

ПРИМЕНЕНИЕ СОГЛАСОВАННЫХ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

© 2009 В.М. Белкин², В.П. Данильченко¹, М.В. Скиба¹, Ю.И. Цыбизов²

¹ Самарский научно-технический комплекс имени академика Н.Д. Кузнецова

² Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 14.01.2009

Рассматривается возможность согласования технико-экономических интересов производителя и потребителя наукоёмкой продукции на примере газотурбинных электростанций (ГТЭС) путём компенсации больших затрат производителя на создание ГТЭС высокого качества за счёт части экономического эффекта, получаемого потребителем в ходе эксплуатации станции.

Ключевые слова: согласованные механизмы взаимодействия; производитель и потребитель наукоёмкой продукции; газотурбинная электростанция - наукоёмкая продукция; технико-экономические показатели продукции; уровень качества продукции; затраты; экономический эффект.

ВВЕДЕНИЕ

Промышленные и муниципальные когенерационные технологии с применением газотурбинных установок (ГТУ) относятся к системам теплоэлектроснабжения, дающим максимальную экономию топлива. Эффективный коэффициент использования топлива в таких системах достигает 90% и не имеет себе равных среди других технологий. Поэтому во многих странах приняты законы, запрещающие применение других технологий там, где есть природный газ. Отличительной особенностью теплоэнергетики России в настоящее время также можно считать повсеместное внедрение ранее малоиспользуемых для выработки электроэнергии газотурбинных и паротурбинных установок (ПГУ), разрабатываемых на базе авиационных ГТУ.

1. ГАЗОТУРБИННЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА БАЗЕ ГТУ НК-37 АВИАЦИОННОГО ТИПА

Энергетическая газотурбинная установка на Безьянской ТЭЦ (г. Самара) с электрической мощностью 25 МВт и тепловой – 32,8 Гкал/ч, состоящая из одной ГТУ НК-37 и котла – утилизатора (КУ), была включена в сеть в 1999 г. Казанская ТЭЦ - 1 (г. Казань), состоящая из двух

ГТУ НК – 37 и котлов-утилизаторов, была введена в опытную эксплуатацию в 2006 г. На ГТЭС-25/НК-8307 Лидской ТЭЦ (г. Лида, Беларусь), состоящей из одной ГТУ, одной камеры дожигания (КД) и одной паровой турбины (ПТ), осуществлен пуск в 2008 г.

В качестве привода электрогенератора в названных ГТЭС используется отечественная газотурбинная установка НК-37, созданная в ОАО “Самарский научно-технический комплекс им. Н.Д. Кузнецова” на базе двухконтурного авиационного двигателя НК-321, который был одним из лидеров по параметрам на момент создания в г. Самара первой ГТЭС (1999г.). В настоящее время ГТУ НК-37 не уступает лучшим зарубежным образцам. Проектная мощность базовой ГТУ равна 25 МВт, а эффективный КПД – 36,4%. Топливом ГТУ является природный газ.

Принципиальные схемы энергетических установок с ГТУ НК-37 представлены на рис.1. Среди них - базовая ГТУ простого цикла (см. рис. 1,а); парогазовая установка (ПГУ), состоящая из ГТУ и котла-утилизатора (КУ) (см. рис. 1,б); и, наконец, ПГУ, включающая камеру дожигания (КД), котёл-утилизатор и паровую турбину (ПТ) (см. рис. 1,в).

Преимущества таких ГТЭС при их работе особенно в условиях существующих станций теплоснабжения очевидны:

- электроэнергия, вырабатываемая генератором ГТУ, подаётся в электросети города или в энергосистему и обеспечивает питание электроприводных механизмов собственных нужд предприятия;

- возможность размещения компактного и умеренной массы оборудования на ограниченных производственных площадях;

Белкин Виктор Михайлович, главный конструктор.

Данильченко Валерий Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой.

E-mail: vdan26@mail.ru.

Скиба Марина Валерьевна, кандидат экономических наук, доцент.

Цыбизов Юрий Ильич, доктор технических наук, профессор, начальник отдела.

