

5. Григоренко, А. Я. Об одном подходе к исследованию свободных колебаний цилиндрических оболочек переменной в круговом направлении толщины в уточненной постановке [Текст] / А.Я. Григоренко, Т.Л. Ефимова, Л.В. Соколова // Мат. методы та фіз.-мех. поля. – 2009. – Т. 52, № 3. – С. 103–115.
6. Grigorenko, A. Ya. Application of Spline-Approximation for Solving the Problems on Natural Vibration of Rectangular Plates of Variable Thickness [Текст] / А.Я. Grigorenko, Т.Л. Efimova // Int. Appl. Mech. – 2005. – Vol. 41. – P. 1161-1169.
7. Григоренко, Я.М. Методы расчета оболочек в 5 т. Т.4. Теория оболочек переменной жесткости [Текст] / Я.М. Григоренко, А.Т. Василенко. – К.: Наук. думка, 1981. – 543 с
8. Григоренко, Я.М. Численно-аналитическое решение задач механики оболочек на основе различных моделей [Текст] / Я.М. Григоренко, Г.Г. Влайков, А.Я. Григоренко.-К.: Академперіодика, 2006. – 472 с.
9. Ашкенази, Е.К. Анизотропия конструктивных материалов [Текст] / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1980. – 247с

УДК 621.438+621.311.22

СХЕМЫ ВЫСОКОЭКОНОМИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПГУ С ПЕРСПЕКТИВНЫМИ ГТУ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Наведено дані відносно передескізних проектів перспективних енергетичних ПГУ на основі ГТУ великої потужності, у тому числі ГТД-110, виконаних згідно бінарної схеми та схемам газотурбінних надбудов. Розроблено технічні пропозиції щодо теплових й механічних схем потужних енергетичних ГТУ та ПГУ на їх основі з ККД 62...63 %

Ключові слова: енергетичні й теплові установки, ПГУ, ГТУ, потужність, механічні схеми

Приведены данные предэскизных проектов перспективных энергетических ПГУ на основе ГТУ большой мощности, в том числе ГТД-110, выполненных по бинарной схеме и по схемам газотурбинных надстроек. Разработаны технические предложения для тепловых и механических схем мощных энергетических ГТУ и ПГУ на их основе с КПД 62...63 %

Ключевые слова: энергетические и тепловые установки, ПГУ, ГТУ, мощность, механические схемы

В. Е. Михайлов

Доктор технических наук, генеральный директор*

Л. А. Хоменок

Доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора*

П. А. Ермолаев

Заведующий лабораторией парогазовых установок*

А. Н. Кохонов

Инженер-конструктор

*ОАО НПО ЦКТИ

ул. Атаманская, 3/6, Санкт-Петербург, Россия, 191167

E-mail: general@ckti.ru

1. Введение

Данные разработки относятся к области энергетического машиностроения, в частности к созданию газотурбинных и парогазовых установок (ГТУ и ПГУ).

В настоящее время необходимо определить рациональный облик перспективных ПГУ на основе отечественных ГТУ большой мощности, сформировать основные технические требования к таким ПГУ, включая требования высокой экономической эффективности электрогенерации, расширения регулировочного диапазона и улучшения экологических показателей.

Основной проблемой является создание перспективной отечественной ПГУ большой мощности, наиболее быстрореализуемым проектом которой будет ПГУ на основе серийно выпускаемой газотурбинной

установки ГТД-110. Этот ГТД, при его модернизации и повышении технико-экономических показателей позволит получить экономичность новой ПГУ на уровне 58...60 % и современный уровень экологической безопасности.

2. Основная часть

Для решения этих задач в ОАО «НПО ЦКТИ» в 2012 году был выполнен комплекс из двух НИОКР, направленных на разработку базовых технологий, материалов и оборудования для ПГУ на базе ГТУ большой мощности, выполненный по заказу ОАО «НПО Сатурн» на основании Государственного контракта.

В первой работе были выполнены проработки схем ПГУ, в том числе одновальной моноблочной ПГУ-170 и ПГУ, выполненных по схемам газотурбинных надстроек, а именно: со сбросом газов в низконапорный парогенератор (ПГУ с НПП), с подогревом конденсата в газоводяных подогревателях ГТУ (ПГУ с вытеснением регенеративного подогрева паровой турбины (РППВ)), с выработкой пара в котле-утилизаторе (КУ) ГТУ (параллельная схема) на базе ГТД-110 ОАО «НПО Сатурн».

