



Александр Богданов
главный технолог ЗАО СибКОТЭС

Котельнизация России — беда национального масштаба¹

Максимальная выработка электроэнергии на тепловом потреблении — основа топливосбережения в России

В одной из предыдущих частей данной серии статей² рассматривались принципиальные недостатки существующей инструкции по технико-экономическому анализу работы ТЭЦ, в частности, требование об использовании показателей удельного расхода топлива на производство тепловой и электрической энергии. На наш взгляд, расчеты на базе этих показателей приводят к неизбежному перекрестному субсидированию генерации указанных видов энергии на ТЭЦ и в конечном итоге к необходимости массового строительства котельных и мини-ТЭЦ с низкими параметрами пара.

В публикуемом ниже материале предлагается иной подход — метод синергии топливосбережения в сложных теплоэнергетических системах на основе значений удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении и коэффициента полезного использования топлива (КПИТ).

Синергия — взаимовлияние нескольких факторов, при котором совместное действие значительно превышает эффект каждого отдельно взятого компонента и их простой суммы. Например, прибыль после слияния двух компаний превосходит сумму их прибыли до объединения.

Как правило, на практике возможны три сценария взаимодействия частных частей. Рассмотрим их применительно к работе какой-либо группы людей.

Сценарий первый. Вклад каждого специалиста хорошо вписывается в общую производственную картину, совместные усилия себя оправдывают, конечный результат равен сумме труда всех членов группы. Так, если над заданием работают четыре человека, итог их деятельности: $1 + 1 + 1 + 1 = 4$.

Сценарий второй (вариант «лебеда, рака и щуки»). Сотрудники пы-

таются решить поставленную перед ними задачу сообща, но процесс осложняется амбициями, взаимным непониманием, конфликтами, дублированием функций. Выполнение задания затягивается, одни и те же расчеты неоднократно переделываются, совещания проходят в попытках примирить разные точки зрения и заканчиваются ничем. Результаты работы оказываются посредственными. В этом случае общий итог будет меньше суммы составных частей: $1 + 1 + 1 + 1 = 2$.

Сценарий третий (синергетический). Знания и умения специалистов организованы таким образом, что они взаимно усиливаются. Искусство управления состоит именно в том, чтобы умело объединять деятельность многих или нескольких людей и добиваться сверхаддитивного эффекта.

Под синергетическим, или сверхаддитивным, эффектом понимается положение вещей, когда целое

¹ Продолжение. Начало см.: ЭнергоРынок. 2006. №№ 3, 6, 9; 2007. №№ 2, 6, 11; 2008. № 1.

² ЭнергоРынок. 2006. № 6.

больше суммы отдельных частей ($1 + 1 + 1 + 1 = 8$).

Относительные базовые показатели в энергетике

В практике экономических расчетов широко применяются некоторые базовые показатели, помогающие определить единый подход и систематизировать анализ. К примеру, всем известен такой базовый показатель, как стоимость барреля нефти в долларах США. Большинство людей хотя и не задумываются о том, сколько же это количественно — один баррель, однако в последнее время благодаря сообщениям СМИ знают, что 70 долл. за баррель — нормально, но бывает и 10, и 90.

В качестве базового значения в энергетике давно существует показатель, называемый «условное топливо», под которым понимается некое горючее вещество с теплотворной способностью 7 000 Ккал/кг. В реальности его может и не быть, есть топливо с большей теплотворной способностью, скажем, бензин (10 600 Ккал/кг), есть с меньшей, например, дрова (2 400 Ккал/кг), но для сравнения эффективности технологических процессов все расчеты приводятся к условному топливу.

Базовые показатели для анализа работы сложных теплоэнергетических систем

Выше уже говорилось о том, что распространенный сегодня метод оценки работы ТЭЦ (при генерации энергии и комбинированным способом, и раздельным) предполагает использование таких базовых показателей, как:

- удельный расход топлива на производство электрической энергии;
- удельный расход топлива на производство тепловой энергии.