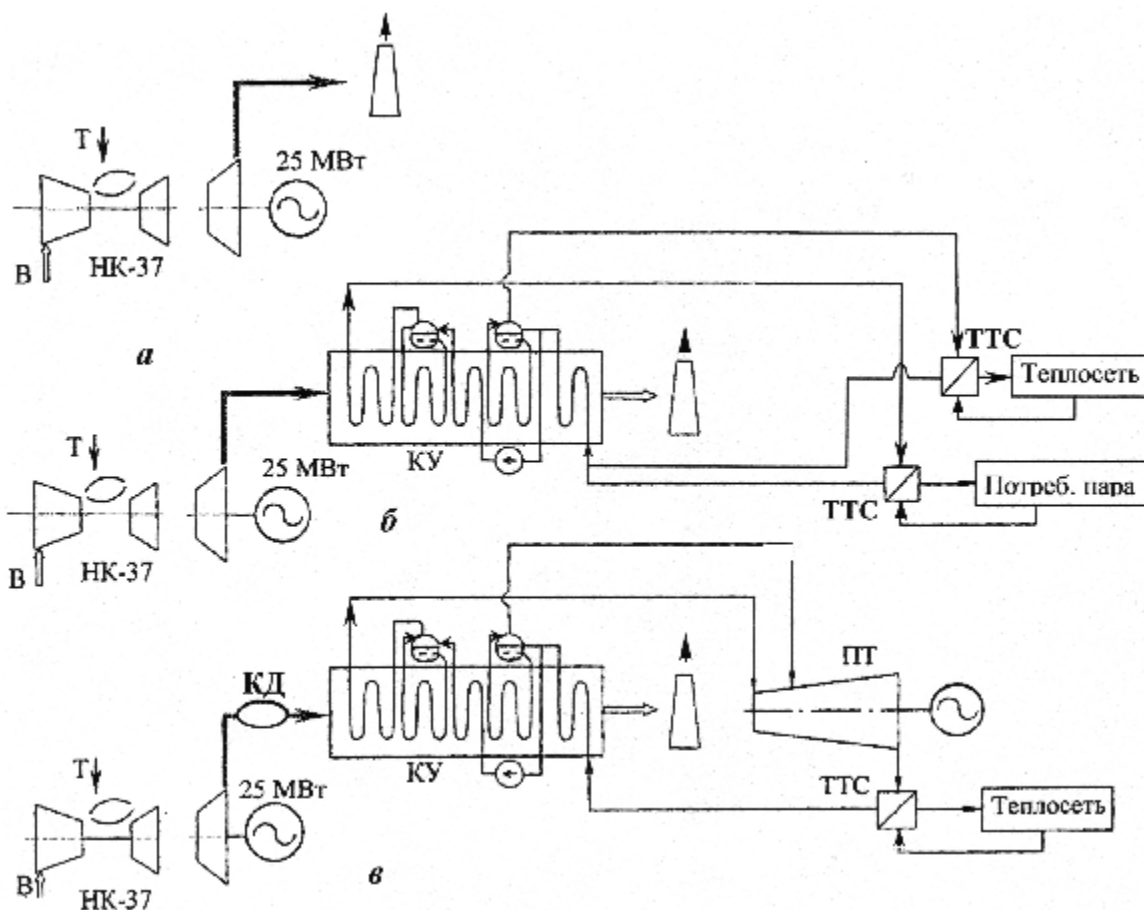


Рис. 1. Принципиальные схемы энергетических установок с ГТУ НК-37:

В – воздух; Т – топливо; КУ – котёл-утилизатор; ПТ – паровая турбина; КД – камера дожигания; ТТС – теплообменник теплофикационной сети

- простота в обслуживании, высокие скорости изменения пусковых, остановочных и эксплуатационных режимов ГТЭС;

- тепло за силовой (свободной) турбиной используется в водогрейном котле-утилизаторе, который устанавливается на выхлопе газов из ГТУ (см. рис.1,б, в).

Последнее преимущество позволяет дополнительной выработкой тепловой энергии в КУ компенсировать умеренные электрические КПД конвертируемых авиационных двигателей. В этом случае преобразование энергии топлива происходит с большей эффективностью, чем достигается существенное снижение его расхода на производство единицы энергии.

2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГТЭС

Для примера в табл. 1 приведены технико-экономические показатели ГТЭС (ГТУ + КУ, см. рис. 1,б), работающей на Безьямянской ТЭЦ (г. Самара) [1].

Представленные технико-экономические показатели рассматриваемой ГТЭС (ГТУ+КУ) де-

монстрируют высокие коэффициенты использования теплоты топлива – 70...80%, благодаря чему получено снижение удельных расходов топлива и себестоимости электроэнергии и тепла.

Однако недостатком ГТЭС с котлом-утилизатором (ГТУ+КУ, см. рис. 1,б) является отсутствие потребности в тепловой энергии в летний период времени.

