный тарифу альтернативной котельной, тыс. руб./Гкал	–	0,60
Тариф на электроэнергию ТЭЦ, руб./(кВт·ч)	0,96	1,03
Тепловая нагрузка ТЭЦ, Гкал/ч	275	200
То же, МВт	320	233
Электрическая нагрузка ТЭЦ, МВт	160	160
Совокупная продукция ТЭЦ, МВт	480	393
Балансовая прибыль участников рынка электрической и тепловой энергии		
Балансовая прибыль ТЭЦ, тыс. руб./ч	1	38
То же для потребителей электроэнергии, тыс. руб./ч	141	130
То же для потребителей тепловой энергии, тыс. руб./ч	75	40
Суммарная балансовая прибыль всех участников рынка (энергосистемы), тыс. руб./ч	217	208

$$\lambda_{\text{кот}} = z_{\text{топ}} \cdot V_{\text{кот}} = 0,004 \cdot 150 = 0,60 \text{ тыс. руб./Гкал,}$$

где $V_{\text{кот}}$ – удельный расход топлива котельной на выработку единицы тепловой энергии при условии применения наиболее современных и экономичных технологий, кг у. т/Гкал.

Для варианта 1 величина k_{Σ} принята равной 0,5. Следует заметить, что и для других значений X результаты расчетов были аналогичны.

Удельный расход топлива на совокупную продукцию ТЭЦ, рассчитанный по (16) для $k_{\Sigma} = 0,5$, составляет 144 г у. т/(кВт·ч). ТЭЦ продает электроэнергию на оптовый рынок по тарифу 0,96 руб./(кВт·ч), рассчитанному по выражению (17). Результаты расчетов приведены в табл. 3.

В первом варианте потребители тепловой энергии покупают на рынке оптимальный для сво-

его производства объем тепловой энергии, рассчитанный по формуле табл. 1, т. е.

$$Q_{\text{п}} = (C_{\text{T}} - \lambda_{\text{T}}) / 2r_{\text{T}} = (1 - 0,45) / (2 \cdot 0,001) = 275 \text{ Гкал/ч.}$$

При $k_{\Sigma} = 0,5$ электрическая нагрузка ТЭЦ составляет:

$$P_{\text{ТЭЦ}} = 275 \cdot 0,5 \cdot 1,163 = 160 \text{ МВт.}$$

Балансовая прибыль всех участников рынка (энергосистемы) составляет 217 тыс. руб./ч.

Во втором варианте при продаже тепловой энергии ТЭЦ на розничном рынке по цене альтернативной котельной потребитель тепловой энергии снижает свое потребление вследствие роста тарифа на тепловую энергию (тариф альтернативной котельной выше тарифа, рассчитанного при условии максимальной балансовой прибыли всех участников рынка):

$$Q_{\text{п}} = (c_{\text{т}} - \lambda_{\text{т}}) / 2r_{\text{т}} = (1 - 0,60) / (2 \cdot 0,001) = 200 \text{ Гкал/ч},$$

а электрическая мощность ТЭЦ остается на прежнем уровне 160 МВт вследствие обязательств ТЭЦ на оптовом рынке поставить электроэнергию в том же объеме.

Удельный расход топлива на выработку совокупной продукции ТЭЦ (16) возрастает:

$$P_{\text{ТЭЦ}} = 190 \cdot 0,5 \cdot 1,163 = 110 \text{ МВт}.$$

При этом электрическая нагрузка ТЭЦ, вырабатываемая по теплофикационному циклу, снижается:

$$P_{\text{ТЭЦ}} = 200 \cdot 0,5 \cdot 1,163 = 116 \text{ МВт}.$$

Отношение электрической нагрузки ТЭЦ к нагрузке тепловых отборов ТЭЦ составляет:

$$k_{\text{э}} = P_{\text{ТЭЦ}} / b_{\text{э}} Q_{\text{отб}} = 160 / (1,163 \cdot 200) = 0,69.$$

Удельный расход топлива на ТЭЦ (16) возрастает и составляет:

$$B_{\text{ТЭЦ}} = 107,7 + 77,1 \cdot 0,69 - 8,8 \cdot 0,692 = 157 \text{ г у. т./кВт}\cdot\text{ч}.$$

Тариф на электроэнергию ТЭЦ, рассчитанный по выражению (17), также возрастает до 1,03 руб./кВт\cdotч. Во втором варианте тариф на тепловую энергию ТЭЦ принят на уровне тарифа замыкающей котельной, т. е. равен 0,60 тыс. руб./Гкал.

Балансовая прибыль ТЭЦ во втором варианте возрастает до 38 тыс. руб./ч, а общая балансовая прибыль энергосистемы снижается до 208 тыс. руб./ч. Потребители электрической и тепловой энергии также снижают свою балансовую прибыль.

Отсюда следует, что применение в расчетах на рынке тепловой энергии метода «альтернативной котельной» имеет отрицательные последствия для всей энергосистемы: снижается тепловая нагрузка потребителей, сокращается выработка электрической энергии на ТЭЦ по теплофикационному циклу, падает суммарный выигрыш энергосистемы.

Выигрыш потребителей тепла уменьшается за счет роста тарифа на тепловую энергию и снижения объема ее покупки. Потребитель при этом остается в проигрыше. При этом у ТЭЦ возникает дополнительная выручка за счет перехода на более высокий тариф альтернативной котельной. В таких условиях весь эффект от использования теплофикации направляется на увеличение прибыли ТЭЦ.

Использование в расчетах на розничном рынке тепловой энергии тарифа альтернативной котельной фактически узаконивает «физический» метод разделения общих затрат ТЭЦ между электрической и тепловой энергией и способствует уходу потребителей из централизованного теплоснабжения.

Литература

1. Кутовой Г. П. Некоторые итоги вестернизации отечественной электроэнергетики в постсоветский период // Энергетик. 2014. № 1. С. 2 – 10.
2. Микулич Г. В. Показатели топливной эффективности ТЭЦ // Вести в электроэнергетике. 2008. № 3. С. 47 – 55.
3. Микулич Г. В. Решение задач топливоиспользования с применением зависимостей расходов топлива на совокупную продукцию ТЭЦ // Вести в электроэнергетике. 2008. № 4. С. 43 – 46.