Но применение только этих значений не позволяет адекватно проанализировать работу сложной теплоэнергетической системы, включающей ТЭЦ, ГРЭС и котельные.

Для полноценного исследования эффективности комбинированного способа генерации тепловой и электрической энергии необходимо ввести следующие показатели:

- удельная выработка электроэнергии на базе теплового потребления W (МВт/Гкал);
- коэффициент полезного использования топлива — КПИТ (η).

Вообще говоря, предложенные показатели давно и широко известны. Они востребованы в энергетике для изучения экономичности тех или иных решений. Вместе с тем их широкое практическое применение с целью определения энергосберегающего потенциала конкретной ТЭЦ или теплоэнергетического комплекса города, региона было ограничено существующими нормативными материалами.

«Лысенковщина» в энергетике

Теоретическим основам анализа эффективности тепловых электростанций в литературе уделено много внимания. Можно указать на следующие работы: д.т.н. Я.М. Рубинштейна о коэффициентах ценности тепла, д.т.н. И.Н. Бутакова³ о методе вычисления КПД ТЭЦ, д.т.н. В.Я. Рыжкина об энергетических коэффициентах, к.т.н. А.С. Горшкова⁴ о показателях производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, д.т.н. Д.П. Гохштейна⁵ об энтропийном методе анализа энергетических потерь и о видоизменении этого метода в исследованиях д.т.н. А.И. Андриященко⁶ и д.т.н. Е.Я. Соколова⁷ и др. В 1952 году в Академии наук СССР на научно-техническом сове-

щении, проведенном совместно с Энергетическим институтом им. Г.М. Кржижановского и Московским НТО энергетической промышленности, подробно обсуждались некоторые из вышеперечисленных вопросов⁸, и было принято решение о том, что «...применяемый на электростанциях способ вычисления технико-экономических показателей (физический метод А.С. Горшкова) в основном удовлетворяет требованиям эксплуатации электростанций и энергосистем».

Несмотря на вынужденное прекращение субсидирование потребителей электрической энергии за счет потребителей тепловой энергии, рекомендованная в 1952 г. официальная методика в рамках централизованного планового хозяйства в определенной мере содействовала развитию энергетики СССР. Но после краха плановой экономики и в условиях зарождающегося рынка (особенно это было характерно для Москвы и других крупных городов в 1992—1995 гг.) промышленные потребители едва ли не в массовом порядке стали отказываться от теплофикации и переходить на раздельный способ получения энергии: тепла — от собственных котельных, а электроэнергии — от ГРЭС и ТЭЦ, работающих в конденсационном режиме.

С целью приостановить данный процесс в 1996 г. произвели корректировку «физического» метода и приняли так называемый «действующий метод ОРГРЭС».⁹ Но «уступок», содержащихся в нем, оказалось недостаточно: согласно новому методу, из 100 % экономии топлива при комбинированной выработке на ТЭЦ только 20—25 % решено было относить на удешевление тепла на региональном уровне, а 75—80 %

³ Бутаков И.Н. Коэффициент полезного действия тепловых установок и энергосистем. Томск: Изд-во Томского университета, 1961.

⁴ Горшков А.С. Технико-экономические показатели тепловых электростанций. 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1984.

⁵ Гохштейн Д.П., Вехивкер Д.П. Проблема повышения КПД паротурбинных электростанций. М. — Л.: Госэнергоиздат, 1960.

⁶ Андриященко А.И., Аминов Р.З. Оптимизация режимов работы и параметров тепловых электростанций. М.: Высшая школа, 1983.

⁷ Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Энергия, 1975.