Более эффективной и перспективной является ГТЭС, состоящая из газотурбинной установки, камеры дожигания, котла-утилизатора и паровой турбины (ГТУ+КД+КУ+ПТ, см. рис. 1,в). В данной ГТЭС использована камера дожигания топлива в газовом потоке за силовой турбиной, что приводит к увеличению суммарной мощности парогазовой установки, но сопровождается некоторым снижением КПД. Эффективный КПД ПГУ может быть рассчитан по формуле работы [2]

$$\eta_{эфПГУ} = \eta_{эфГТУ} + \eta_{эфПТ} (1 - \eta_{эфГТУ}) \cdot \eta_{рег}.$$

Для современных ГТУ эффективный КПД $\eta_{эфГТУ}$ находится в пределах 0,3...0,4, эффективный КПД паротурбины $\eta_{эфПТ} = 0,3...0,45$, а степень регенерации $\eta_{рег}$ изменяется от 0,6 до 0,8 и даже до 0,9. Видно, что КПД ПГУ $\eta_{эфПГУ}$ может быть получен в диапазоне, равном 0,42...0,65.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели работы ГТЭС (ГТУ + КУ)

Показатель	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005г.	2006г.	2007г.	Всего с начала эксплуатации
Выработка электрической энергии, млн. кВт*ч	83,617	128,957	65,978	148,692	127,202	75,434	835,944
Отпуск электрической энергии, млн. кВт*ч	79,925	123,267	62,784	142,095	121,549	72,131	798,036
Отпуск тепловой энергии, тыс. Гкал:							
– с паром	88,85	129,480	70,95	135,371	117,695	69,136	817,488
– с горячей водой	6,205	7,244	5,49	10,632	10,504	8,5	69,49
– всего	95,060	136,724	76,44	146,003	128,199	77,636	886,978
Количество часов работы, ч	3787	5736	3019	6300	5450	3188	37265
Количество пусков	18	18	22	27	13	6	214
Расход электроэнергии на выработку электроэнергии собственных нужд, %	3,4	3,4	3,7	3,5	3,6	3,5	3,5
Расход электроэнергии на отпуск тепловой энергии, кВт*ч/Гкал	9,3	9,8	9,5	9,5	8,8	8,3	9,2
Удельный расход условного топлива на отпущенную электроэнергию, г/кВт*ч	231,1	231,1	227,0	229,1	235,1	224,4	229,2
Удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии, кг/Гкал	146,5	151,0	146,5	153,3	153,3	150,1	150
Коэффициент использования тепла, %	76,4	70,6	73,2	69,7	68,9	71,7	72,1
КПД энергоблока (брутто), %	31,7	32,3	31,8	33,3	32,4	33,3	32,5

Следует отметить, что использование ГТУ с утилизацией тепла выхлопных газов обуславливает увеличение потерь полного давления на выхлопе, а это, в свою очередь, вызывает изменение основных параметров ГТУ и, как следствие, эффективного КПД двигателя.

На рис.2 представлены зависимости мощности силовой турбины и эффективного КПД ГТУ НК-37 от потерь полного давления в выходном устройстве.

А в табл. 2 приведены некоторые основные параметры ГТУ типа НК-37, котла-утилизатора, камеры дожигания и паровой турбины для исследуемых в данной работе ГТЭС с утилизацией тепла выхлопных газов.

Анализ данных на рис.2 и табл. 2 показывает следующее.

1. Направление дальнейшего совершенствования ПГУ с НК-37. Так доля мощности, вырабатываемая паровой турбиной ПГУ Н -25 фирмы Hitachi, составляет 50% от мощности газовых турбин, а в ПГУ с НК-37 эта доля равна примерно 40%. Это объясняется тем, что в ПГУ фирмы Hitachi на выходе из котла-утилизатора выхлопные газы более “холодные”.

2. Усложнение цикла ПГУ, в котором применяются ГТУ+КУ, приводит к увеличению потерь полного давления на выхлопе до 500мм вод. ст. и более, а при применении ПГУ, состоящей из ГТУ+КУ+КД+ПТ, потери полного давления возрастают до 1000 мм вод. ст.

Из табл.2 также видно, что увеличение потерь

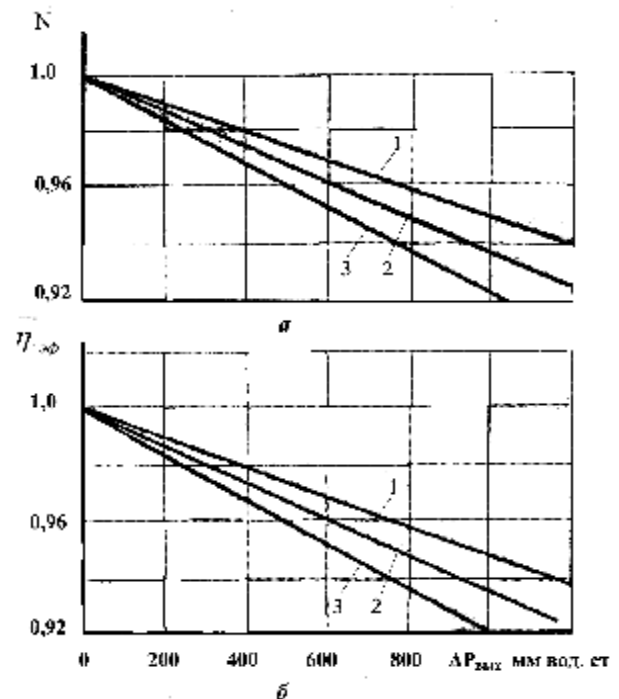


Рис. 2. Зависимости мощности на валу силовой турбины (а) и эффективного КПД (б) ГТУ НК-37 от потерь полного давления в выходном устройстве:

