

УДК 629.124.74

В.Т. Матвееenko

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ В СОСТАВЕ СУДОВОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрена возможность применения когенерационных ГТД с турбокомпрессорным утилизатором и регенерацией теплоты в судовом пропульсивном комплексе, имеющих эффективный КПД на уровне 44...46%, а теплотехнический КПД – 80%.

Введение

Развитие в Украине транзитных транспортных магистралей подтверждает введение морского нефтеперевалочного комплекса "Південний", который позволит функционировать Евро-Азиатскому нефтетранспортному коридору (ЕАНТК). Функционирование ЕАНТК предусматривает доставку нефти в порт "Южный" морским путем, то есть необходимость наличия нефтеналивных судов. Эту морскую транспортную операцию Украина может осуществить самостоятельно, если будет создан танкерный флот.

Судостроительная отрасль Украины способна создать такой флот, но необходимо отметить, что комплектация оборудования судового пропульсивного комплекса танкера вынуждена производиться, в основном, за счет экспортных поставок. Традиционно применяемые в качестве главных двигателей малооборотные и среднеоборотные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) в стране не производятся. Одновременно Украина располагает мощным промышленным потенциалом энергетического машиностроения и, в частности, газотурбостроения.

Постановка задачи

Газотурбинные двигатели (ГТД) достаточно широко применяются в составе корабельных пропульсивных комплексов, при этом ГТД обладают рядом технических достоинств, но для применения в судостроении необходимо выполнить одно из важнейших требований – повысить экономичность их работы. Для судовой энергетической установки (СЭУ) желательно не только повысить эффективный КПД главного двигателя, но и эффективно использовать теплоту топлива, израсходованного в установке.

Традиционно повысить экономичность газотурбинной установки (ГТУ) возможно за счет применения бинарного цикла, суть которого заключается в том, что энергия выхлопных газов ГТД используется в паротурбинном теплоутилизационном контуре. Установки такого типа называют газопаротурбинными установками (ГПТУ), они нашли применение в составе СЭУ [1], в частности, на судах типа "Капитан Смирнов", построенных

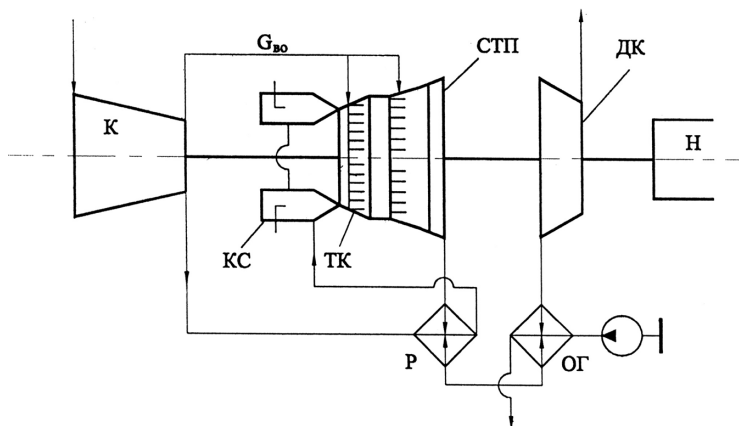


Рисунок 1 – Схема ГТД с ТКУ и регенерацией теплоты:

К – компрессор; КС – камера сгорания; ТК – турбина компрессора;
СТП – силовая турбина перерасширения; ДК – дожигатель; Н – нагрузка;
Р – регенератор; ОГ – охладитель газа; Н – нагрузка

на Черноморском судостроительном заводе (г. Николаев). Реально выполненные судовые ГПТУ достигли эффективного КПД, равного 41...43%. Однако нужно отметить, что они по своему термодинамическому циклу ГПТУ не позволяют в такой степени использовать энергию топлива, как это происходит в энергоустановках когенерационного типа.