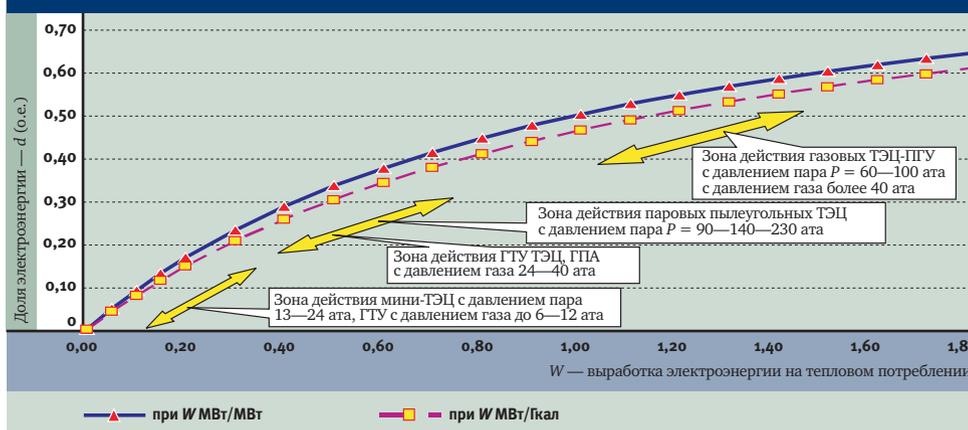
⁸ Вопросы определения КПД теплоэлектростанций // Сб. докл. под общ. ред. акад. А.В. Винтера. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1953.

⁹ Астахов Н.Л. Некоторые методы распределения расходов топлива энергетических котлов ТЭС между электроэнергией и теплом. Инновации в энергетических технологиях. // Сб. докл. конференции, посвященной 50-летию ИПК госслужбы, 2002.

Табл. 1. Базовые показатели работы ТЭЦ, ГРЭС, котельных, устанавливаемые для идентификации синергии топливосбережения

1.	Удельная выработка ЭЭ на основе теплового потребления, принятая как технологически достижимая базовая величина (см. рис. 1)	W база = 0,8 МВт/Гкал = 0,686 МВт _{ТЭЦ} /МВт _{ТЭ}	
2.	Достижимый КПИТ современной котельной	$\eta_{\text{база кот}} = 0,88$	$b_{\text{ТЭ}} = 162$ кг у.т./Гкал
3.	Достижимый КПИТ современной ТЭЦ, производящей комбинированные электро- и теплоэнергию в теплофикационном цикле без сброса тепла в окружающую среду	$\eta_{\text{база ТЭЦ}} = 0,85$	$b_{\text{ТЭ}} = 168$ кг у.т./Гкал $b_{\text{ЭЭ}} = 144$ кг у.т./МВт
4.	Достижимый КПИТ современной ГРЭС	$\eta_{\text{база ГРЭС}} = 0,38$	$b_{\text{ЭЭ}} = 323$ кг у.т./МВт
5.	Удельный расход топлива на электро- и теплоэнергию при комбинированном производстве	$b_{\text{ТЭ}} = 1 / (7 \times \eta_{\text{ТЭЦ}}) = b_{\text{ЭЭ}} = 1 / (7 \times \eta_{\text{ТЭЦ}})$	
6.	Комбиэнергия (сумма тепловой и электрической энергии), произведенная в едином технологическом процессе комбинированным способом без сброса тепла в окружающую среду	$S = Q + N \times 0,86$ $S = Q \times (1 + W \times 0,86)$	
7.	Доля электроэнергии d в комбиэнергии S в зависимости от выработки электроэнергии на основе теплового потребления	$d_{\text{ЭЭ}} = W / (1 + W)$	
8.	Расход топлива на производство тепловой и электрической энергии при комбинированном способе производства	$B_{\text{сум}} = B_{\text{ТЭ}} + B_{\text{ЭЭ}}$ $B_{\text{сум}} = (Q + N \times 0,86) / (7 \times \eta_{\text{ТЭЦ}})$ $B_{\text{сум}} = Q (1 + W \times 0,86) / (7 \times \eta_{\text{ТЭЦ}})$	
9.	Синергия топливосбережения. Перерасход топлива при раздельном способе производства против комбинированного способа производства	$K_{\text{перерасход}} = B_{\text{разд}} / B_{\text{комб}}$ $K_{\text{перерасход}} = (B_{\text{кот}} + B_{\text{ГРЭС}}) / B_{\text{ТЭЦ}}$ $K_{\text{перерасход}} = [(1 / \eta_{\text{кот}}) + (0,86 \times W) / \eta_{\text{ГРЭС}}] / [(1 / \eta_{\text{ТЭЦ}}) + (0,86 \times W) / \eta_{\text{ТЭЦ}}]$	

