

Данильченко В.П., Скиба М.В.

Согласованные механизмы взаимодействия как инструмент повышения качества наукоемкой продукции и эффективности производства применительно к газотурбинным электростанциям // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2016. № 1. С. 125–135. 125

УДК 334.012.23:519

В.П. Данильченко, М.В. Скиба*

СОГЛАСОВАННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГАЗОТУРБИНЫМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМ

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

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

В настоящее время в мире эксплуатируются более 30 тысяч промышленных ГТУ общей мощностью 1350 ГВт. Ежегодно вводится в среднем 300–350 промышленных ГТУ.

Сегодня около 50 % российского рынка ГТЭС принадлежит зарубежным производителям газотурбинных электростанций и теплоэлектростанций. На зарубежных рынках положение российских производителей весьма скромное. Российские компании – производители ГТУ занимают 1 % рынка. На российском рынке ежегодный рост заказов на ГТЭС составляет около 25% , на зарубежном рынке также отмечен повышенный рост заказов.

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 ГТЭ-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 «Кузнецов» на базе двухконтурного авиационного двигателя НК-321. 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.

* © Данильченко В.П., Скиба М.В., 2016

Данильченко Валерий Павлович (mskiba08@gambler.ru), кафедра технологии проектирования двигателей, Скиба Марина Валерьевна (mskiba08@gambler.ru), кафедра организации производства, Самарский университет, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

Среди энергетических установок с ГТУ НК-37 – базовая ГТУ простого цикла; парогазовая установка (ПГУ), состоящая из ГТУ и котла-утилизатора (КУ); и ПГУ, включающая камеру дожигания (КД), котел-утилизатор и паровую турбину (ПТ).

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

- электроэнергия, вырабатываемая генератором ГТУ, подается 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;
- 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.

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.

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

Представленные технико-экономические показатели рассматриваемой ГТЭС (ГТУ + КУ) демонстрируют 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) 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). 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. Для современных ГТУ эффективный КПД находится в пределах 0,3...0,4, эффективный КПД паротурбины равен 0,3...0,45, а степень регенерации изменяется от 0,6 до 0,8 и даже до 0,9. Видно, что КПД ПГУ может быть получен в диапазоне, равном 0,42...0,65.

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.

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.

Анализа данных 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 500 мм вод. ст. и более, а при применении ПГУ, состоящей из ГТУ+КУ+КД+ПТ, потери полного давления возрастают до 1000 мм вод. ст.

Технико-экономические показатели работы ГТЭС (ГТУ + КУ)

Показатель	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	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

Согласованные механизмы взаимодействия как инструмент повышения качества наукоемкой продукции и эффективности производства применительно к газотурбинным электростанциям

Таблица 2

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

№ п/п ГТЭС	ГТУ и оборуд.	$N_{ГТУ}$, МВт	$\frac{N_{шт}}{N_{ГТУ}}$	$t_{Г\text{ГГ}}$, °С	π_k	$t_{Г\text{ за ст.}}$, °С	$t_{Г\text{ за ку.}}$, °С	$G_{пн.}$ т/ч вд/нд	$t_{п.}$ °С	$t_{в\text{ за пт.}}$, °С	$\Delta p_{\text{вых.}}$, 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	-	500	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	1000	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; π – степень сжатия; G – расход (газа, пара, воздуха); $\Delta p_{\text{вых.}}$ – потери полного давления; $г$ – газ; $гг$ – газогенератор; $к$ – компрессор; $ст$ – силовая турбина; $п$ – пар; $в$ – вода; $вых$ – выход (выхлоп); $вд$, $нд$ – высокое и низкое давление соответственно.

Из данных табл. 2 также видно, что рост потерь полного давления на выходе 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 счет горизонтальной схемы расположения котла-утилизатора и сокращения длины газоотводящего канала.

Однако потребитель ГТЭС в техническом задании предлагает ее производителю восстановить мощность и КПД ГТУ, получить их такими же, 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 объема научной и опытно-конструкторской работы.