- 1 – давление за компрессором постоянно;
- 2, 3 – частота вращения ротора высокого давления постоянна;

$$2 - t_{н} = +15^{\circ}\text{C}; 3 - t_{н} = +45^{\circ}\text{C};$$

$$\eta_{эф} = \eta_{эф_i} / \eta_{эф_0}; N = N_i / N_0;$$

N_0, N_0 – базовые значения КПД и мощности соответственно при $\Delta P_{вых} = 100$ мм вод. ст.

Таблица 2. Основные параметры ГТЭС, выполненные на базе ГТУ типа НК-37

№ п/п ГТЭС	ГТУ и оборуд.	N _{ГТУ} , МВт	N _{ПТ} / N _{ГТУ}	t _{Г П} , °С	λ _к	t _{Г за ст.} , °С	t _{Г за ку.} , °С	G _{п.,} т/ч / в/нд	t _{п.} , °С	t _{в за пт.} , °С	ΔP _{вых.} , мм вод. ст.	кпд гту,пт, пгу, %	коэфф. испол. тепла, %
1	НК-37	26,5	-	1181	22,4	447	-	-	-	-	100	36,4	36,4
2	НК-37+ +КУ	25,5	-	1188	22,5	456	120	40	400	-	500	35,2	80
2а	НК-37+ +КУ (по 2экз.)	25,5	-	1188	22,5	456	120	80	400	-	500	35,2	80
3	НК-37+ +КД+ +КУ+ +ПТ	24,8	0,4	1197	22,9	458 за кд 520	120	40	500	-	1000	гту-34,1 пгу-43 пт-30	85
4	Н-25+ +КД+ +КУ+ +ПТ	26,4	0,5	1260	14,7	-	102	83/17	500/158	40	-	гту-32,5 пгу-49 пт-36,5	91,2

Примечание: ГТЭС №2а состоит из двух ГТУ НК- 37 и двух котлов – утилизаторов; N – мощность; t – температура; p – степень сжатия; G – расход (газа, пара, воздуха); ΔP_{вых.} – потери полного давления; г – газ; гт – газогенератор; к – компрессор; ст – силовая турбина; п – пар; в – вода; вых – выход (выхлоп); вд, нд – высокое и низкое давление соответственно

полного давления на выхлопе в ГТЭС № 2, 2а и 3 приводит к снижению мощности примерно на 3 и 6% и кпд на – 3,2 и 6,2% соответственно, что частично может быть компенсировано за счёт горизонтальной схемы расположения котла- утилизатора и сокращения длины газоотводящего канала.

Однако потребитель ГТЭС в техническом задании предлагает её производителю восстановить мощность и кпд ГТУ, получить их такими, как на базовой ГТУ. Выполнение этого требования приводит к изменению основных параметров цикла ГТУ, а это, в свою очередь, требует и приводит к дополнительным производственным, материальным и временным затратам у производителя. В данном случае происходит неадекватная оценка потребителем и производителем ГТЭС уровня качества (кпд, мощности, эмиссии вредных веществ и т.д.) ГТУ, являющейся результатом большого объёма научной и опытно - конструкторской работы.

В настоящее время нет нормативной базы, обосновывающей технические и экономические принципы эксплуатации оборудования, планирование, расчёт, контроль, анализ и составление отчёта об эффективности предприятия- потребителя по показателям тепловой экономичности работы оборудования ГТЭС, которая учитывала бы экономическую поддержку научных и опытно-конструкторских разработок производителя ГТУ повышенного уровня качества.

Необходимость разработки и применение подобных методик обусловлена появлением собственников энергетических предприятий в современных условиях развития экономики. В таких методиках при распределении топлива в

процессе комбинированного производства энергии (когенерация) целесообразно применить принцип пропорциональности, а именно: количество топлива, отнесённое на каждый вид произведенной продукции, прямо пропорционально количеству энергопродукта и обратно пропорционально кпд на его выработку. Тогда изменение удельных расходов условного топлива будет отражать фактическое состояние оборудования, технико-экономическое качество его эксплуатации.