Рис. 1. Доля электроэнергии — d , в комбиэнергии — S , в зависимости от выработки электроэнергии на тепловом потреблении W



эффекта пришлось на снижение стоимости «федеральной» электрической энергии.

На самом деле распределение экономии, исходя из характеристик удельного прироста топлива на прирост тепла, должно идти в обратной

пропорции. Именно так могут быть созданы выгодные рыночные условия для перехода потребителей на использование комбинированной энергии, получаемой на ТЭЦ. Пока же продолжает процветать процесс котельнизации России.

Как в свое время советская генетика находилась в плену лысенковского учения, так российская энергетика до настоящего времени пребывает в зависимости от «физического» метода и его производных. Но для улучшения энергоснабжения в новой конкурентной среде необходимо отказываться от устаревших моделей анализа и искать иные способы, адекватно отражающие технологию производства различных видов энергетической продукции.

Синергия топливосбережения

Известно, что в отличие от ГРЭС или котельной, где производится только один вид энергии, ТЭЦ вырабатывает: а) электрическую энергию (N) в конденсационном цикле, со сбросом тепла в окружающую среду; б) тепловую энергию (Q) через редуциционно-охладительные установки (РОУ); в) комбиэнергию ($S_{\text{комби}}$) с долей электроэнергии $d_{\text{ЭЭ}}$, без сброса тепла в окружающую среду.

Предложенные нами выше показатели — удельная выработка электроэнергии на базе теплового потребления и КПИТ, в отличие от показателя удельного расхода топлива, позволяют выполнять анализ экономичности ТЭЦ на более качественном уровне и при этом:

- намного точнее нормировать не только производство, но и потребление тепловой и электрической энергии (см. табл. 1, 2);
- инициировать синергию топливосбережения на ТЭЦ, на промышленном предприятии, в городе, в регионе (рис. 2, табл. 2);
- правильно рассчитывать комплексную эффективность ТЭЦ и котельных при параллельной и при последовательной теплоэнергетических схемах включения с четким выделением базовой, полубазовой и пиковой части графика нагрузок;
- оценивать эффективность производства электроэнергии на тепловом потреблении в зависимости от параметров острого пара и параметров отпускаемой тепловой энергии (рис. 3).

Кроме того, предлагаемые нами показатели помогают лучше понять несомненные преимущества комбинированного производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ — в сравнении с раздельной генерацией электрической энергии на ГРЭС и тепловой энергии в котельной. Расчет синергии топливосбережения при переходе от раздельного к комбинированному способу производства на ТЭЦ с различными параметрами пара и давлением газа приведен на рисунке 2.

Синергия топливосбережения в нашем понимании — это увеличение экономики топлива в теплоэнергети-

Рис. 2. Синергия топливосбережения при переходе от раздельного способа ГРЭС и котельных к комбинированному способу на ТЭЦ (принято КПИТ котельной = 0,88; КПИТ ГРЭС = 0,38)