В настоящее время нет нормативной базы, обосновывающей технические и экономические принципы эксплуатации оборудования, планирование, расчет, контроль, анализ и составление отчетности 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 применения 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, отнесенное 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.

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

Примечание. 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 Безьянской ТЭЦ.

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 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 путем 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).

КПД — один из основных показателей качества наукоемкой продукции. В его повышении заинтересован не только производитель, но и потребитель. Сформируем систему управления процессами взаимовыгодного взаимодействия между производителем и потребителем.

Моделирование механизма взаимодействия между производителем и потребителем позволяет количественно оценить действующую систему отношений и сформировать задачу выбора согласованного механизма координации экономических интересов при реализации направлений по повышению качества продукции [3].

При повышении качества продукции у потребителя снижаются расходы, связанные с незапланированными простоями в работе, ремонтами продукции, а у предприятия-производителя повышается имидж, что влечет за собой увеличение спроса на продукцию.

В связи с изложенным рассмотрим стратегию поведения предприятия, выпускающего один вид продукции [3; 4].

Задача выбора объема и уровня качества продукции, выпускаемой производителем при заданной рыночной цене и затратах, описывается следующей моделью [3]:

$$\begin{aligned} f(y, \omega) = C \cdot y - m(y, \omega) \xrightarrow{y, \omega} \max \\ y = \min(x_c, Q^H), \underline{\omega} \leq \omega \leq \bar{\omega}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $f(y, \omega)$ – прибыль, получаемая производителем от реализации продукции; y – фактический объем продукции, выпускаемый производителем; ω – уровень качества продукции; x_c – спрос на продукцию со стороны потребителя; C – цена продукции; $m(y, \omega)$ – затраты производителя на выпуск продукции; Q^H – максимально возможный объем выпуска продукции, выпускаемой производителем; $\underline{\omega}, \bar{\omega}$ – нижняя и верхняя границы уровня качества продукции соответственно.

Производитель при реализации стратегии повышения уровня качества, выгодной для потребителя, несет потери. Эти потери составляют величину

$$\Delta f(\omega) = f(\underline{\omega}) - f(\bar{\omega}) = [m_{\omega} - (C - m_y) \cdot b] \cdot (\bar{\omega} - \underline{\omega}), \quad (2)$$

где $f(\underline{\omega}), f(\bar{\omega})$ – целевая функция производителя при нижней и верхней границе уровня качества продукции соответственно; $\omega = (\bar{\omega} - \underline{\omega})$ – максимальный прирост уровня качества относительно нижней границы; x_0 – спрос на продукцию со стороны потребителя при нижней границе уровня качества; $b > 0$ – коэффициент, характеризующий увеличение спроса на продукцию в связи с повышением уровня ее качества на малую величину в 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 является превышение эффекта потребителя $\Delta \Phi(\omega)$ по сравнению с потерями производителя $\Delta f(\omega)$

$$\Delta \Phi(\omega) \geq \Delta f(\omega), \quad (3)$$

$$\text{или } C d_x(\bar{\omega} - \underline{\omega}) \geq [m_{\omega} - (C - m_y) b] (\bar{\omega} - \underline{\omega}), \quad (4)$$

$$\text{или } [C d_x - (m_{\omega} - (C - m_y) \cdot b)] (\bar{\omega} - \underline{\omega}) \geq 0. \quad (5)$$

где $\Delta \Phi(\omega) = \Phi(\bar{\omega}) - \Phi(\underline{\omega}) = C \cdot d_x(\bar{\omega} - \underline{\omega})$ – эффект потребителя; $\Phi(\underline{\omega}),$

$\Phi(\bar{\omega})$ – целевая функция потребителя при нижней и верхней границе уровня качества продукции соответственно; $d_x > 0$ – коэффициент, характеризующий скорость прироста спроса на продукцию в связи с приростом уровня качества.

Из условия (5) получаем, что согласованное взаимодействие существует, если прибыль производителя больше величины его удельных затрат на повышение качества продукции.

Одним из способов реализации согласованного взаимодействия по уровню качества является повышение производителем цены на продукцию. Если согласовать экономические интересы потребителя и производителя за счет цены на продукцию, то следует иметь две цены: более высокую при производстве продукции с высоким уровнем качества и низкую при невыполнении качества продукции.

