

На правах рукописи

СКЛЯРОВ ДЕНИС ВЛАДИМИРОВИЧ

**АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭКСЕРГИИ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА НА ПГУ ТЭЦ С КОТЛАМИ-
УТИЛИЗАТОРАМИ**

Специальность 05.14.14 – Тепловые электрические
станции, их энергетические системы и агрегаты

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2003

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Санкт – Петербургский государственный политехнический университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Боровков Валерий Михайлович.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, с.н.с. Коваленко Анатолий Николаевич.
- кандидат технических наук, доцент Демидов Олег Игоревич.

Ведущая организация – ФГУП «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Атомэнергопроект».

Защита состоится 2 декабря 2003 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.04 в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
в аудитории 411 ПГК.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Отзыв на автореферат, заверенный печатью учреждения, в двух экземплярах просим направить по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан 31 октября 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Григорьев К. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время эффективность использования топлива на ТЭЦ оценивается по приведенным показателям тепловой экономичности. Этот подход имеет существенные недостатки. Во-первых, он затрудняет определение элементов энергоустановки и процессов, в которых происходит снижение эффективности использования топлива. Во-вторых, при таком подходе не достаточно ясны причины снижения эффективности использования топлива и физический смысл процессов, приводящих к снижению. В третьих, чтобы сравнить эффективность использования топлива на нескольких ТЭЦ (или нескольких вариантов одной ТЭЦ) необходимо сравнивать их между собой, последовательно приводя ТЭЦ к одинаковой выработке тепловой и электрической энергий с помощью замещающих КЭС и котельных. Поэтому применяется только косвенный анализ эффективности использования топлива ТЭЦ, и, следовательно, поиск новых технических решений недостаточно обоснован и очень трудоемок. Тем не менее, понятно, что существует показатель, достаточный для оценки эффективности использования топлива энергоустановкой, так как из второго закона термодинамики следует, что любой реальный процесс необратим, поэтому потери в реальном процессе больше, чем в обратимом процессе. Такой показатель необходим при анализе и оптимизации тепловых схем перспективных тепловых электростанций, которые еще недостаточно изучены – парогазовых и газотурбинных ТЭЦ.

Цель работы.

1. Обоснование эксергетического КПД, как достаточного критерия эффективности использования топлива энергоустановкой.
2. Разработка методики оценки эффективности использования топлива на ПГУ ТЭЦ с котлами-утилизаторами на основе эксергетического метода анализа.
3. Разработка методики распределения расходов топлива на выработку тепловой и электрической энергий ПГУ ТЭЦ с котлами-утилизаторами, учитывающей использование потерь эксергии топлива на ТЭЦ тепловым потребителем.
4. На базе предложенных методик проведение анализа и определение резервов повышения эффективности использования топлива на ПГУ ТЭЦ с котлами-утилизаторами и ГТУ ТЭЦ, с учетом различных режимов работы в течение года.

Научная новизна.

1. В работе показано, что эксергетический КПД является достаточным критерием для оценки эффективности использования топлива энергоустановкой. Поэтому сравнение эффективности использования топлива энергоустановками по эксергетическому КПД в отличие от сравнения по показателям тепловой экономичности не требует приведения энергоустановок к одинаковой выработке тепловой и электрической энергий.

2. Разработаны методические основы определения эксергетического КПД ПГУ ТЭЦ с КУ любого типа, в том числе с системами дожигания топлива. Получена и исследована аналитическая зависимость эксергетического КПД ПГУ ТЭЦ с КУ от эксергетических КПД основного оборудования ТЭЦ.
3. Разработаны методические основы распределения расходов топлива на выработку тепловой и электрической энергий ПГУ ТЭЦ с КУ, которые позволяют оценить использование потерь эксергии топлива на ТЭЦ тепловым потребителем.
4. Проведен анализ потерь эксергии и оптимизация параметров котлов-утилизаторов ПГУ ТЭЦ с КУ.
5. Проведен эксергетический анализ эффективности использования топлива на ГТУ ТЭЦ при применении различных способов регулирования тепловой нагрузки.

Практическая ценность работы.

1. Разработанные методики позволяют проводить комплексное исследование, анализ и оптимизацию тепловых схем ПГУ ТЭЦ с КУ, ГТУ ТЭЦ и их режимов работы. Они могут использоваться для подготовки исходных данных при технико-экономической оценке проектов реконструкции или сооружения новых ПГУ ТЭЦ с КУ или ГТУ ТЭЦ с целью выбора наиболее эффективного варианта, технических и технологических решений.
2. На базе разработанной методики оценки эффективности использования топлива разработаны предложения для ЗАО "Северо – Западная ТЭЦ" (г. Санкт-Петербург) по реконструкции схемы собственных нужд и теплофикационной установки ТЭЦ. Предложения по изменению схемы собственных нужд реализуются.
3. Разработанная методика упрощает анализ тепловых схем ПГУ ТЭЦ с КУ и ГТУ ТЭЦ и определение резервов повышения эффективности использования топлива.

Надежность и достоверность обеспечивается применением апробированных методов моделирования термодинамических процессов на основе эксергетического метода анализа, сходимость с результатами, полученными на основании широко используемых методик расчетов тепловых схем ТЭС.

Апробация работы и публикации. Результаты работы докладывались на заседаниях кафедры "Промышленная теплоэнергетика" СПбГПУ (2001 – 2003 гг.), 3-ей научно-практической конференции "Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий" (Санкт-Петербург 2003 г.), научном семинаре ЭнМФ СПбГПУ (2003 г.).

По результатам диссертации имеется 4 публикации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе и списка использованной литературы. Содержание работы изложено на 105 страницах машинописного текста. Список литературы включает 76 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы.

В **первой главе** Проведен обзор и анализ публикаций по разработке методик расчета показателей эффективности использования топлива на ТЭЦ, обзор и анализ тепловых схем ПГУ ТЭЦ с КУ и ГТУ ТЭЦ. Показано, что показатели тепловой экономичности не могут служить достаточными критериями эффективности использования топлива на ТЭЦ (например, сравнение ГТУ и ПГУ ТЭЦ, сравнение подвода пиковой теплоты методом сжигания в котле-утилизаторе и в пиковом водогрейном котле). По результатам анализа сформулированы основные задачи:

1. Разработка достаточного критерия эффективности использования топлива на ТЭЦ.
2. Разработка методики определения показателей эффективности использования топлива и методики распределения удельных расходов топлива на выработку тепловой и электрической энергий ПГУ ТЭЦ с КУ.
3. Исследование показателей эффективности использования топлива в зависимости от эффективности работы элементов тепловой схемы.
4. Проведение анализа эффективности схемных решений ПГУ ТЭЦ с КУ и ГТУ ТЭЦ.
5. Проведение анализа и повышение эффективности использования топлива на "Северо – Западной" ТЭЦ (г. Санкт-Петербург).

Вторая глава посвящается разработке методики оценки эффективности использования топлива на ПГУ ТЭЦ с КУ и методики распределения расходов топлива на выработку тепловой и электрической энергий.