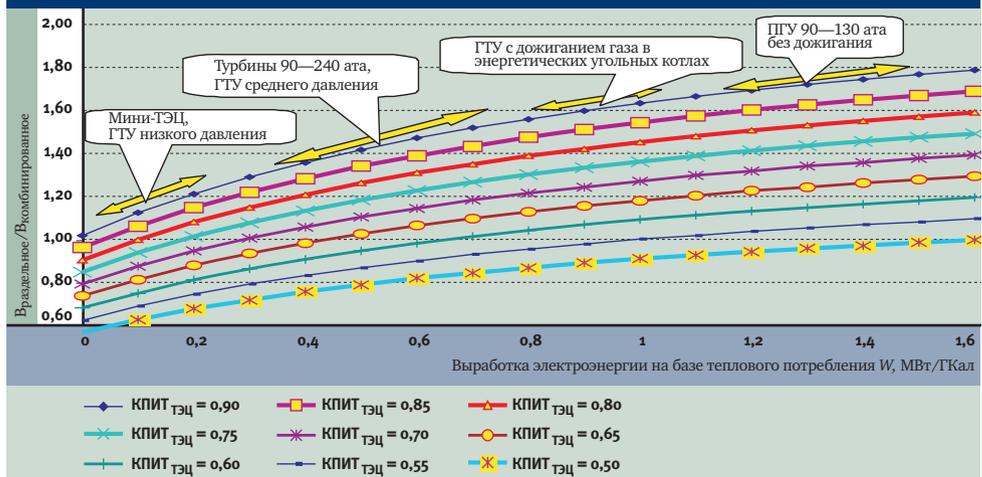


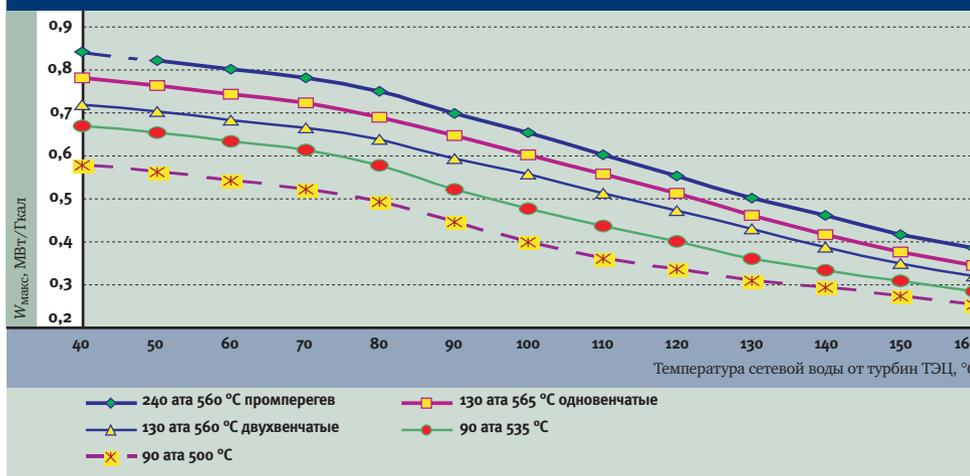
Табл. 2. Синергия топливосбережения г. Омска и потенциал обеспечения собственной электроэнергией Омского региона