Метод решения задачи

ГТД в комплексе с другими установками обладают уникальными свойствами эффективно использовать теплоту при сгорании топлива. Осуществить такую возможность позволяет усложнение цикла ГТД в сочетании с глубокой утилизацией теплоты выхлопных газов. Высокую энергетическую эффективность СЭУ можно обеспечить за счет применения ГТУ когенерационного типа, в которой используется турбокомпрессорный утилизатор (ТКУ) в сочетании с регенерацией (Р) теплоты для подогрева циклового воздуха перед камерой сгорания.

На рисунке 1 изображена схема ГТД с ТКУ и регенерацией теплоты. Силовая турбина заблокирована с турбиной перерасширения (ТП), в которой газ, расширяясь до давления ниже атмосферного, производит дополнительную работу, охлаждается сначала в регенераторе, затем в охладителе газа (ОГ) и дожигателем (ДК) выбрасывается в атмосферу.

В ГТД с ТКУ и Р глубокая утилизация теплоты выхлопных газов осуществляется тремя способами. Первый способ – это использование внутренней энергии газа в ТП, что позволяет получить, за вычетом затрат на дожимание газа, дополнительную полезную работу. Второй способ связан с процессом охлаждения газа после турбины перерасширения, при котором

часть отведенного тепла используется на подогрев (регенерацию) сжатого в компрессоре воздуха перед камерой сгорания. В-третьих, оставшуюся часть теплоты отбирает охладитель газа, который в когенерационной установке выполняет роль теплогенератора.

Результаты исследований

Теоретические и экспериментальные исследования на опытном газотурбогенераторе с ТКУ позволили определить характеристики элементов и ГТУ с ТКУ и Р в целом [2,3].

На рисунке 2 изображены характеристики цикла ГТД с ТКУ и регенерацией теплоты, представленные в зависимости от степени повышения давления π_k в компрессоре двигателя при степени регенерации $\sigma=0,8$ и начальной температуре газа $T_3=1473$ К. Степень повышения давления π_{dk} принята равной 2,25, как наиболее оптимальной для приведенных параметров цикла [3]. На этом же рисунке для сравнения приведены зависимости характеристик цикла для ГТД простого цикла с регенерацией теплоты.

При степени повышения давления $\pi_k=4\ldots 6$ внутренних КПД ГТД с ТКУ достигает значений $\eta_v=44\ldots 46\%$, что соответствует уровню КПД современных ДВС. Оптимальное значение $\pi_k=5$ позволяет применить од-

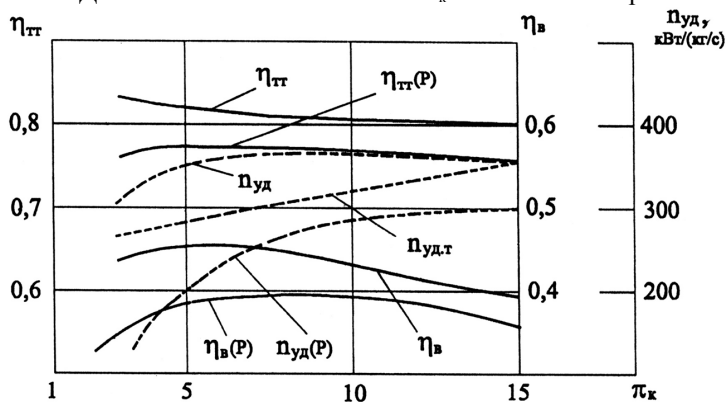


Рисунок 2 – Зависимости теплотехнического $\eta_{тг}$ и внутреннего КПД η_v , соответственно, удельных мощностей $\eta_{уд,т}$ и $\eta_{уд}$ для ГТД с ТКУ и Р от изменения π_k при $\sigma=0,80$, $\pi_{dk}=2,25$ и температуре газа $T_3=1473$ К

нокаскадный компрессор, унифицированный с компрессором низкого давления корабельного ГТД.