Достаточным критерием эффективности использования топлива является показатель, сравнивающий выработанную энергоустановкой тепловую и электрическую энергии не с затраченной энергией (например, с суммарной теплотой сгорания топлива в этой установке), а с тепловой и электрической энергиями, выработанными такой энергоустановкой, в которой осуществляются обратимые процессы при тех же начальных и конечных условиях. В таком случае не потребуется приводить ТЭЦ к одинаковой выработке тепловой и электрической энергий.

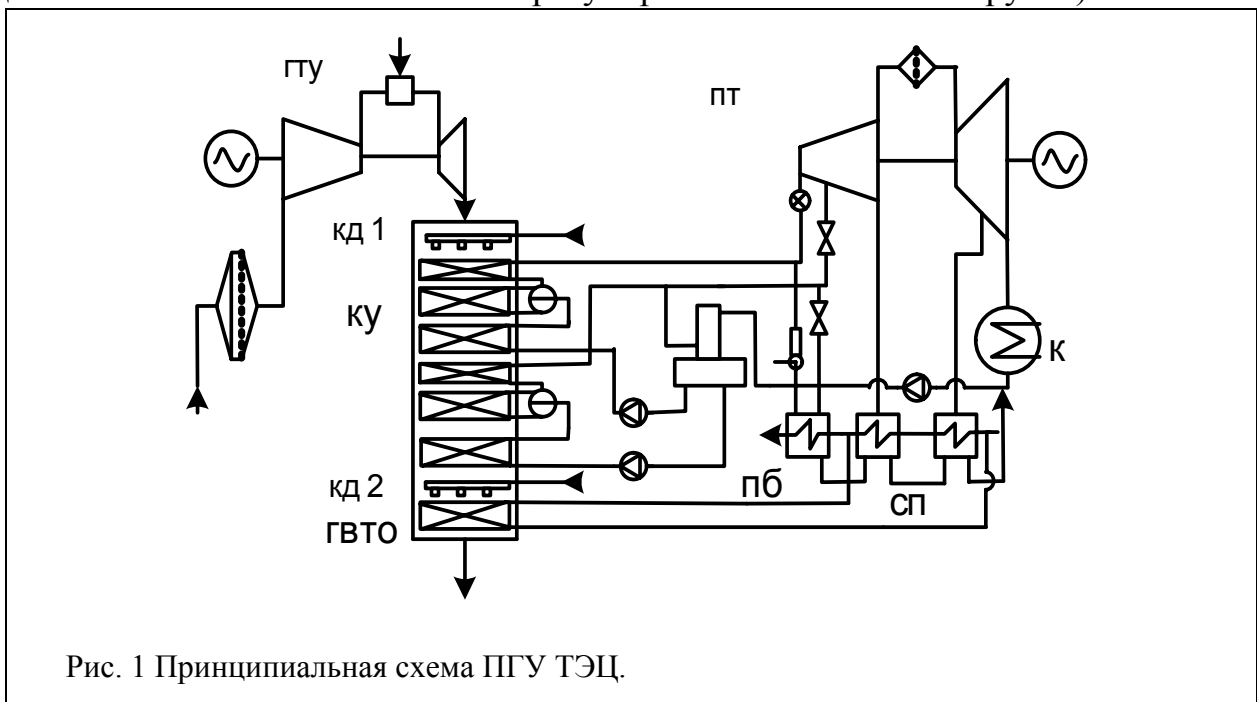
Для процессов расширения и сжатия таким критерием является эксергетический КПД. Рассмотрим, чему равен этот критерий для процессов теплообмена.

Согласно теореме о среднем, количество теплоты, полученное в реальном процессе теплообмена нагреваемым теплоносителем, можно представить как $Q_1 = \Delta E x_1 / \overline{\tau_{a1}}$, где $\Delta E x_1$ - изменение эксергии нагреваемого теплоносителя в реальном процессе, $\overline{\tau_{a1}}$ - эксергетическая функция среднеинтегральной температуры нагреваемого теплоносителя. Количество теплоты, полученное нагреваемым теплоносителем в обратимом процессе теплообмена при таких же процессах для нагреваемого и охлаждаемого теплоносителей, равно

$Q_{\max} = L \cdot \bar{\mu}$, где L - суммарная работа в бесконечно большом количестве циклов Карно между температурами охлаждаемого теплоносителя и температурой окружающей среды. $L = Q_2 \cdot \overline{\tau_{e2}} = \Delta E x_2$, где Q_2 - количество теплоты, отданное охлаждаемым теплоносителем, $\overline{\tau_{e2}}$ - среднеинтегральная эксергетическая функция температуры охлаждаемого теплоносителя; $\bar{\mu}$ - средний отопительный коэффициент бесконечно большого количества тепловых насосов, работающих между окружающей средой и нагреваемым теплоносителем по обратному циклу Карно. Можно легко доказать, пользуясь теоремой о среднем, что $\bar{\mu} = 1/\overline{\tau_{a1}}$. Процесс для нагреваемого теплоносителя одинаков при реальном и обратимом процессе теплообмена, поэтому можно сравнивать Q_1 и Q_{\max} . Таким образом, коэффициент эффективности процесса теплообмена равен: $\varepsilon = Q_1/Q_{\max} = \Delta E x_1/\Delta E x_2 = \eta_{\text{ex}}$.

Можно предположить что, коэффициент сравнения эффективности использования топлива энергоустановкой с эффективностью использования топлива такой энергоустановкой, в которой все процессы являются обратимыми, представляет собой эксергетический КПД.

На основании анализа схем ПГУ ТЭЦ была разработана обобщенная схема ПГУ ТЭЦ с КУ (рис. 1) и схема потоков эксергии, позволяющая описывать тепловую схему ПГУ ТЭЦ с КУ любого типа (в том числе с системами дожигания топлива как способом регулирования тепловой нагрузки).



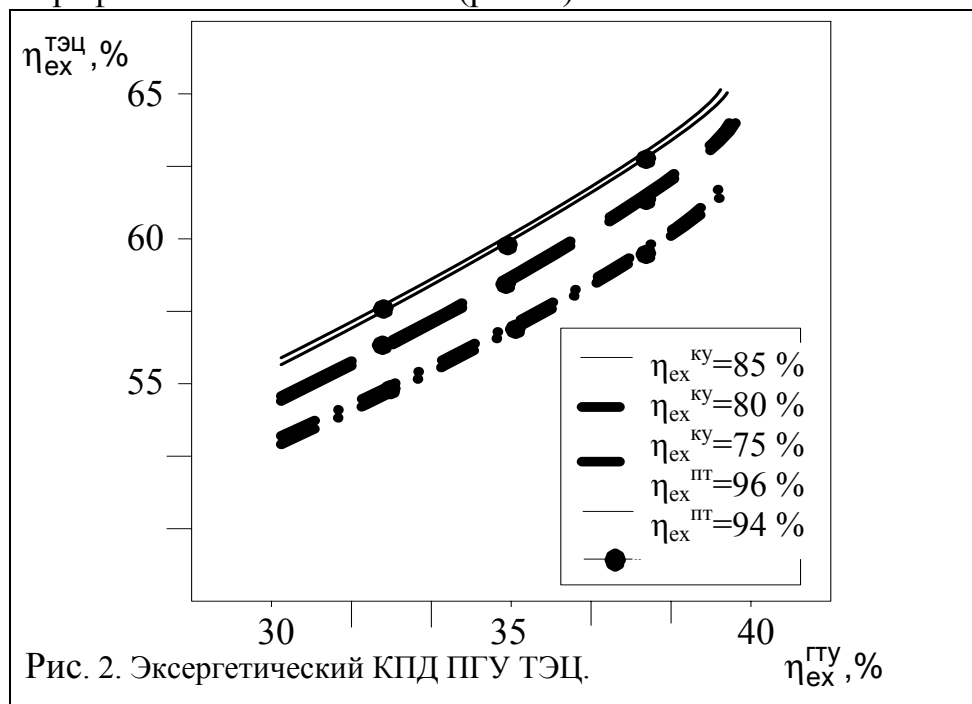
Получена аналитическая зависимость для эксергетического КПД обобщенной ПГУ ТЭЦ с КУ.