Параметры	Ед. изм.	ТЭЦ-2	ТЭЦ-3	ТЭЦ-4	ТЭЦ-5	ТЭЦ-6	Омск-энерго	Оптовый рынок ЭЭ	Котельные, мини-ТЭЦ	ИТОГО
1. Производство тепла на ТЭЦ и в котельных	тыс. Гкал	1071	4329	3194	3945	1236	13776	-	5561	19337
- в т. ч. на отработанном паре	тыс. Гкал		4262	2980	3719		10961		980	11941
	%		98,4	93,3	94,2		79,5		10	61,5
2. Выработка и потребление электроэнергии	тыс. МВт·ч		1585,6	1827,1	2814,6		6227,3	3020	198	9445,3
- в теплофикационном цикле (Э _{тф})	тыс. МВт·ч		1097,9	966,0	1965,0		4029,0	0,00	98	4127
	%		69,2	52,9	69,8		64,7			
- в конденсационном цикле (Э _{конд})	тыс. МВт·ч		487,7	861,1	849,6		2198,3	3020	100	5318,3
	%		30,8	47,1	30,2		35,3			
3. Фактический расход топлива за год	тыс. т.у.т	182,3	1250,7	1240,4	1439,4	203,4	4316,2	996,6	1037,3	6348,1
4. Реальный расход топлива при КПИТ = 0,85	тыс. т.у.т	180,0	956,7	800,9	1069,9	207,7	3215,2	436,5	963,2	4615,1
5. Фактический коэффициент полезного использования топлива (КПИТ _{факт})	%	83,9	65,0	54,9	63,2	86,8	63,3	37,2	78,9	61,8
6. Синергия топливосбережения по городу; внутрисистемный потенциал экономии топлива ΔV = 75 % от V _{кот} , при КПИТ _{ТЭЦ} = 85 %	тыс. т.у.т	136,7	294	439,5	369,5	152,6	1392,3	560,1	778,0	2730,4
	%	75	23,5	35,4	25,7	75,0	32,3	56,2	75	43,0
7. Выработка ЭЭ на тепловом потреблении										
- по турбинам	МВт/ Гкал	0	0,25	0,324	0,528	0	0,367	0	0,1	0,346
- в целом по ТЭЦ, по городу	МВт /Гкал	0	0,25	0,302	0,498	0	0,29	0	0,017	0,213
8. Потенциал города по обеспечению региона собственной электроэнергией на базе существующего теплового потребления (W _{база} = 0,8МВт/Гкал)	тыс. МВт·ч	857	3463	2555	3156	989	11020		4449	15469
9. Расход топлива на комбинированное производство ЭЭ и ТЭ на ТЭЦ (достижимый при КПИТ = 0,85)	тыс. т.у.т	303,8	1228,1	906,1	1119,2	350,7	3908,2		1577,6	5485,9
10. Расход топлива на раздельное производство ЭЭ на ГРЭС и ТЭ в котельных	тыс. т.у.т	450,2	1819,9	1342,8	1658,5	519,6	5791,4		2337,8	8129,3
11. Синергия топливосбережения по региону; внесистемный потенциал экономии топлива на базе теплового потребления города	тыс. т.у.т	146,4	591,8	436,6	539,3	169,0	1883,2		760,2	2643,4
	%	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2		48,2	48,2

Табл. 3. Базовые показатели эффективности работы ТЭЦ, энергосистем города и региона

Базовые показатели	Способ определения
А. Группа исходных базовых показателей	
1. Выработка электроэнергии - в том числе на тепловом потреблении	Прямое измерение на ТЭЦ Расчет по графику (см. рис. 3)
2. Выработка тепловой энергии - в том числе на тепловом потреблении	Прямое измерение на ТЭЦ Прямое измерение + расчет
3. Выработка комбинированной энергии как суммы тепловой и электрической энергии	Прямое измерение + расчет
4. Доля электроэнергии $d_{э3}$ в комбинированной энергии S , произведенной (потребленной) комбинированным способом	Прямое измерение + расчет
Б. Группа нормируемых показателей	
5. Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении W (МВт _{э3} /МВт _{т3} или МВт/Гкал)	По турбинам — расчет по блокам На ТЭЦ — расчет по схеме По городу, по региону — расчет
6. Коэффициент полезного использования топлива КПИТ — η (в % или о.е.)	На ТЭЦ — прямое измерение По городу, по региону — расчет
В. Группа рассчитываемых показателей	
7. Синергия топливосбережения на базе внутреннего (собственного) потребления энергии (тыс. т.у.т./год; %)	По городу — расчет
8. Синергия топливосбережения с обеспечением внешних (по региону) потребителей электроэнергии на базе существующего потребления тепла по городу (тыс. т.у.т./год; %)	По региону — расчет

Рис. 3. Максимально возможная удельная выработка ЭЭ на тепловом потреблении в зависимости от температуры сетевой воды от турбин — W , МВт/Гкал



ческой системе, получаемое при объединении высокоэффективных ТЭЦ и котельных в единый технологичес-

кий комплекс, превосходящее суммарную экономию топлива на этих объектах до их объединения.