При использовании на ТЭЦ ГТУ НК-37 с утилизацией тепла выхлопных газов, охлаждаемых до 120°С, существенно снижаются удельные расходы условного топлива, по сравнению со средними по ТЭЦ России значениями - 336,9 г усл. топл./кВт· ч и 144,6 кг усл. топл./Гкал, что приводит к достаточно высокой годовой экономии финансов у потребителя ГТЭС.

В табл. 3 представлены расчеты годовой экономии на природном газе и отпуске тепла при работе ГТЭС в течение одного года (8500 ч/год). Видно, что чем сложнее цикл ПГУ, тем больший экономический эффект (см. столбцы 2 и 3 в табл. 3). Потребителю ГТЭС выгодно применять ГТУ в более сложных циклах и с более высоким уровнем качества (повышенными значениями кпд, ресурсом работы, мощностью и т.д.). Но потребитель должен стимулировать работу производителя ГТУ путём финансирования его опытно-конструкторских работ по восстановлению параметров ГТУ (кпд, мощности и т.д.) при изменившихся условиях работы, а именно: повышенных потерях полного давления на выхлопе. И такая экономическая возможность у потребителя имеется (см. табл.3).

Таблица 3. Годовой экономический эффект на ГТЭС

№ п/п, ГТЭС	1	2	2а	3
Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г усл. топл./ кВт·ч	201	208 (221 *)	208	163
Удельный расход топлива на отпуск тепла, кг усл. топл./ Гкал	-	144 (153 *)	144	144
Снижение удельного расхода топлива по сравнению с ТЭЦ РФ, г усл. топл./ кВт·ч	135,9	128,9	128,9	173,9
Годовая экономия природного газа (8500ч/год), млн. м ³	33,9	32,2	64,4	61,2
Годовая экономия на природном газе, млн. USD при цене газа:				
-100 USD/ м ³	3,4	3,2	6,4	7,7
-300 USD/ м ³	10,2	9,6	19,2	19,9
Годовая выручка от реализации тепловой энергии, млн. USD	-	1,6	3,2	1,6

В оценках, приведенных в табл. 3, принято, что 336,9 г усл. топл./ кВт·ч – среднее значение по ТЭЦ РФ удельного расхода топлива при производстве электроэнергии; 200 руб./Гкал – среднее значение цены по ТЭЦ РФ на отпуск тепла; * – данные для Безымянской ТЭЦ

Сформируем систему управления процессами взаимовыгодного взаимодействия между производителем и потребителем.

**3. ФОРМИРОВАНИЕ
ВЗАИМОВЫГОДНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕМ И ПОТРЕБИТЕЛЕМ**

Величину потерь у производителя от повышения уровня качества продукции можно определить из данных работы [3]

$$\Delta f(\omega) = \left[m_{\omega} - (C - m_y) \cdot b \right] \cdot (\bar{\omega} - \underline{\omega});$$

$$\Delta f(\omega) = f(\underline{\omega}) - f(\bar{\omega}),$$

где $f(\underline{\omega}), f(\bar{\omega})$ – целевая функция производителя при нижней и верхней границе уровня качества продукции соответственно; $\underline{\omega}, \bar{\omega}$ – нижняя и верхняя границы уровня качества продукции соответственно; $\Delta\omega = (\bar{\omega} - \underline{\omega})$ – прирост уровня качества относительно нижней границы; C – цена продукции; m_y, m_{ω} – удельные затраты, связанные с увеличением объема производства и повышением качества продукции соответственно; b – коэффициент, характеризующий увеличение спроса на продукцию в связи с приростом уровня её качества на малую величину пределах прироста уровня качества относительно нижней границы (например, на 1%); $(C - m_y) \cdot b = \Pi_{\omega}$ – прибыль, получаемая производителем при повышении уровня качества.

Условием организации согласованного взаимодействия по уровню качества между производителем и потребителем является превышение эффекта потребителя $\Delta\Phi(\omega)$ по сравнению с

потерями производителя $\Delta f(\omega)$ [3]

$$\Delta\Phi(\omega) \geq \Delta f(\omega)$$

или

$$C d_x (\bar{\omega} - \underline{\omega}) \geq [m_{\omega} - (C - m_y) b] (\bar{\omega} - \underline{\omega})$$

или

$$[C d_x - (m_{\omega} - (C - m_y) b)] (\bar{\omega} - \underline{\omega}) \geq 0, \quad (1)$$

где $\Delta\Phi(\omega) = \Phi(\omega) - \Phi(\underline{\omega}) = C \cdot d_x (\bar{\omega} - \underline{\omega})$ – величина эффекта потребителя; $\Phi(\underline{\omega}), \Phi(\bar{\omega})$ – целевая функция потребителя при нижней и верхней границе уровня качества продукции соответственно; d_x – коэффициент, характеризующий скорость прироста спроса на продукцию в связи с приростом уровня качества.