$$\eta_{\text{ex}}^{\text{тэц}} = \frac{\eta_{\text{ex}}^{\text{гту}} \cdot \eta_{\text{эм}}^{\text{пт}} \cdot (1 - \gamma_{\text{ух}}^{\text{гту}}) + \eta_{\text{ex}}^{\text{гвто}} \cdot (\gamma_{\text{вх}}^{\text{гвто}} + \beta_{\text{д2}} \cdot \eta_{\text{ex}}^{\text{кд2}} - \gamma_{\text{ух}}^{\text{ку}})}{1 + \beta_{\text{д1}} + \beta_{\text{д2}}}$$

$$+ \frac{\eta_{\text{ex}}^{\text{пт}} \cdot \eta_{\text{эм}}^{\text{пт}} \cdot [(\gamma_{\text{ух}}^{\text{гту}} + \beta_{\text{д1}} \cdot \eta_{\text{ex}}^{\text{кд1}} - \gamma_{\text{вх}}^{\text{гвто}}) \cdot \eta_{\text{ex}}^{\text{ку}} \cdot \eta_{\text{ex}}^{\text{тр1}} - \frac{\gamma^{\text{сп}}}{\eta_{\text{ex}}^{\text{тр2}}}] + \eta_{\text{ex}}^{\text{сп}} \cdot \gamma^{\text{сп}}}{1 + \beta_{\text{д1}} + \beta_{\text{д2}}}, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{ex}}^{\text{гту}}$, $\eta_{\text{эм}}^{\text{пт}}$, $\eta_{\text{ex}}^{\text{гвто}}$, $\eta_{\text{ex}}^{\text{кд2}}$, $\eta_{\text{ex}}^{\text{пт}}$, $\eta_{\text{эм}}^{\text{пт}}$, $\eta_{\text{ex}}^{\text{кд1}}$, $\eta_{\text{ex}}^{\text{ку}}$, $\eta_{\text{ex}}^{\text{тр1}}$, $\eta_{\text{ex}}^{\text{тр2}}$, $\eta_{\text{ex}}^{\text{сп}}$ - эксергетические КПД элементов ПГУ ТЭЦ соответственно: газотурбинной установки, электромеханических потерь в ГТУ и генераторе ГТУ, газоводяного теплообменника, камеры дожигания перед ГВТО, паровой турбины, электромеханических потерь в ПТ и генераторе ПТ, камеры дожигания перед котлом-утилизатором, средний контуров котла-утилизатора, транспорта эксергии от КУ к ПТ, транспорта эксергии от КУ к сетевым подогревателям, средний сетевых подогревателей; $\gamma_{\text{ух}}^{\text{гту}}$, $\gamma_{\text{вх}}^{\text{гвто}}$, $\gamma_{\text{ух}}^{\text{ку}}$, $\gamma^{\text{сп}}$ - доли эксергии от эксергии топлива, сожженного в камере сгорания ГТУ, содержащиеся соответственно: в уходящих газах ГТУ, во входящих газах в ГВТО, в уходящих газах КУ, в паре, поступающим в сетевые подогреватели; $\beta_{\text{д1}}$, $\beta_{\text{д2}}$ - доли топлива, сожженного в камерах дожигания перед КУ и перед ГВТО к топливу, сожженному в камере сгорания ГТУ.

Проведен анализ влияния эффективности отдельных элементов на эксергетический КПД обобщенной ПГУ ТЭЦ. По результатам анализа построены графические зависимости (рис. 2).



Как видно из графика на рис. 2, изменение эксергетического КПД ГТУ оказывает наибольшее влияние на эксергетический КПД ПГУ. Вторым по значению для эффективности ПГУ является котел-утилизатор. Эксергетические КПД проточных частей современных паровых турбин высоки и их изменение не оказывает значительного влияния на эффективность ПГУ.

Одним из ключевых вопросов технико-экономического анализа ТЭЦ является вопрос распределения расхода топлива ТЭЦ на выработку тепловой и электрической энергий. Несомненно, что ТЭЦ эффективнее, чем КЭС, так как потери эксергии ТЭЦ частично используются полезно при отпуске теплоты потребителю, а потери эксергии КЭС сбрасываются в окружающую среду. Следовательно, для распределения расхода топлива ТЭЦ на тепловую и электрическую энергии необходимо определить ценность потерь эксергии ТЭЦ, направляемых тепловому потребителю. В работе предлагается принять, что затраты эксергии топлива на выработку тепловой энергии ТЭЦ равны затратам эксергии топлива либо затратам электроэнергии на выработку тепловой энергии в альтернативном источнике теплоты (тепловом насосе, котельной, электрическом водогрейном котле и т. п.). Ценность отпущенной тепловой энергии равна:

$$\Delta E_{\tilde{n}\tilde{a}}' = \Delta E_{\tilde{n}\tilde{a}} / \eta_{ex}^c, \quad (2)$$

где $\Delta E_{\tilde{n}\tilde{a}}$ - эксергия теплоты, отпущенной тепловому потребителю, η_{ex}^3 - эксергетический КПД теплового насоса $\eta_{ex}^{тн}$, котельной η_{ex}^k либо другого альтернативного источника теплоты.

На основании этих положений разработана методика распределения расходов топлива на выработку тепловой и электрической энергии.

Эксергия топлива, затраченная на выработку тепловой энергии ПГУ ТЭЦ с КУ комбинированным способом равна:

$$E_{\tilde{T}} = \left[\alpha_1 \cdot \left(\frac{1 - \alpha_{сп}^{кд1} - \alpha^{пб}}{\eta_{ex}^{кc} \eta_{ex}^{конт1} \eta_{ex}^{тр3} \eta_{ex}^{сп} \eta_{ex}^3} + \frac{\alpha_{сп}^{кд1}}{\eta_{ex}^{кд1} \eta_{ex}^{конт2} \eta_{ex}^{тр4} \eta_{ex}^{пб}} + \frac{\alpha^{пб}}{\eta_{ex}^{кc} \eta_{ex}^{конт2} \eta_{ex}^{тр4} \eta_{ex}^{пб} \eta_{ex}^3} \right) + \left(\frac{1 - \alpha_{гвто}^{кд1} - \alpha_{гвто}^{кд2}}{\eta_{ex}^{кc} \cdot \eta_{ex}^{гвто} \cdot \eta_{ex}^3} + \frac{\alpha_{гвто}^{кд1}}{\eta_{ex}^{кд1} \cdot \eta_{ex}^{гвто}} + \frac{\alpha_{гвто}^{кд2}}{\eta_{ex}^{кд2} \cdot \eta_{ex}^{гвто}} \right) \cdot \alpha_2 \right] \cdot \Delta E_{с.в}, \quad (3)$$