Величину необходимого изменения цены на продукцию можно определить из уравнения

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

$$\Delta \Pi \geq \frac{[m_\omega - (\Pi - m_y)b](\bar{\omega} - \omega)}{x_0 + b(\bar{\omega} - \omega)}. \quad (6)$$

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

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

$$\frac{\partial f(\omega)}{\partial \Pi} \Delta \Pi \leq \Delta \Phi(\omega). \quad (7)$$

Раскрывая это неравенство, получаем, что

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

$$\Delta \Pi = \frac{\Pi d_x (\bar{\omega} - \omega) - x_0}{b(\bar{\omega} - \omega)} = \frac{\Pi d_x}{b} - \frac{x_0}{b(\bar{\omega} - \omega)}. \quad (8)$$

Неравенство (8) позволяет определить верхнюю границу цены на продукцию, при которой потребитель экономически заинтересован покупать ее.

Учитывая неравенства (6) и (7), диапазон изменения цен на продукцию, представим следующей областью их изменения:

$$\frac{[m_\omega - (\Pi - m_y)b](\bar{\omega} - \omega)}{x_0 + b(\bar{\omega} - \omega)} \leq \Delta \Pi \leq \frac{\Pi d_x}{b} - \frac{x_0}{b(\bar{\omega} - \omega)}. \quad (9)$$

Таким образом, производитель, выбирая величину изменения цен на продукцию из диапазона (9), создает такие условия, в которых предприятию экономически выгодно производить данную продукцию, а потребителю – покупать ее.

Полученные выше уравнения можно применять действующему предприятию при принятии управленческого решения по выбору уровня качества 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, надежность, ресурс; экологическим показателям и т. д., которые изложены в нормативных документах (ГОСТах, ОСТах и др.).

При этом $\bar{\omega}$ – 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 %: $85 \leq \omega \leq 100$.

На основании статистики приняты следующие исходные данные:

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

(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 ее 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 – $C = 388 \cdot 10^6 \text{ руб.}$

Результаты решения.

Используя вышеназванные исходные данные для производителя, получены:

1. Уравнение целевой функции производителя

$$f(\omega) = (C - m_y)x_0 + [(C - m_y)b - m_\omega](\omega - \underline{\omega}) - z_{II} = 216 \cdot 10^6 - 8,4 \cdot 10^6 \cdot \Delta\omega,$$

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

2. Прибыль производителя при величине спроса на ГТЭС, равной $x_0 = 2 \text{ шт.}$,

$$B = (C - m_y)x_0 = 316 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

3. Прибыль производителя при повышении уровня качества на 1%

$$\Pi_\omega = (C - m_y)b = (388 \cdot 10^6 - 230 \cdot 10^6)0,2 = 31,6 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

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 $\Delta \omega = 15\%$ $f(\bar{\omega}) = 90 \cdot 10^6 \text{ руб.}$

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

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

Из приведенного примера видно, что оптимальным решением задачи для производителя является выбор стратегии повышения качества продукции, соответствующей нижней границе уровня качества, так как в этом случае прибыль 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 (7) 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 (8), 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 ее. Увеличение цены приводит к снижению спроса на продукцию, поэтому для потребителей рост цены на продукцию должен быть соразмерен ее качеству.

Из полученного диапазона изменения цены получим значение коэффициента

$$d_C = 200 \cdot 10^6 \frac{\text{руб.}}{\%}.$$

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

$$C_0 = 388 \cdot 10^6 \text{ руб.}; x_0 = 2 \text{ ум.}; d_x = 0,2 \frac{\text{ум.}}{\%}; \underline{\omega} = 85\%; 0 \leq \Delta\omega \leq 15.$$

Используя исходные данные для потребителя, получены:

1. Уравнение целевой функции потребителя при изменении качества

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

2. Экономия бюджета потребителя при выпуске продукции производителем при нижней границе уровня ее 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 путем 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 каче-

ства равна нулю $\frac{\partial\Phi}{\Delta\omega} = 0$); $(C_0 d_x - x_0 d_{C_0}) + 2\Delta\omega d_{C_0} d_x = 0$;

подставляя в формулу п. 4 необходимые параметры, получим

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

тогда оптимальное значение уровня качества равно

$$\omega^0 = \underline{\omega} + \Delta\omega^0 = 0,09 + 4,03 = 4,12\%.$$

Потребитель стремится к оптимальному уровню качества продукции $-\omega^0$.

