

Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – № 34. – 133с.

В збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ в галузі машинобудування, металорізального обладнання, оснащення та засобів автоматизації.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий в области технологии машиностроения, металлорежущего оборудования, оснастки и средств автоматизации.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ»
Протокол № 7 від «4» липня 2008 р.**

© Національний технічний університет «ХПІ»

УДК 621.438.004.15

В.Е. СПИЦЫН, А.Л. БОЦУЛА, Д.Н. СОЛОМОНЮК, В.Н. ЧОБЕНКО

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ГАЗОТУРБИНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ГПА

Main features of a new high-performance 16 MW recuperative gas turbine for developing of new gas-compressor units and for compressor stations modernization are presented.

ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» накоплен огромный опыт создания ГТУ для привода компрессоров природного газа. В настоящее время в эксплуатации на компрессорных станциях находится около 800 газотурбинных установок нашего производства. Предприятие продолжает активно работать в направлении совершенствования существующих и создания перспективных ГТУ для ГПА.

Модернизация существующей газотранспортной системы и строительство новых газопроводов должно базироваться на использовании высокоэффективных приводов компрессоров природного газа. В настоящее время газотурбинный привод является основным типом привода в газоперекачивающих агрегатах (ГПА), что определяет важность задачи повышения эффективности и надежности газотурбинных установок (ГТУ). Основными требованиями, предъявляемыми сегодня к перспективной газотурбинной установке, являются [1, 2]:

- высокая экономичность;
- низкая эмиссия NO_x (менее 50 мг/нм^3);
- сохранение номинальной мощности при повышении температуры воздуха на входе в ГТД до 25°C ;
- расширенный диапазон рабочих режимов (максимальная мощность – 120%, минимальная мощность: для линейных КС – 50%, ДКС, КС ПХГ – 30%);
- большой общий ресурс ($120\div 150$ тыс. ч.) с ресурсом до капитального ремонта $40\div 50$ тыс. ч.;
- наработка на отказ не менее 3500 ч. с последующим увеличением до 10 тыс. ч.;
- простота и удобство обслуживания, возможность ремонта в условиях компрессорной станции;
- модульность конструкции;
- невысокая стоимость.

Результаты расчетно-аналитических исследований, проведенных в НПКГ, показывают, что на сегодняшний день для создания высокоэффективного и надежного газотурбинного привода наиболее целесообразно использовать схему с регенерацией тепла уходящих газов.

Такая схема позволяет при невысоких значениях степени повышения давления в компрессоре и температуры газа на входе в турбину получить приемлемые значения экономичности. Вопросы создания регенеративных ГТУ рассматриваются всеми ведущими производителями газотурбинных двигателей (ГТД). В качестве примеров таких установок, реализованных в последнее время, можно привести Mercury 50 (Solar) и WR21 (Westinghouse-Rolls-Royce). На российском рынке предлагаются проекты создания регенеративных установок, т.н. сухого «бинарного» цикла (ГТУ-27ПС (ОАО «Авиадвигатель»)) и «Надежда» ОАО «Невский завод».

Научно-исследовательские работы по созданию регенеративного ГТД ведутся в ЦНИОКР «Машпроект» с 1990 года. Основную сложность представляет создание высокоэффективного и надежного регенератора, имеющего приемлемые массогабаритные и стоимостные показатели. Проектные работы были сосредоточены на создании регенератора пластинчатого типа, работающего по противоточной схеме. Разработаны и испытаны два варианта пластинчатых регенераторов со степенью регенерации 0,8: прямоугольный противоточный пакет и кольцевой перекрестноточный пакет. Проведены испытания пластинчатого регенератора прямоугольной конструкции, подтвердившие его проектные характеристики.