Из условия (1) получаем, что согласованное взаимодействие существует, если прибыль производителя больше величины его затрат на качество продукции

$$f(y, \omega) = C \cdot y - m(y, \omega) \rightarrow \max,$$

$$y = \min(x_c, Q^n), \underline{\omega} \leq \omega \leq \bar{\omega},$$

где $f(y, \omega)$ – прибыль, получаемая предприятием от реализации продукции; y – фактический объём продукции, выпускаемой предприятием-производителем; x_c – спрос на продукцию со стороны потребителя; $m(y, \omega)$ – затраты производителя на выпуск продукции; Q^n – максимально возможный объём выпуска продукции производителем.

Если согласовать экономические интересы потребителя и производителя за счёт цены продукции, то для этого следует иметь две цены: более высокую ($C + ? C$) при производстве продукции с высоким уровнем качества и низкую C при невыполнении качества продукции

$$C_y = \begin{cases} C & , \quad \omega = \underline{\omega}, \\ C + \Delta C & , \quad \omega = \bar{\omega}. \end{cases}$$

Величину необходимого изменения цены $\Delta\Pi$ для продукции можно определить из следующего уравнения [3]

$$\frac{\partial f(\omega)}{\partial \Pi} \Delta\Pi \geq \Delta f(\omega);$$

$$\Delta\Pi \geq \frac{[m_\omega - (\Pi - m_y)b](\bar{\omega} - \omega)}{x_0 + b(\bar{\omega} - \omega)}, \quad (2)$$

где x_0 – спрос на продукцию со стороны потребителя при нижней границе уровня качества.

Полученное условие выведено из предположения, что прирост цены должен быть не меньше потерь у производителя при реализации уровня качества продукции, выгодного для потребителя; он и характеризует нижнюю границу изменения цены.

Верхняя граница цены определяется из условия непревышения эффекта $\Delta\Phi(\omega)$, получаемого потребителем, относительно изменения прибыли у производителя при изменении цены на величину $\Delta\Pi$, т.е. должно выполняться неравенство

$$\frac{\partial f(\omega)}{\partial \Pi} \Delta\Pi \leq \Delta\Phi(\omega).$$

Раскрывая это неравенство, получаем, что

$$x_0 + b(\bar{\omega} - \omega)\Delta\Pi \leq \Pi d_x(\bar{\omega} - \omega).$$

$$\Delta\Pi = \frac{\Pi d_x(\bar{\omega} - \omega) - x_0}{b(\bar{\omega} - \omega)} = \frac{\Pi d_x}{b} - \frac{x_0}{b(\bar{\omega} - \omega)}. \quad (3)$$

Неравенство (3) позволяет определить верхнюю границу цены на продукцию, при которой потребитель экономически заинтересован покупать её.

Учитывая неравенства (2) и (3), диапазон изменения цен на продукцию представим следующей областью его изменения

$$\frac{[m_\omega - (\Pi - m_y)b](\bar{\omega} - \omega)}{x_0 + b(\bar{\omega} - \omega)} \leq \Delta\Pi \leq \frac{\Pi d_x}{b} - \frac{x_0}{b(\bar{\omega} - \omega)}. \quad (4)$$

Таким образом, производитель, выбирая величину изменения цены из диапазона (4), создает такие условия, в которых ему экономически выгодно производить данную продукцию, а потребителю покупать её.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОГЛАСОВАНИЯ ИНТЕРЕСОВ ПОТРЕБИТЕЛЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ПРОДУКЦИИ ПО УРОВНЮ ЕЁ КАЧЕСТВА

Полученные выше уравнения можно применять действующему предприятию при принятии управленческого решения по выбору уровня ка-

чества при реализации своей продукции, например газотурбинных электростанций (ГТЭС).

Уровень качества ω – это требование к основным показателям ГТЭС и, прежде всего, к параметрическим показателям ГТУ таким, как: КПД, мощность, надёжность, ресурс; экологическим показателям и т.д., которые изложены в нормативных документах (ГОСТах, ОСТах и др.).

Причем $\bar{\omega}$ – верхняя граница уровня качества означает поставку ГТУ с выполнением требований нормативных документов по верхнему пределу, принятому за 100%, нижняя граница определена из требований нормативных документов и может составлять, например, по КПД 85%. Показатель уровня качества $\underline{\omega} = 85\%$ означает неконкурентоспособность ГТЭС и отсутствие заказов. Условием обеспечения необходимого уровня качества продукции, например по КПД, является нахождение его в интервале от 85 до 100%: $85 \leq \omega \leq 100$.

Пример моделирования.

На основании статистических данных приняты следующие исходные данные:

1. Постоянные затраты на единицу реализованных ГТЭС – $3_{\Pi} = 50 \cdot 10^6 \frac{\text{руб.}}{\text{шт.}}$

(с ростом уровня качества продукции постоянные затраты не изменяются).