Синергия в энергетике, т. е. существенное повышение результативности тех или иных процессов, применялась и применяется сплошь и рядом. Высоких показателей специалисты добиваются за счет схемных решений, изменения структуры производства и т. п. Яркими примерами сверхаддитивного эффекта в большой энергетике являются:

- регенеративная схема подогрева питательной воды, позволяющая на базе внутреннего теплового потребления обеспечить рост экономичности до 13 %;

- двухступенчатая схема подогрева сетевой воды в ПСГ-1 и ПСГ-2, дающая возможность на одном и том же тепловом потреблении увеличить выработку на 2 % (что весьма много, и авторы этой схемы были даже удостоены государственной премии);

- схема последовательного включения многоступенчатых испарительных установок, с помощью которой в 5—8 раз снижается расход первичного пара для получения дистиллята;

- схема последовательного включения ТЭЦ и котельных с передачей базовой части производимой энергии (90 %) на теплофикационные отборы ТЭЦ и пиковой части (10 %) котельным.

Синергия топливосбережения таких схем при комбинированном способе производства составляет не менее 40 %.

В качестве примера можно предложить сравнительный анализ синергии экономии топлива в энергетической системе города Омска (табл. 2). Для определения потенциала экономии топлива введем так называемые базовые показатели, с помощью которых наглядно видны перерасход или экономия топлива на каждом конкретном источнике энергии и по региону в целом (табл. 1).

Результаты анализа синергии топливосбережения

1. На первый взгляд, ТЭЦ-2, ТЭЦ-6 и котельные города работают с от-

носителем высоким КПИТ и не являются значимыми субъектами перерасхода топлива. Так, ТЭЦ-2 (от принятого КПИТ = 85 %) перерасходует 1,1 % топлива, ТЭЦ-6 экономит 1,8 %, а городские котельные перерасходуют 5,2 %.

2. Менеджеры, досконально не владеющие расчетами энергетического баланса, приводят значение КПД котельной в 92—95 % как убедительный довод для отказа от комбинированного производства энергии на ТЭЦ. Но именно при комбинированном способе экономия достигает 75 %, и наличие многочисленных котельных в крупном городе является главным признаком потери этого потенциала¹⁰.

3. Синергия топливосбережения только по Омску (внутрисистемный потенциал) при комбинированном производстве может составить не менее 2 730,4 тыс. т.у.т./год, или 43 % от суммарного расхода топлива (6 348,1 тыс. т.у.т./год), необходимого для обеспечения электроэнергией и теплом города и региона (см. строку 6 в табл. 2).

4. Анализ удельной выработки показывает, что наличие котельных снижает производство электроэнергии: по ОАО «Омскэнерго» с 0,367 до 0,29 МВт/Гкал и по городу с 0,346 до 0,213 МВт/Гкал. В этой связи основной задачей эффективных собственников следует считать поиск технических решений, позволяющих использовать существующие теплофикационные мощности для выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

5. Тепловая нагрузка городов и предприятий является основой, способной обеспечить синергетический эффект при комбинированном производстве тепловой и электрической энергии с экономией топлива не менее 23—75 % (см. рис. 2).

6. Потенциал комбинированного производства электроэнергии на базе существующей тепловой нагрузки Омска составляет 15 469 млн кВт·ч/год

(см. строку 8 в табл. 2), что в 1,6 раза выше потребления электроэнергии всей Омской областью — 9 445,3 млн кВт·ч/год (см. стр. 2 в табл. 2). Омская энергосистема вместо энергодефицитной (с потребностью 3 022 млн кВт·ч) технологически может стать энергоизбыточной и передавать на НОРЭМ такой же объем электроэнергии, как производит в настоящее время (6 023,7 млрд кВт·ч).