где $\Delta E_{с.в}$ - приращение эксергии сетевой воды на ТЭЦ, α_1 , α_2 - доли приращения эксергии сетевой воды соответственно в сетевых подогревателях и в газодляном теплообменнике, $\alpha_{сп}^{кд1}$ - доля от приращения эксергии сетевой воды в СП, выработанная за счет части эксергии, подведенной в КД 1, $\alpha^{пб}$ - доля приращения эксергии сетевой воды в пиковом бойлере, $\alpha_{гвто}^{кд1}$, $\alpha_{гвто}^{кд2}$ - доли приращения эксергии сетевой воды в ГВТО соответственно от топлива, сожженного в КД 1 и от топлива, сожженного в КД2, $\eta_{ex}^{конт1}$, $\eta_{ex}^{конт2}$ - средние эксергетические КПД получения пара в КУ, идущего соответственно в основные сетевые подогреватели и в пиковый бойлер, $\eta_{ex}^{тр3}$, $\eta_{ex}^{тр4}$ - эксергетические КПД транспорта теплоты от КУ соответственно в основные сетевые подогреватели и в пиковый бойлер, $\eta_{ex}^{пб}$ - эксергетический КПД пикового бойлера.

Эксергия топлива, затраченная на выработку электроэнергии:

$$Ex_T^{\text{э}} = \frac{N_3^{\text{ГТ}}}{\eta_{\text{ex}}^{\text{ГТУ}} \eta_{\text{эм}}^{\text{ГТ}}} + \frac{N_3^{\text{ПТ}}}{\eta_{\text{ex}}^{\text{кС}} \eta_{\text{ex}}^{\text{конт1}} \eta_{\text{ex}}^{\text{тр1}} \eta_{\text{ex}}^{\text{пт}}} - \left[\left(\frac{1 - \alpha_{\text{сп}}^{\text{кд1}} - \alpha^{\text{пб}}}{\eta_{\text{ex}}^{\text{кС}} \eta_{\text{ex}}^{\text{конт1}} \eta_{\text{ex}}^{\text{тр3}} \eta_{\text{ex}}^{\text{сп}}} + \frac{\alpha^{\text{пб}}}{\eta_{\text{ex}}^{\text{кС}} \eta_{\text{ex}}^{\text{конт2}} \eta_{\text{ex}}^{\text{тр4}} \eta_{\text{ex}}^{\text{пб}}} \right) \alpha^1 + \right. \\ \left. + \left(\frac{1 - \alpha_{\text{аа0i}}^{\text{эа1}} - \alpha_{\text{аа0i}}^{\text{эа2}}}{\eta_{\text{ex}}^{\text{эп}} \cdot \eta_{\text{ex}}^{\text{аа0i}}} \right) \cdot \alpha^2 \right] \cdot \Delta Ex_{\text{па}} \cdot \left[\frac{1 - \eta_{\text{ex}}^{\text{с}}}{\eta_{\text{ex}}^{\text{с}}} \right], \quad (4)$$

где $N_3^{\text{ГТ}}$ - мощность газотурбинной установки, $N_3^{\text{ПТ}}$ - мощность паровой турбины.

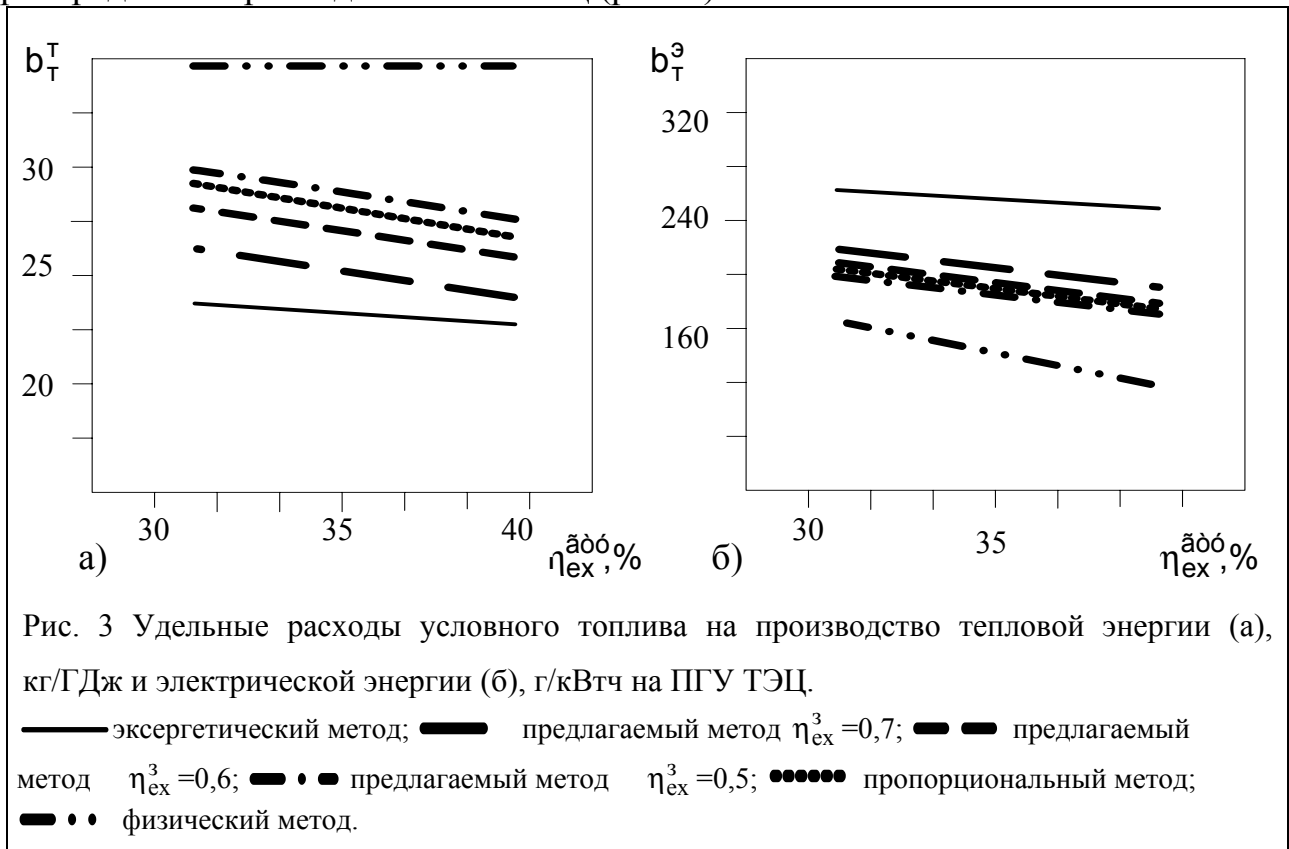
Для определения расходов топлива было принято предположение, о том, что потери эксергии со сбросами в атмосферу должны распределяться не на элемент схемы (например, КУ), а на всю схему в целом, тогда расходы топлива на выработку тепловой и электрической энергии равны:

$$V_T^{\text{Т}} = (Ex_T^{\text{Т}} / (Ex_T^{\text{Т}} + Ex_T^{\text{э}}) + \beta_{\text{д1}} + \beta_{\text{д2}}) \cdot V_T^{\text{ГТУ}} \quad (5)$$

$$V_T^{\text{э}} = V_T^{\text{ГТУ}} \cdot Ex_T^{\text{э}} / (Ex_T^{\text{Т}} + Ex_T^{\text{э}}) \quad (6)$$

где $V_T^{\text{ГТУ}}$ - расход топлива в камере сгорания ГТУ.