Необходимо отметить, что удельная мощность $\eta_{уд}$ ГТД с ТКУ и Р при оптимальных значениях π_k в 1,5...1,75 раз больше, чем в ГТД с Р, что положительно влияет на массогабаритные характеристики ГТУ, включающей в себя теплообменные аппараты.

ГТД с ТКУ и Р образует установку когенерационного типа, так как способен генерировать тепловую энергию, по мощности сопоставимую с эффективной мощностью двигателя. Для оценки характеристик ГТУ, имеющих в своем составе устройство для генерации тепловой энергии, применяют удельный показатель – теплотехнический (общий) КПД ($\eta_{\text{тг}}$), который показывает степень полезного использования располагаемой теплоты топлива, израсходованной на выработку механической и тепловой энергии.

На рисунке 2 также изображены зависимости теплотехнического КПД и удельной теплотификационной мощности $\eta_{\text{уд.т}}$ от π_k при $\sigma=0,8$. При оптимальных значениях π_k в ГТД с ТКУ и Р теплотехнический КПД достигает значений, больших 80%, что предопределяет высокую энергоэффективность установки.

Перспективы создания когенерационной ГТУ для СЭУ

Научные и прикладные разработки, выполненные в Севастопольском национальном техническом университете (СНТУ) по новому направлению когенерационной газотурбинной техники, позволили НПП "Машпроект" (г. Николаев) и СНТУ разработать проект (техпредложение) на создание когенерационного ГТД мощностью 10 МВт с турбокомпрессорным утилизатором и регенерацией теплоты.

Когенерационный ГТД с ТКУ и регенерацией теплоты мощностью 10 МВт, который изображен на рисунке 3, условно разделяется на газогенератор, силовой турбокомпрессорный агрегат (силовая турбина блокирована с ТКУ) и блок теплообменников (регенератор и газоохладитель). На рисунке 3 показана "кольцевая" компоновка ГТД с ТКУ и Р, которая оказалась более универсальной для применения как в составе судового пропульсивного комплекса, так и в составе газоперекачивающего агрегата (ГПА) морских стационарных платформ.

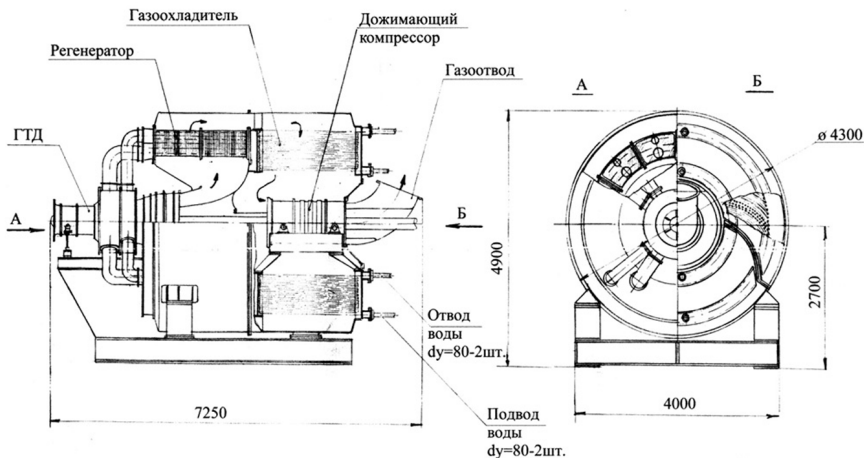


Рисунок 3 – Когенерационная ГТУ с ТКУ и регенерацией теплоты мощностью 10 МВт

Для ГПА также разработана компоновка ГТД с ТКУ и Р прямоточной конструкции по газу (с "плоскими" теплообменниками), которая более удобна для выполнения ремонтных работ и применения различных типов теплообменных матриц регенераторов. Основные характеристики когенерационного ГТД с ТКУ и регенерацией теплоты мощностью 10 МВт приведены в таблице 1.