Требования по надежности, низкой стоимости и ресурсу, предъявляемые к газотурбинным приводам компрессоров природного газа, определяют диапазон значений температур газа на входе в турбину от 900 до 1100°С, при которых эти требования могут быть выполнены [3-5]. Расчетные оценки показывают, что при повышении температуры газа на входе в турбину выше 950°С необходимо вводить охлаждение рабочих лопаток турбины, что приводит к уменьшению КПД турбины и темпов увеличения КПД ГТД в целом. Эффект от повышения температуры газа на входе в турбину становится значимым только при температурах выше 1100°С. С другой стороны выбор температуры газа на входе в турбину связан с принятым значением степени повышения давления в компрессоре, как с точки зрения оптимизации параметров цикла и получения максимальной эффективности, так и для определения конструктивных решений, обеспечивающих высокую надежность двигателя при приемлемых затратах. Так, для повышения надежности и удешевления регенератора целесообразно получить температуру газа на выходе из турбины менее 600°С, что позволит применить в регенераторе нелегированные стали.

Основные расчетные параметры ГТУ при стандартных атмосферных условиях:

- мощность на выходном валу ГТД, МВт	16;
- КПД ГТД, %	40,8;
- расход воздуха на входе в ГТД, кг/с	78,7;
- степень повышения давления в компрессоре	5;

- степень регенерации	0,85;
- температура газа на входе в турбину, °С	950;
- температура газа на выходе из турбины, °С	582;
- температура газа на выходе из регенератора, °С	290.

Продольный разрез ГТД приведен на рис.1.

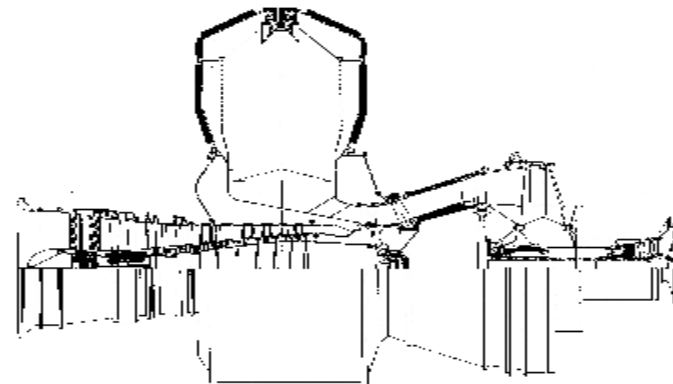


Рис. 1 – Продольный разрез ГТД

В качестве компрессора в новой ГТУ предполагается использовать компрессор низкого давления ГТД ДН80Л, имеющий достаточно высокий КПД, приемлемые газодинамические характеристики и положительный опыт использования на серийно выпускаемых двигателях.

Низкие уровни выбросов вредных веществ предполагается обеспечить за счет использования выносной многозонной камеры сгорания с регулированием по топливу и по воздуху. Такая конструкция камеры сгорания также позволяет обеспечить хорошую ремонтопригодность.

Использование одноступенчатой силовой турбины создает хорошие условия для применения регулируемого соплового аппарата (РСА), позволяющего повысить экономичность работы ГТУ на частичных режимах и уменьшить величину снижения мощности при повышении температуры воздуха на входе в ГТД. Консольная конструкция силовой турбины позволяет разделить модули газогенератора и силовой турбины и обеспечивает возможность замены газогенератора или силовой турбины в условиях компрессорной станции.

Предполагается создание модификаций ГТД с номинальными частотами вращения ротора силовой турбины 5300 и 6800 об/мин, обоих направлений вращения, что обеспечит их применение в газоперекачивающих агрегатах с

различными современными и перспективными компрессорами (нагнетателями) природного газа, оснащёнными высокоэффективными СПЧ.

Проработаны два варианта конструкции регенератора – цилиндрический и котельного типа. Оба варианта выполнены по схеме с многократным перекрестным током и обеспечивают требуемое значение степени регенерации (0,85) при суммарных потерях полного давления рабочего тела ~5,5%, из которых 4% приходится на сам теплообменник, а 1,5% на трубы подвода-отвода теплоносителей. Рациональное проектирование регенератора и оптимизация геометрических характеристик пакетов позволяют достичь существенного снижения массы и габаритов теплообменника. Так, уменьшение размеров и гидравлических сопротивлений подводящих и отводящих воздухопроводов достигается за счет использования регенератора, состоящего из нескольких секций, подключенных параллельно по воздуху.