По результатам анализа построены графические зависимости удельных расходов условного топлива на выработку тепловой и электрической энергии в зависимости от эксергетического КПД ГТУ и от выбора альтернативного источника тепловой энергии. Для сравнения показаны аналогичные зависимости для эксергетического, пропорционального и физического методов распределения расхода топлива ТЭЦ (рис. 3).



В третьей главе разработана методика определения среднегодовых показателей эффективности использования топлива на ПГУ ТЭЦ с КУ. Сформулированы основные показатели, отражающие качественную и количественную сторону работы парогазовых ТЭЦ. Показано, что расчет среднегодовых показателей ПГУ ТЭЦ по сравнению с паротурбинными ТЭЦ отличается существенным влиянием на эти показатели параметров наружного воздуха. Проведено исследование влияния конфигурации схемы котла-утилизатора на топливную эффективность бинарной ПГУ ТЭЦ на примере ПГУ ТЭЦ с газотурбинной установкой V 64.3. Для представления результатов предложено использовать оценочные диаграммы (рис. 4, 5).

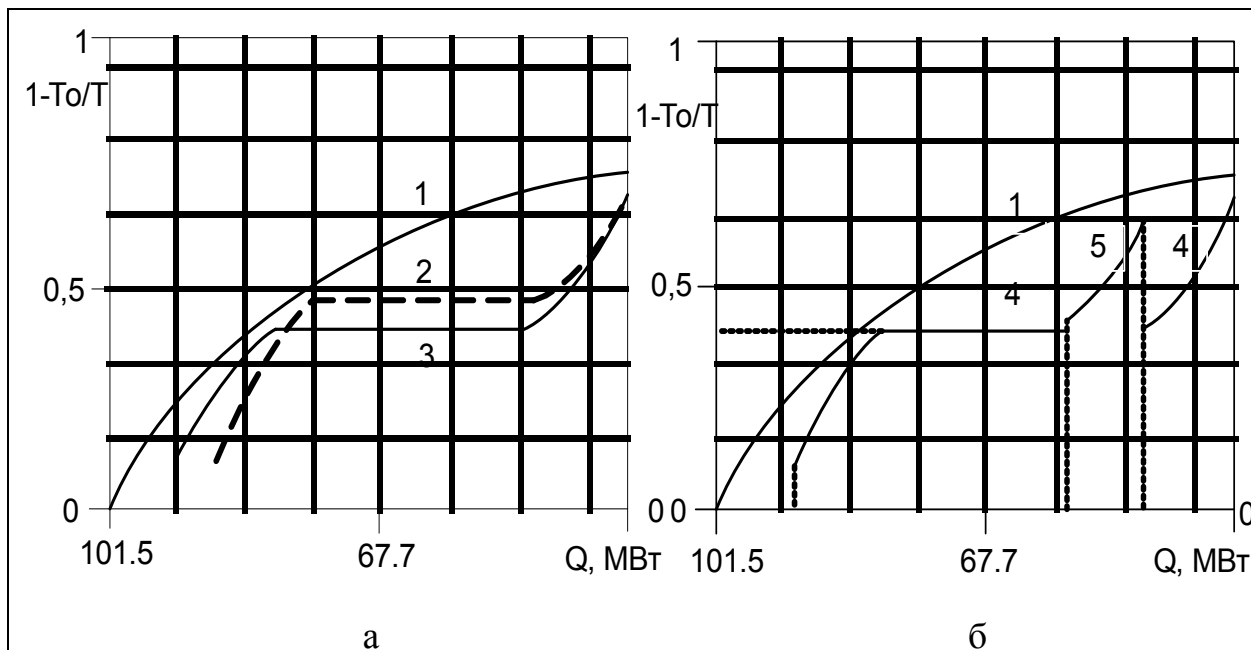


Рис. 4. Оценочные диаграммы одноконтурного котла-утилизатора (а) и одноконтурного с однократным промпрегревом пара (б).
 1 – дымовые газы, 2 – рабочее тело $P_0=6,3$ МПа, 3 – рабочее тело $P_0=5,5$ МПа, 4 – рабочее тело $P_0=5,5$ МПа, 5 – промпрегрев.

Диаграммы построены в координатах "переданное количество теплоты – эксергетическая функция температуры". На этих диаграммах площадь под кривой эквивалентна изменению эксергии вещества в термодинамическом процессе, а площадь между кривыми эквивалентна потерям эксергии. Наибольшие потери эксергии в КУ имеют место в испарительных поверхностях нагрева вследствие больших температурных напоров. Для снижения потерь эксергии необходимо увеличивать давление в контуре. Это приводит к увеличению температуры продуктов сгорания на выходе из КУ и к потерям эксергии с уходящими газами. Потери эксергии в испарительных поверхностях КУ можно снизить, применив промпрегрев (рис 4.б). Но наиболее эффективным способом снижения потерь эксергии в КУ является снижение количества эксергии, переданной в испарительной поверхности нагрева. Необходимо применить несколько испарительных поверхностей с разными давлениями рабочего тела (рис. 5).