Во второй работе были выполнены разработки схем ПГУ с использованием ГТЭ-140, представляющей собой модернизацию ГТД-110, выполненную ОАО «НПО Сатурн», а также новых перспективных ГТУ большой мощности класса 300 МВт, предложение по которым разработано ОАО ЛМЗ и ММПП «Салют».

В этих работах выполнены разработка и уточнение проектов технических заданий на создание перспективных ПГУ и ГТУ с учетом конкретизированных характеристик, указанных выше перспективных ГТУ большой мощности класса 200...300 МВт.

3. Выводы

1. Разработано техническое задание на создание перспективных ПГУ и ГТУ

2. Выполнены предэскизные проекты по одновальной моноблоку ПГУ единичной мощностью 170 МВт и парогазовой установки схеме газотурбинной надстройки с использованием ГТД-110.

Предлагаемый блок ПГУ-170 при использовании схемы трех давлений с промперегревом характеризуется высоким КПД (до 54 %), что соответствует мировому уровню для этого класса мощности. Этот блок сформирован полностью из отечественного оборудования может стать одним из основных типоразмеров для перевооружения энергетики России.

3. Энергетические ГТУ, создаваемые по простой тепловой и механической схемам и ПГУ на их базе к настоящему времени достигли предела в повышении тепловой экономичности (КПД 40 и 60% соответственно) за счет повышения температуры газа перед турбиной.

4. Дальнейшее повышение тепловой экономичности энергетических ГТУ большой мощности и бинарных ПГУ на их базе должно быть связано:

- переходом к усложненным тепловым и механическим схемам ГТУ:
 - для автономных ГТУ к тепловой схеме с промхлаждением при сжатии и двухвальной блокированной механической схеме;
 - для ГТУ предназначенных для работы в составе бинарных ПГУ к тепловой схеме с промхлаждением при сжатии и промперегревом при расширении, а также двухвальной блокированной механической схеме.
- переходом к паровому охлаждению лопаточных аппаратов газовой турбины, в том числе по замкнутой схеме;
- переходом к сверхкритическим и суперсверхкритическим параметрам пара в контуре высокого давления паровой части утилизационной (бинарной) ПГУ.

5. В российской энергетике для работы в составе ПГУ большой мощности имеются следующие ГТУ: ГТД-110 ОАО «НПО Сатурн» (лицензия ОАО «НПО Машпроект»), ГТЭ-140 ОАО «НПО Сатурн» (проект), SGT5-2000F СТГТ (лицензия Siemens), SGT5-4000F СТГТ (лицензия Siemens – проект освоения), ГТД-350 ММПП «Салют» (проект - техническое предложение)

6. Наибольшей тепловой экономичностью обладают бинарные схемы ПГУ с паротурбинной частью трех давлений с промперегревом пара и максимальной интеграцией газотурбинного и паротурбинного циклов, по которым создаются все современные мощные ПГУ зарубежного производства.

7. При создании бинарных ПГУ по таким схемам на базе перспективных отечественных ГТУ возможно достижение следующих показателей экономичности и мощности (брутто):

- с ГТЭ-140: КПД ПГУ до 54%, мощность моноблока до 205 МВт;
- с ГТЭ SGT5-4000F: КПД ПГУ до 59,2%, мощность моноблока до 419 МВт;
- с ГТД-350: КПД ПГУ до 60,8%, мощность моноблока до 500 МВт.

Существующие ПГУ на базе ГТД-110 и SGT5-2000F (ГТЭ-160) с паровыми частями двух давлений без промперегрева имеют КПД 51...52 % в конденсационном режиме.

Таким образом, существующие и перспективные ГТУ отечественного производства не могут обеспечить создание ПГУ с КПД 62...63 %

8. Для достижения уровня КПД ПГУ 62...63 % необходимо использование новых перспективных технических решений обеспечивающих:

- повышение КПД ГТУ до 45,2 % при температуре уходящих газов равной 577...580°C;
- повышение КПД ПГУ на 1,5...2,0% абсолютных за счет применения технологий парового охлаждения с использованием тепла снятого в системе охлаждения ГТУ в паровом цикле ПГУ по аналогии с технологией «Н» фирмы General Electric;
- повышение КПД парового утилизационного контура бинарной ПГУ до 34...35 % за счет перехода на сверхкритические и суперсверхкритические параметры пара (до 610...620°C) в контуре высокого давления схемы трех давлений с промперегревом.