Результаты конструктивных проработок и оптимизационных расчетов показали, что более эффективно применение регенератора "котельного" типа, поверхность теплообмена которого набрана из плоских змеевиков. Змеевики скомпонованы в прямоугольном коробе, который является частью газохода. Газ обтекает трубки снаружи, воздух течет внутри трубок и подводится (отводится) по цилиндрическим коллекторам. Схема движения теплоносителей - многократный перекрестный ток с общим противотоком. Воздух совершает 6 ходов, газ – 1 ход. Результаты предварительных проработок показывают, что масса регенератора составляет ~95 т, из которых 60 т приходится на трубный пакет. Такая конструкция позволяет освоить производство регенераторов без значительных предварительных затрат, связанных с технологической подготовкой.

Высокая надёжность (в первую очередь – долговечность) и эффективность создаваемой ГТУ должна обеспечиваться конструктивными решениями, основанными на максимальном использовании отработанных в производстве и проверенных в эксплуатации элементов и узлов двигателя.

Список литературы: 1. Щуровский В.А. Состояние и перспективы применения газотурбинных и компрессорных технологий //Газовая промышленность, № 2, 2003. С. 41-44. 2. Щуровский В.А. Основные направления развития газоперекачивающей техники //Газотурбинные технологии, № 6, 2007. С. 38-39. 3. Барский И.А., Иванов А.К. и др. Выбор температуры газа перед турбиной ГТУ КС //Газовая промышленность, № 2, 1999. С. 51-52. 4. Орберг А.Н., Сударев В.Б. и др. Прогноз начальной температуры газа газотурбинного привода ГПА //Газовая промышленность, № 5, 2005. С. 62-65. 5. Микаэлян Э.А. Совершенствование современных газотурбинных ГПА //Газовая промышленность, № 2, 2005. С. 64-67.

Поступила в редколлегию 15.05.2008

УДК 629.7.036.3.001

*И.Е. АННОПОЛЬСКАЯ, В.А. КОВАЛЬ, В.В. РОМАНОВ,
А.А. ТАРЕЛИН*

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОДНОВАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ГТЭ-45(60А)

The new approach, statement and methods of implementation of a problem of identification of parameters and characteristics of mathematical models of various circuit design of the power gas-turbine engine on experimental data is observed. The problem is solved in uniform informational space by means of modern mathematical methods of search of an optimum.

В процессе создания газотурбинных двигателей (ГТД) различного применения используется большое число математических моделей (ММ), с той или иной степенью точности отражающих процессы, реализующие функционирование объекта.

Как правило, рассчитанные по этим моделям параметры, отличаются от параметров, полученных на реальном двигателе. Поэтому для успешного решения всего многообразия задач, возникающих в процессе создания и эксплуатации ГТД, необходимо иметь адекватную ММ двигателя. Для этого существует два пути:

- повышение уровня сложности ММ, т.е. более тщательное исследование и математическое описание особенностей физических процессов и взаимосвязей в объекте моделирования;
- идентификация с экспериментальными данными.

Первый путь предполагает потребность значительных вычислительных ресурсов и, как правило, не отражает особенностей, характерных для конкретно проектируемых и создаваемых изделий, что, в конечном счете, приводит к расхождению расчетных и действительных параметров двигателя.

Более технологичным и перспективным является второй путь – идентификация математической модели по результатам испытаний двигателя. При этом коррекция параметров осуществляется их вариацией, и уточнение ММ достигается только за счет изменения этих величин, без увеличения ее сложности. Это является большим преимуществом, т.к. фактически автоматизирует расчетные работы при доводке двигателя и регламентирует их последовательность.

Учитывая вышесказанное, представляется актуальным переход от математического моделирования и автоматизации проектирования отдельных элементов энергоустановок к созданию интегрированных сред (систем), позволяющих в едином комплексе решать задачи многоцелевой и многоуровневой оптимизации параметров и характеристик, а также их идентификации (получения адекватных математических моделей) по