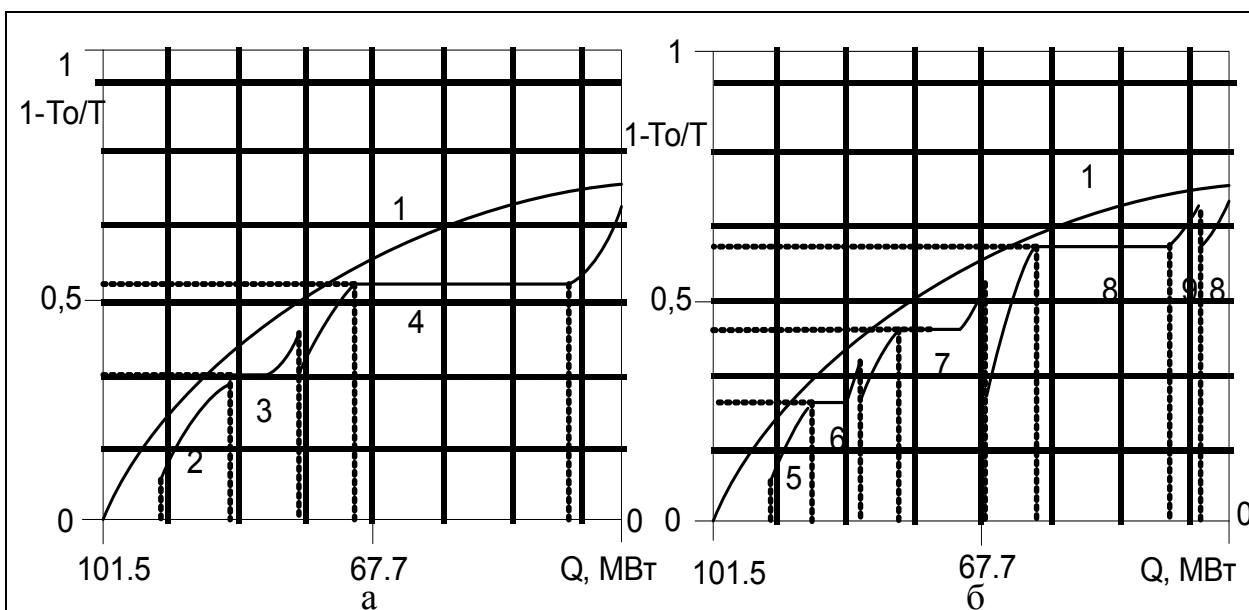


Рис. 5. Оценочные диаграммы двухконтурного котла-утилизатора (а) и трехконтурного с однократным промперегревом пара (б).

1 – дымовые газы, 2 – вода в газовом подогревателе конденсата, 3 – рабочее тело $P_0=0,6$ МПа, 4 – рабочее тело $P_0=5,5$ МПа, 5 – вода в газовом подогревателе конденсата, 6 – рабочее тело третьего контура $P_0=0,5$ МПа, 7 – рабочее тело второго контура $P_0=1,3$ МПа, 8 – рабочее тело первого контура $P_0=10,0$ МПа, 9 – промперегрев.

В работе проведен анализ одно-, двух- и трехконтурных ПГУ ТЭЦ с промперегревом пара и без. Показано, что приращение эффективности использования топлива при применении промперегрева снижается при увеличении числа контуров. В таблице 1 приведены среднегодовые показатели эффективности использования топлива вариантов бинарных ПГУ ТЭЦ с газотурбинной установкой V 64.3.

Таблица 1

Результаты расчета годовых показателей работы разных вариантов схем ПГУ ТЭЦ

Показатель	Разм.	№1	№2	№3	№4
Конфигурация ПГУ ТЭЦ		1 контур и промперегрев	2 контура	2 контура и промперегрев	3 контура
$\eta_{ex}^{тэц,г}$	%	48,2	52,5	54,3	55,8
$\eta_{ex}^{ку,г}$	%	64,1	73,3	78,7	82,0
$\eta_{ex}^{пт,г}$	%	96,4	95,1	94,8	94,5
выработка электроэнергии	млн. кВтч/год	842,8	970,0	1023,2	1067,5
отпуск эксергии теплоты	тыс. ГДж/год	162,2	162,2	162,2	162,2
затраты эксергии топлива	тыс. ГДж/год	822,2	822,18	822,17	822,15

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что для бинарных ПГУ ТЭЦ различные конфигурации котла-утилизатора существенно влияют на количество вырабатываемой электроэнергии и на эффективность использования топлива на ТЭЦ.

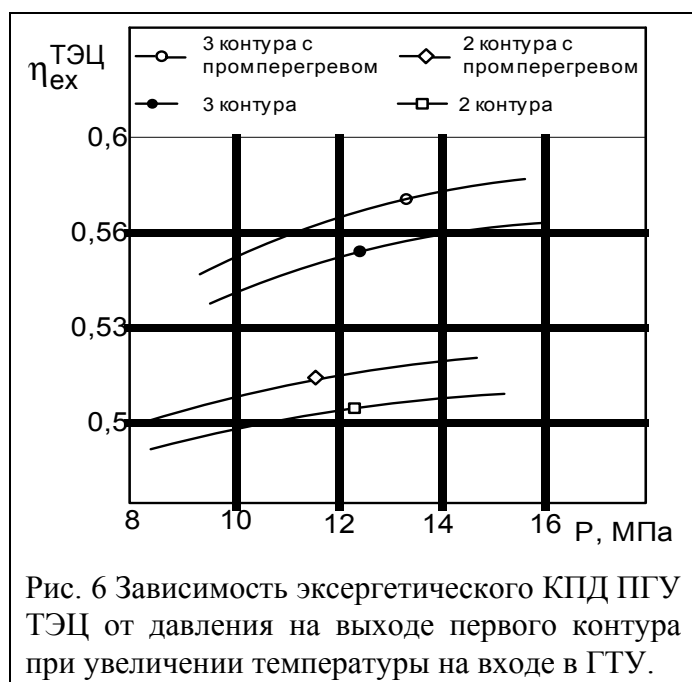


Рис. 6 Зависимость эксергетического КПД ПГУ ТЭЦ от давления на выходе первого контура при увеличении температуры на входе в ГТУ.

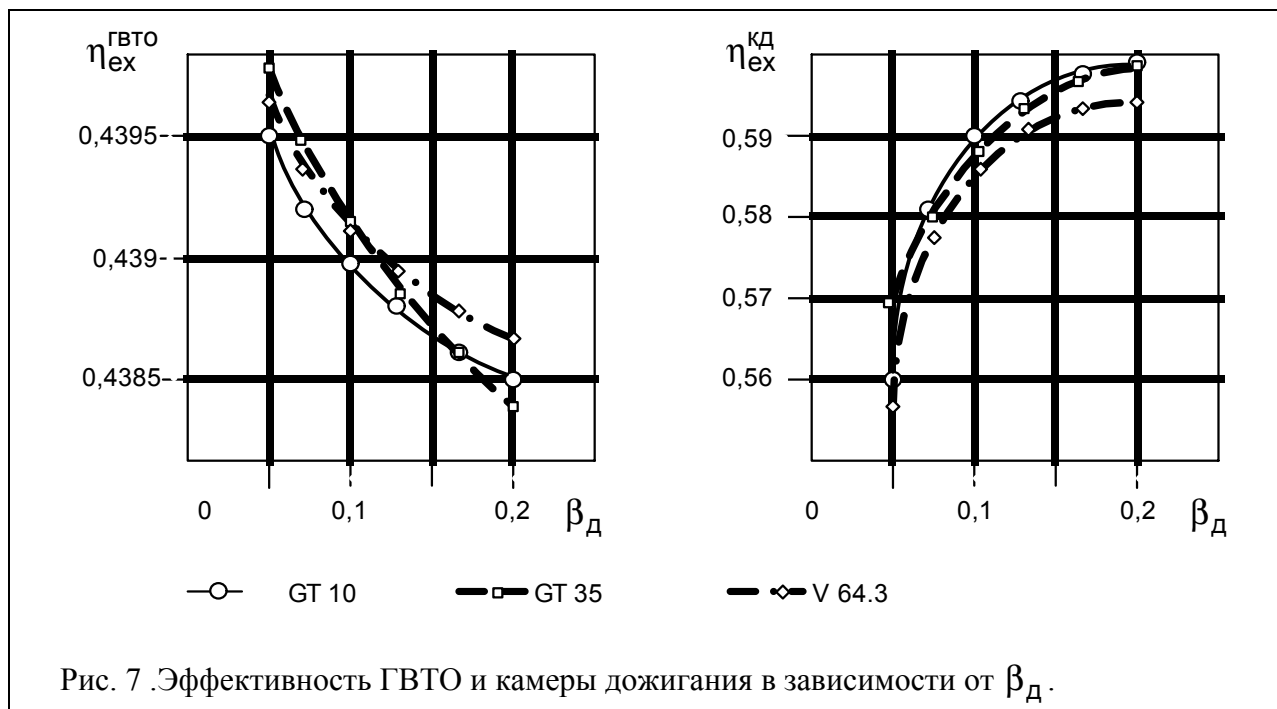
На базе разработанной модели ГТУ проанализировано влияние увеличения температуры на входе в газовую турбину на эксергетический КПД котла-утилизатора (рис. 6). При увеличении температуры продуктов сгорания на входе в газовую турбину возрастает оптимальное давление рабочего тела в первом контуре. Наибольший прирост эффективности обеспечивают трехконтурные схемы.