2. Переменные затраты на единицу продукции – $m_y = 230 \cdot 10^6 \frac{\text{руб.}}{\text{шт.}}$

3. Удельные затраты на изменение качества – $m(\omega) = 40 \cdot 10^6 \Delta\omega \frac{\text{руб.}}{\%}$

4. Уравнение, связывающее рост спроса на продукцию (ГТЭС) в соответствии с повышением уровня её качества – $x_c = 2 + 0,2\Delta\omega$, где $b = 0,2 \text{ шт.}$; $\Delta\omega = 15\%$; $x_0 = 2 \text{ шт.}$

5. Рыночная цена единицы продукции – $\Pi = 288 \cdot 10^6 \text{ руб.}$

Результаты решения.

Используя вышеназванные исходные данные для производителя, получены:

1. Уравнение целевой функции производителя $f(\omega) = (\Pi - m_y)x_0 + [(\Pi - m_y)b - m_\omega](\omega - \underline{\omega}) - 3_{\Pi} =$
 $= 216 \cdot 10^6 - 8,4 \cdot 10^6 \cdot \Delta\omega,$

при условии $0 \leq \Delta\omega \leq 15$.

2. Прибыль производителя при величине спроса на ГТЭС, равной $x_0 = 2 \text{ шт.}$,
 $B = (\Pi - m_y)x_0 = 316 \cdot 10^6 \text{ руб.}$

3. Прибыль производителя при повышении уровня качества на 1%

$\Pi_\omega = (\Pi - m_y)b = (388 \cdot 10^6 - 230 \cdot 10^6)0,2 = 316 \cdot 10^6 \text{ руб.}$

4. Прирост прибыли производителя от повышения уровня качества продукции на 1%

$$A = [(C - m_y) \cdot b - m_\omega](\omega - \underline{\omega}) = \\ = [31,6 \cdot 10^6 - 40 \cdot 10^6] = -8,4 \cdot 10^6 \Delta\omega \text{ руб.}$$

(Видно, что прирост прибыли производителя – величина отрицательная, а это означает, что с ростом уровня качества прибыль предприятия-производителя уменьшается).

5. Прибыль производителя при нижней границе качества продукции

$$f(\underline{\omega}) = 216 \cdot 10^3 \text{ руб.}$$

6. Прибыль производителя с ростом уровня качества на $\Delta\omega = 15\%$

$$f(\overline{\omega}) = 90 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

7. Величина потерь в связи с реализацией высокого уровня качества, выгодного потребителю

$$\Delta f(\omega) = f(\underline{\omega}) - f(\overline{\omega}) = 216 \cdot 10^6 - 90 \cdot 10^6 = 126 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

Из приведенного примера видно, что оптимальным решением поставленной задачи для производителя является выбор стратегии повышения качества продукции, соответствующей нижней границе уровня качества. Это связано с тем, что с ростом уровня качества продукции прибыль предприятия-производителя уменьшается.

Параметром, согласующим интересы производителя и потребителя, является цена, устанавливаемая производителем на продукцию.

Величина изменения цены ΔC должна превышать затраты предприятия - производителя ГТЭС на повышение уровня качества продукции и не превышать эффект, получаемый потребителем, при эксплуатации станции.

Определим диапазон изменения цены на продукцию.

1. Нижняя граница изменения цены в соответствии с неравенством (2) равна

$$\Delta C = \frac{\Delta f(\omega)}{x_0 + b\Delta\omega} = 25,25 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

2. Верхняя граница изменения цены согласно неравенству (3) равна

$$\Delta C = \frac{C d_x \Delta\omega - x_0}{b\Delta\omega} = 387 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

3. Диапазон изменения цены на продукцию (ГТЭС) равен

$$25,25 \cdot 10^6 \leq \Delta C \leq 387 \cdot 10^6.$$

Предприятие-производитель ГТЭС, выбирая величину изменения цены из данного диапазона, создает условия, при которых предприятию экономически выгодно производить продукцию, а потребителю покупать её. Увеличение цены приводит к снижению спроса на продукцию предприятия. Поэтому для потребителей - ОАО

“Газпром” и др. рост цены на продукцию должен быть соразмерен её качеству.

Из полученного диапазона изменения цены получим значение коэффициента

$$d_{\omega} = 200 \cdot 10^6 \frac{\text{руб.}}{\%}, \text{ характеризующего скорость}$$

прироста цены на продукцию предприятия-производителя с приростом уровня качества на 1%.