В таблице 1 для сравнения приведены характеристики когенерационного ГТД простого цикла разработки НПП "Машпроект" (г. Николаев). Как видно из таблицы, применение ТКУ в ГТД с регенерацией теплоты увеличивает эффективный КПД ГТД с ТКУ и Р по сравнению с ГТД-10 простого цикла на 20% относительных.

Применение ГТД с ТКУ и Р в судовом пропульсивном комплексе рассмотрено в проекте судовой энергетической установки нефтеналивного судна [4]. В проекте выполнена модернизация СЭУ с целью применения ГТД с ТКУ и Р в качестве главного двигателя на танкере проекта 17012 разработки ЦКБ "Черноморсудопроект" (г. Николаев), строящегося на Черноморском судостроительном заводе.

Таблица 1 – Сравнительные данные основных параметров ГТД простого цикла, с регенерацией теплоты и с ТКУ и регенерацией теплоты

Наименование параметра	Значение параметра		
	ГТ Д-10	ГТД с Р	ГТД с ТКУ и Р
Мощность на фланце привода нагнетателя, МВт	10,0	10,0	10,0
Мощность тепловая, МВт	12,9	-	9,14
Температура газа перед турбиной, К	1456	1456	1456
Расход воздуха на входе в ГТД, кг/с	36,2	36,2	31,08
Степень повышения давления в компрессоре ГТД	19,5	8,0	5,0
Степень повышения давления в дожимающем компрессоре	-	-	2,2
Степень регенерации	-	0,8	0,8
Частота вращения силовой турбины, мин ⁻¹	6500	6500	6500
Эффективный КПД в условиях ISO, %	36,0	40,4	43,2
Теплотехнический КПД, %	76,9	-	80,3

На танкере заменен главный двигатель мощностью 10,4 МВт марки 6ДКРН 60/229-16 Брянского машиностроительного завода (Россия) на ГТД с ТКУ и Р мощностью 10 МВт, который вырабатывает теплоту (мощность 9,2 МВт), что позволило обойтись без вспомогательного котла КАВ 16/7 паропроизводительностью – 16 т/час.

Согласно технико-экономическому обоснованию для газотурбинного варианта СЭУ общий экономический эффект складывается в результате уменьшения инвестиционных затрат, которые меньше на 1334 тыс. долл., а

также эксплуатационных затрат, которые за 7 лет эксплуатации меньше на 1417 тыс. долл.

Выводы.

1. Разработано научно обоснованное новое направление создания когенерационных ГТУ с глубокой утилизацией теплоты с использованием турбокомпрессорных утилизаторов, применимых в судовом пропульсивном комплексе.
2. Промышленность Украины располагает мощностями и технологиями, необходимыми для производства ГТУ в качестве главных двигателей для судостроительной отрасли.

Библиографический список

1. Романов В.И. Перспективы развития судовых газотурбинных установок / В.И. Романов, В.Т. Лисов, А.А. Магин // Сб. трудов ВНТО им. акад. А.Н. Крылова. — Л., 1989. — Вып. 447. — С. 4–11.
2. Матвеев В.Т. Результаты исследования характеристик циклов судовых ГТД с турбиной перерасширения и регенерацией теплоты / В.Т. Матвеев, И.А. Киркин // Вестн. СевГТУ: Сб. науч. трудов. — Севастополь, 1998. — Вып. 15. — С. 103–105.
3. Матвеев В.Т. Результаты испытаний опытного когенерационного газотурбогенератора с турбокомпрессорным утилизатором / В.Т. Матвеев // Вісн. держ. ун-та "Львівська політехніка": Сер. Проблеми економії енергії. — Львів, 1999. — Вип. 2. — С. 22–25.
4. Судовая энергетическая установка танкера на базе ГТД с турбокомпрессорным утилизатором. Расчетно-пояснительная записка. 17012. ГТД-001. — Николаев, ЦКБ "Черноморсудопроект", 1999. — 27 с.

Поступила в редакцию 5.02.2003 г.