7. Синергия топливосбережения по региону (внесистемный потенциал) вполне реальна в размере 2 643,4 тыс. т.у.т./год, или 48,2 % от экономии, достижимой на ПГУ с $W = 0,8$ и КПИТ = 0,85 (см. стр. 11 в табл. 2).

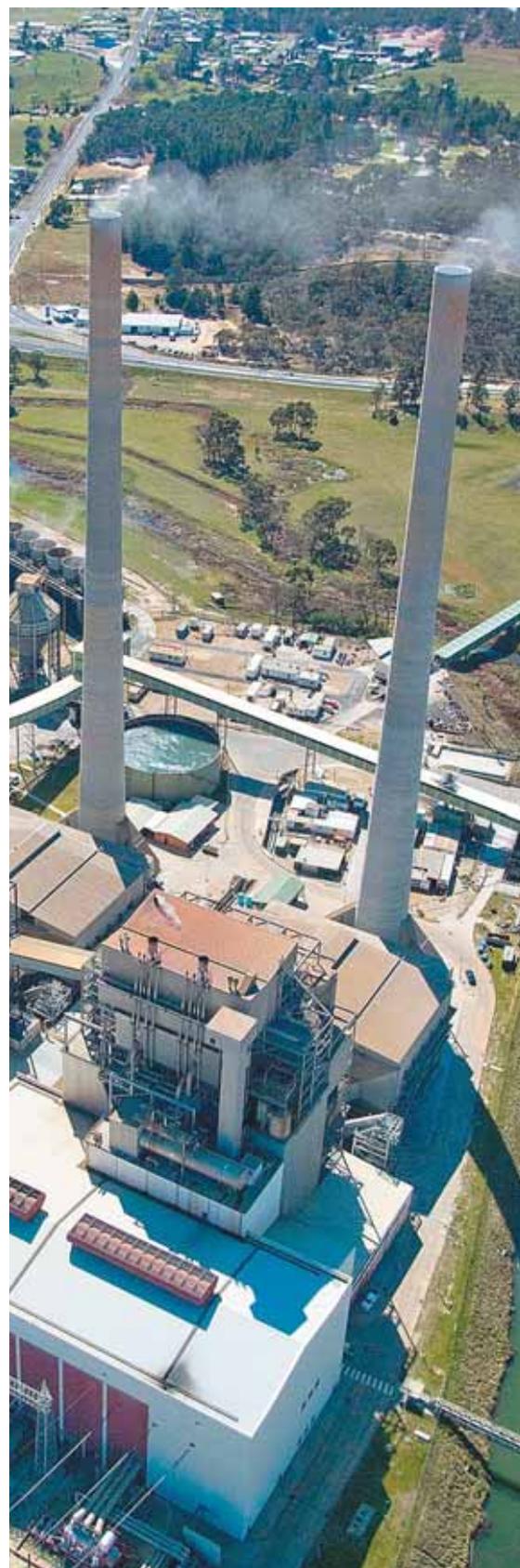
8. Для правильного определения синергии топливосбережения необходимо внедрить ряд базовых показателей, которые однозначно идентифицируют производство (потребление) энергии комбинированным способом (табл. 3).

Заключение

1. Переход от традиционных показателей, таких как удельный расход топлива на производство электрической и тепловой энергии на ТЭЦ, к новым — удельной выработке электроэнергии на тепловом потреблении и коэффициенту полезного использования топлива (КПИТ) — позволяет на качественно ином уровне оценить потенциал экономии топлива и на конкретных турбоустановках, и в целом на ТЭЦ, на предприятии, в городе и регионе.

2. Именно удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении в сочетании с КПИТ выявляет издержки энергетического производства и должна стать основой нормирования экономической и хозяйственной деятельности объектов теплоэнергетики.

3. Приняв данные показатели в качестве базовых, можно по каждому источнику энергоснабжения определить потенциал экономии топлива — синергию топливосбережения. 



¹⁰ См.: Энергорынок. 2006. № 8.