9. Рассмотрено решение, связанное с повышением КПД ГТУ за счет перехода к тепловой схеме с промхлаждением и промперегревом и механической двухвальной блокированной схеме с выделенным блоком ВД.

Такая ГТУ при создании на базе ГТД-350 ММПП «Салют» при температуре газа перед турбинами до 1500°C при степени повышения давления около 50 может иметь КПД ~ 44% и удельную работу ~ 0,63 МВт/кг/с при температуре уходящих газов 574°C. Мощность ГТУ при расходе воздуха 750 кг/с – 472 МВт. Бинарная ПГУ с паровой частью трех давлений с промперегревом пара будет иметь КПД до 61,95 % (брутто).

10. Для работы в автономном режиме в качестве пиковой энергоустановки предлагается вариант такой ГТУ по схеме без промперегрева, но с промхлаждением и также в двухвальной блокированном исполнении с

выделенным валом блока высокого давления. При температуре перед турбиной 1500°C и общей степени сжатия ~ 50 ГТУ будет иметь КПД $\geq 46\%$ и мощность ~ 365 МВт.

11. Разработаны требования к маневренности бинарных ПГУ большой мощности.

12. Разработаны технические условия на паротурбинную установку для бинарной ПГУ большой мощности и технические требования к турбогенераторам ГТУ и ПТ в составе ПГУ.

Описано засіб модулювання процесів в газотурбінному двигуні. Викладено принцип побудови і структура поелементної стаціонарної математичної моделі одновального газотурбінного двигуна Д045. Модель дозволяє вирішувати різноманітні задачі, пов'язані з розрахунком статичних характеристик ГТД у широкому діапазоні зміння зовнішніх умов та режимів роботи ГТД, виникаючі у процесі проектування та доводки газотурбінного двигуна

Ключові слова: математична модель, характеристики вузлів, ГТД

Описан способ моделирования процессов в газотурбинном двигателе. Изложен принцип построения и структура поэлементной математической модели одновального газотурбинного двигателя Д045. Модель позволяет решать различные задачи, связанные с расчетом статических характеристик ГТД в широком диапазоне изменения внешних условий и режимов работы, возникающие в процессе проектирования и доводки газотурбинного двигателя

Ключевые слова: математическая модель, характеристики узлов, ГТД

УДК 621.438.001.573

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДНОВАЛЬНОГО ГТД Д045

В. Н. Чобенко

Кандидат технических наук,
Заместитель генерального конструктора — начальник
конструкторского отделения*
E-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua

Р. В. Палиенко

Ведущий инженер—конструктор, руководитель группы
расчётных статических характеристик ГТУ
Отдел расчетно-экспериментальных характеристик и
регулирования ГТД*
E-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua

А. Л. Лютиков

Инженер—конструктор II категории группы расчётных
статических характеристик ГТУ
Отдел расчетно-экспериментальных характеристик и
регулирования ГТД*
E-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua

*ГП Научно-производственный комплекс
газотурбостроения «Зоря»-«Машпроект»
пр. Октябрьский, 42а, г. Николаев, Украина, 54018

1. Введение

Создание современного высокоэффективного ГТД невозможно без широкого использования математического моделирования и расчетных экспериментов. Применение математических моделей (ММ) позволяет значительно сократить затраты на поиск оптимального решения как в процессе проектирования двигателя, так и в процессе его доводки. При этом уровень математических моделей во многом определяет круг задач, которые могут быть решены с их использованием.

На ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» при расчете статических характеристик и доводке параметров ГТД широко применяется нелинейная ММ с детализацией расчета турбинного тракта до уровня лопаточных венцов [1, 2]. Эта ММ подтвердила эффективность своего применения при проектировании и доводке двигате-

лей типа М70, М80 и М90. Данная ММ разрабатывалась как универсальная — с возможностью моделирования схем ГТД с количеством каскадов компрессора до 5 и количеством ступеней турбин до 11. Первоначально модель создавалась для расчета характеристик многовальных ГТД со свободной силовой турбиной. В процессе создания в ГП НПКГ одновальных энергетических ГТД возникла необходимость адаптации ММ для расчета параметров таких двигателей.

2. Объект моделирования

Объектом моделирования является одновальный ГТД Д045 (рис. 1), используемый в составе газотурбинной установки ГТЭ-60А.