На базе разработанных методик проведен анализ эффективности использования

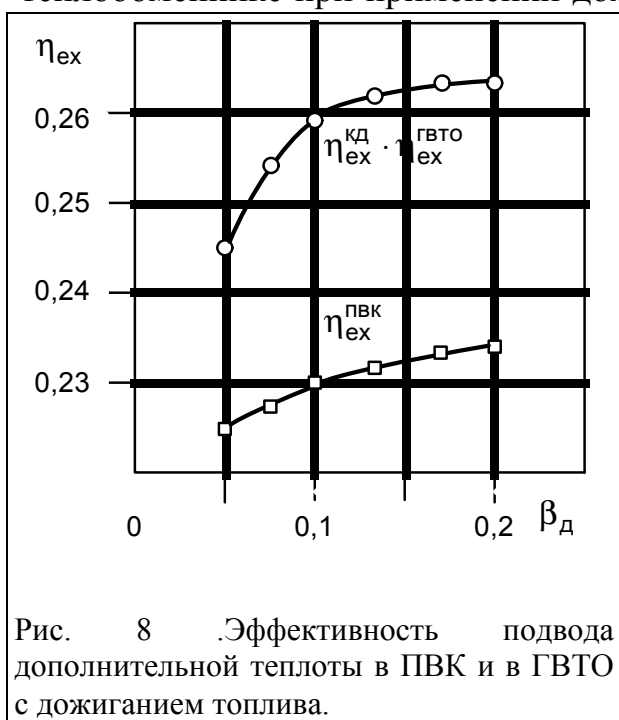
топлива на "Северо – Западной" ТЭЦ (г. Санкт-Петербург). Предложен вариант реконструкции схемы собственных нужд, повышающий расчетный годовой эксергетический КПД станции на 0,03%: с 47,81% до 47,84%. Рассмотрены два варианта изменения принципиальной схемы в связи с изменением условий теплоснабжения города: вариант 1 – применение паровой турбины с тремя теплофикационными отборами (верхний – регулируемый), вариант 2 – применение турбины с тремя нерегулируемыми теплофикационными отборами. Годовой эксергетический КПД ТЭЦ в варианте 1 увеличивается на 0,77 %, в варианте 2 – на 1,23 %.

В четвертой главе рассмотрены вопросы анализа и повышения эффективности использования топлива на отопительных ГТУ ТЭЦ. Показано, что существенное влияние на состав тепловой схемы и эффективность использования топлива оказывают методы регулирования тепловой нагрузки. По результатам анализа тепловых схем ГТУ ТЭЦ были выбраны для исследования следующие способы увеличения тепловой нагрузки ГТУ ТЭЦ: дожигание топлива в среде уходящих газов ГТУ, применение пикового водогрейного котла, пиковая нагрузка ГТУ, впрыск воды в камеру сгорания ГТУ; и методы снижения тепловой нагрузки ГТУ ТЭЦ: снижение нагрузки ГТУ, байпасирование газовойодяного теплообменника по газовой и водяной стороне. Увеличение отпуска тепловой энергии при использовании пиковой нагрузки не превышает 3 – 5 %, при использовании впрыска воды в камеру сгорания ГТУ – 9 – 14 %. Эффективность использования топлива при

применении дожигания выше, чем при применение ПВК, так как потери эксергии процесса горения топлива в продуктах сгорания с температурой 500 – 600 °С меньше, чем потери эксергии процесса горения топлива в воздухе с температурой около 50 °С. На рис. 7 приведены графики изменения эксергетических КПД газоводяного теплообменника и камеры дожигания в зависимости от степени дожигания топлива для ГТУ ТЭЦ с разными ГТУ.



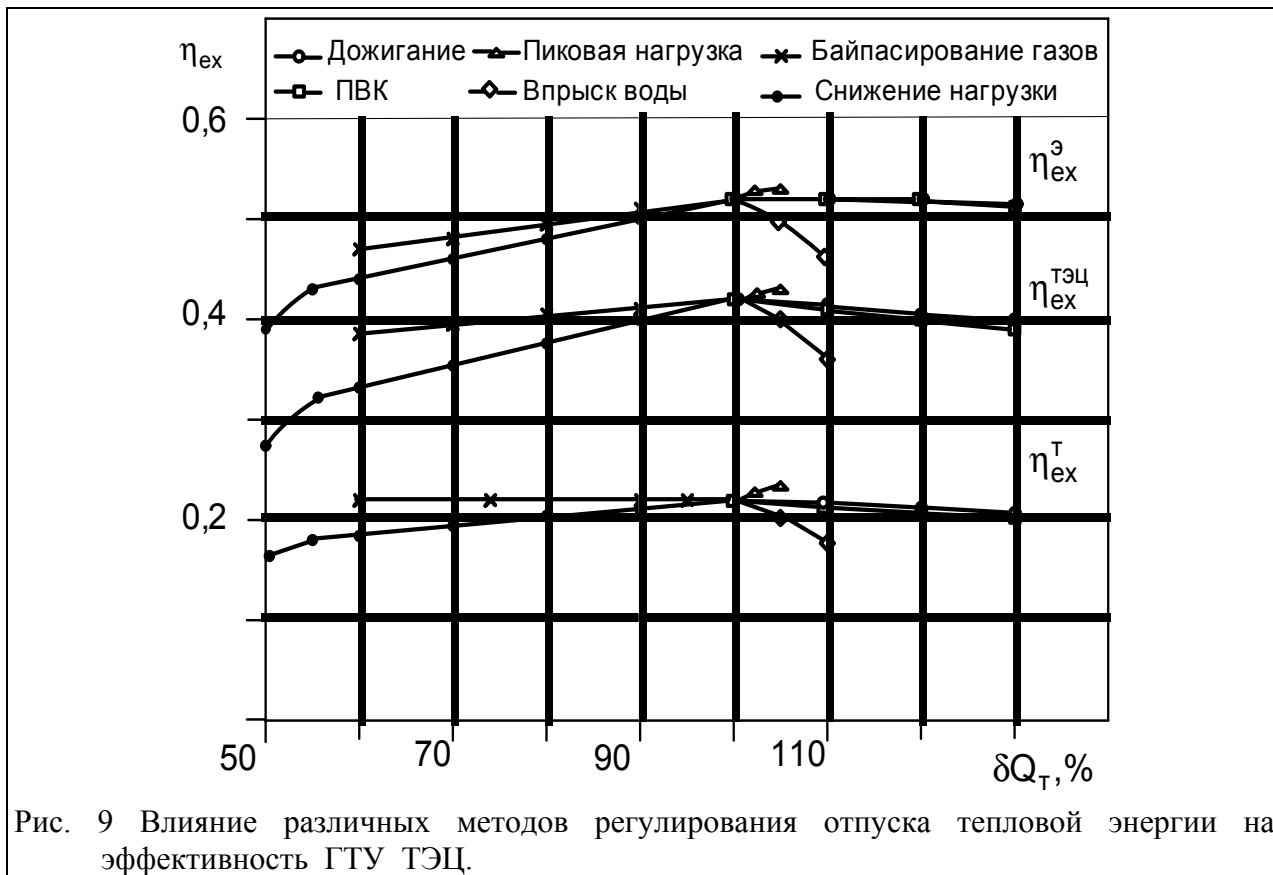
Как видно из графика основные потери эксергии при дожигании топлива происходят в камере дожигания, а изменение потерь эксергии в газоводяном теплообменнике при применении дожигания топлива незначительно. На рис. 8