На основании статистических данных приняты следующие исходные данные: $I = 800 \cdot 10^6 \text{ руб.}$ – средства, выделенные на приобретение продукции; $C_0 = 388 \cdot 10^6 \text{ руб.}$;

$$x_0 = 2 \text{ ум.}; \quad d_x = 0,2 \frac{\text{ум.}}{\%}; \quad \underline{\omega} = 85\%;$$

$$0 \leq \Delta\omega \leq 15.$$

Используя исходные данные для потребителя, получены:

1. Уравнение целевой функции потребителя при изменении качества

$$\Phi(\omega) = (I - C_0 x_0) + (C_0 d_x - x_0 d_\omega) \cdot \Delta\omega + d_\omega d_x \Delta\omega^2 = \\ = 24 \cdot 10^6 - 322,4 \cdot 10^6 \Delta\omega + 40 \cdot 10^6 \Delta\omega^2.$$

2. Экономия бюджета потребителя при выпуске продукции производителем при нижней границе уровня её качества

$$\mathcal{E}_\sigma = I - C_0 x_0 = 24 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

3. Значение прироста уровня качества $\Delta\omega$, которое обеспечивает потребителю максимальное значение экономии бюджета (получено путём решения уравнения целевой функции потребителя при величине прибыли потребителя, равной нулю)

$$40 \cdot 10^6 \Delta\omega^2 - 322,4 \cdot 10^6 \Delta\omega + 24 \cdot 10^6 = 0 \\ \Delta\omega_1 = 7,98\%; \quad \Delta\omega_2 = 0,09\%.$$

4. Уравнение для поиска оптимального изменения уровня качества продукции $\Delta\omega^0$ (первая производная целевой функции потребителя по изменению уровня качества равна нулю

$$\frac{\partial \Phi}{\Delta\omega} = 0);$$

$$(C_0 d_x - x_0 d_\omega) + 2\Delta\omega d_\omega d_x = 0;$$

подставляя в формулу п.4 необходимые параметры, получим

$$\Delta\omega^0 = \frac{-(C_0 d_x - x_0 d_\omega)}{2d_\omega d_x} = \frac{322,4 \cdot 10^6}{80 \cdot 10^6} = 4,03\%,$$

$$\text{где } \Delta\omega^0 = \omega^0 - \underline{\omega};$$

тогда оптимальное значение уровня качества равно $\omega^0 = \underline{\omega} + \Delta\omega^0 = 0,09 + 4,03 = 4,12\%$.

Потребитель, например ОАО “Газпром”, стремится к оптимальному уровню качества продукции – ω^0 .

4. Эффект потребителя при оптимальном уровне качества равен

$$\Delta\Phi(\omega^0 - \underline{\omega}) = \Phi(\omega^0) - \Phi(\underline{\omega}) = 625,4 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

Видно, что при достижении оптимального уровня качества эффект потребителя равен $625,4 \cdot 10^6$ руб. Это означает, что в данном случае для потребителя выгодно повышение качества продукции только на 4,12%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаршин Д.В.* Опыт эксплуатации газотурбинной установки на базе авиационного двигателя НК-37 на Безьянской ТЭЦ ОАО "Самараэнерго" / *Д.В. Гар-*

шин. Тез. докл. ЛII научно-техн. сессии РАН по проблемам газовых турбин, Самара, 4-6 октября, 2005. – С. 71- 72.

2. *Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачев С.В., Резник В.Е., Цыбизов Ю.И.* Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2004. – 267 с.
3. *Скиба М.В.* Согласованные методы управления качеством наукоёмкой продукции // Вестник СГЭУ №2(27). Самара: Самарский гос. экономич. ун-т. 2007, с. 140-142.

COORDINATED MECHANISMS FOR SCIENTIFIC WORK- CONSUMING PRODUCTS QUALITY CONTROL AS APPLIED TO THERMAL-AND-ELECTRIC POWER STATIONS

© 2009 V.M. Belkin², V.P. Danilchenko¹, M.V. Skiba¹, Yu.I. Tsybizov²

¹ Scientific and Technical Complex named after N.D. Kuznetsov, Samara

² Samara State Aerospace University

Possibility of matching engineering and economic interests of scientific work- consuming products manufacturer and user as applied to gas turbine based thermal- and- electric power station (TES) by means of compensation of producer's high expenses for design, development and production of high quality gas turbine based TES on account of economic efficiency obtained by user in the course of TES operation is discussed in the article.

Key words: coordinated mechanisms of interaction; producer and user of scientific work- consuming product; gas turbine based TES is a scientific work- consuming product; technical- and economic indices of the product; product quality level; costs; economic efficiency.

Viktor Belkin, Chief Designer.

Valery Danilchenko, Doctor of Technics, Professor, Head of the Department. E- mail:vdan26@mail.ru.

Marina Skiba, Candidate of Economics, Associate Professor
Yury Tsybizov, Doctor of Technics, Professor, Head of the Department