5. 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 $625,4 \cdot 10^6 \text{ руб.}$ Это означает, что в данном случае для потребителя выгодно повышение качества продукции только на 4,12 %.

Библиографический список

1. Гаршин Д.В. Опыт эксплуатации газотурбинной установки на базе авиационного двигателя НК-37 на Безымянской ТЭЦ ОАО «Самараэнерго»: тез. докл. ЛП научно-техн. сессии РАН по проблемам газовых турбин, Самара, 4–6 октября, 2005. С. 71–72.
2. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения / Е.А. Гриценко [и др.]. Самара: Самарский научный центр РАН, 2004. 267 с.
3. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. М.: Наука, 1995.
4. Скиба М.В. Согласованный механизм взаимодействия производителя и потребителя как инструмент управления качеством наукоемкой продукции // Вестник транспорта Поволжья. 2009. № 1. С. 23–27.

References

1. Garshin D.V. Opyt ekspluatatsii gazoturbinoi ustanovki na baze aviatsionnogo dvigatel'ia NK-37 na Bezymianskoi TETs OAO «Samaraenergo» [Experience of exploitation of gas-turbine plant on the basis of aero engine NK-37 on the Bezymyanka CHP Plant by OJSC «Samaroenergo»]. Tez. dokl. LII nauchno-tekhn. sessii RAN po problemam gazovykh turbin [Scientific conference abstracts of LII research and technical session of the RAS on the problems of gas turbines], Samara, 4-6 October, 2005, pp. 71–72 [in Russian].
2. Gritsenko E.A., Danilchenko V.P., Lukachev S.V., Reznik V.E., Tsibizov Yu.I. Konvertirovanie aviatsionnykh GTD v gazoturbinye ustanovki nazemnogo primeneniia [Conversion of gas-turbine engines in gas-turbine plants of ground application]. Samara: Samarskii nauchnyi tsentr RAN, 2004, 267 p. [in Russian].
3. Burkov V.N., Irikov V.A. Modeli i metody upravleniia organizatsionnymi sistemami [Models and methods of management of organizational systems]. M.: Nauka, 1995 [in Russian].
4. Skiba M.V. Soglasovannyi mekhanizm vzaimodeistviia proizvoditel'ia i potrebitel'ia kak instrument upravleniia kachestvom naukoemkoi produktsii [Coordinated mechanism of interaction of a producer and consumer as an instrument of management of quality of high-tech production]. Vestnik transporta Povolzh'ia [Bulletin of Transport of the Volga region], 01'09. Samara: SamGUPS, 2009, pp. 23–27 [in Russian].

*V.P. Danilchenko, M.V. Skiba**

MODELS OF INTERACTION PROCESS MANAGEMENT AND METHODS OF IMPROVEMENT IN THE QUALITY OF PRODUCTION AND EFFICIENCY AT GAS TURBINE PRODUCTION COMPANY

The paper considers the possibility of coordinating technical and economic interests of producer and consumer of high technology products on the basis of Gas-Turbine Electric Power Station (GTEPS) case study through recovery of high-quality GTEPS producer major expenses out of part of economic benefit received by the consumer in the process of the power station service operation.

Key words: agreed mechanisms of interaction; producer and consumer of high-tech products; gas turbine power plant – high-tech products; technical and economic performance of products; level of product quality; expenses; economic effect.

Статья поступила в редакцию 1/II/2016.
The article received 1/II/2016.

* *Danilchenko Valery Pavlovich* (mskiba08@rambler.ru), Department of Motors Design Technology, *Skiba Marina Valerievna* (mskiba08@rambler.ru), Department of Industrial Management, Samara University, 34, Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russian Federation.