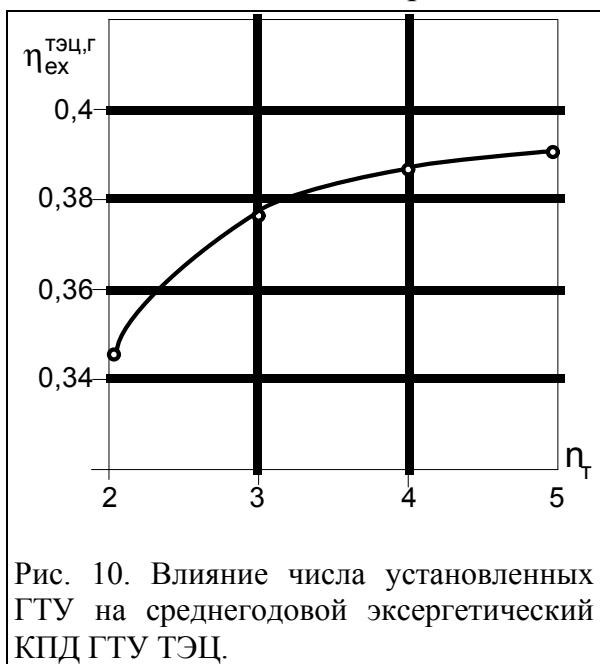
представлены в виде графической зависимости результаты сравнительного анализа эффективности использования топлива при применении дожигания топлива и пикового водогрейного котла для отопительной ГТУ ТЭЦ с ГТУ V 64.3.

Современные дожигающие устройства имеют небольшое аэродинамическое сопротивление, поэтому снижение эффективности использования топлива на отопительной ГТУ ТЭЦ вследствие дросселирования уходящих газов ГТУ в дожигающем устройстве незначительно (рис. 9). Сравнительная характеристика эффективности использования топлива

на отопительной ГТУ ТЭЦ с различными методами регулирования тепловой нагрузки на примере нескольких расчетных режимов работы отопительной ГТУ ТЭЦ с ГТУ V 64.3 представлена на рис. 9.



ГТУ-ТЭЦ включает несколько энергоблоков ГТУ с газоводяными теплообменниками. Они рассчитаны на различную продолжительность работы.



Их поочередное включение совместно с рекомендуемыми методами регулирования тепловой нагрузки позволяет покрывать все расчетные тепловые нагрузки ТЭЦ в течение года. На примере ГТУ ТЭЦ с ГТУ V 64.3 проведено исследование влияния количества ГТУ на эффективность использования топлива на отопительной ГТУ ТЭЦ. Результаты исследования представлены на рис. 10. Как видно из графика наибольшее приращение эффективности использования топлива происходит при переходе от схемы с двумя энергоблоками к схеме с тремя энергоблоками.

Выводы по работе:

1. В результате анализа большого количества исследований тепловой экономичности различных теплофикационных установок было установлено, что показатели тепловой экономичности не могут служить достаточным критерием эффективности использования топлива. На основании проведенного анализа можно сделать предположение о том, что причинно-следственная связь между показателями тепловой экономичности и собственно эффективностью использования топлива изучена недостаточно.

2. Показано, что эксергетический КПД является достаточным критерием эффективности использования топлива энергоустановкой. Поэтому сравнение энергоустановок по эксергетическому КПД в отличие от сравнения по показателям тепловой экономичности не требует приведения энергоустановок к одинаковой выработке тепловой и электрической энергии.

3. Затраты эксергии топлива ТЭЦ на производство тепловой энергии предложено определять как затраты эксергии в альтернативном источнике тепловой энергии для теплоснабжения потребителя (котельной, тепловом насосе, электрическом котле и т.п).

4. На базе разработанных методики определения показателей эффективности использования топлива на ТЭЦ и методики разделения расходов топлива на тепловую и электрическую энергии проанализированы аналитические зависимости показателей эффективности использования топлива обобщенной ПГУ ТЭЦ с котлом-утилизатором от эксергетических КПД элементов ПГУ ТЭЦ.

5. На основе предложенной методики определения годовых показателей эффективности использования топлива на ПГУ ТЭЦ проведен анализ эффективности и оптимизация бинарных ПГУ ТЭЦ с одним-, двумя-, и тремя- контурами генерации пара, с промперегревом пара и без него.

6. На базе определения годовых показателей ПГУ ТЭЦ с котлами-утилизаторами проведен анализ схемы собственных нужд и теплофикационной установки "Северо-Западной" ТЭЦ (г. Санкт – Петербург). Предложены варианты реконструкции этих схем, позволяющие существенно повысить эффективность использования топлива на станции.

7. На основе анализа эффективности использования топлива обобщенной тепловой схемы отопительной ГТУ ТЭЦ уточнены рекомендации по выбору методов регулирования тепловой нагрузки отопительной ГТУ ТЭЦ, выбору типоразмера и количества ГТУ.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1. Скляр Д. В., Лошкарёв В. А. Дожигание топлива в котлах-утилизаторах ПГУ. // V международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика": тез. докл. – М., 1999. – с. 289.
2. Скляр Д. В. Бурув В. Д. Исследование экономичности газотурбинной ТЭЦ на базе ГТУ "Tempest" (Alstom). // VI международная научно-

техническая конференция студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика": тез. докл. – М., 2000. – с. 168-169.

3. Скляр Д. В. Показатели эффективности ТЭЦ. // 3 – я научно практическая конференция "Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий": доклад. – СПб, Издательство СПбГПУ, 2003. – с. 235-241.
4. Скляр Д. В. Исследование эффективности газотурбинных и парогазовых ТЭЦ. // 3 – я научно практическая конференция "Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий": доклад. – СПб, Издательство СПбГТУ, 2003. – с. 230-235.

Лицензия ЛР № 020593 от 7.08.97

Подписано в печать 27.10.2003

Объем в п.л. 1,5

Тираж 100 экз.

Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного автором,
в типографии Издательства СПбГПУ
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.