



Рис. 5. Структурная схема измерителя расхода

Список литературы

- Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. М., Энергия. 1977. 703 с.
- Справочник. Интегральные микросхемы. Операционные усилители. Том 1. М. ВО "Наука". 1993. 238 с.
- Щепетов А.Г. Автоматизация расчетов в среде Mathcad. М. МГАПИ. 2001. 238 с.

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ НА БАЗЕ АВИАЦИОННЫХ ТРД

Емин О.Н., Кузменко М.Л., Рыбаков В.В., Савенко А.В.

Московский авиационный институт, г. Москва,

Рыбинская государственная авиационная
технологическая академия (РГАТА), ОАО НПО «Сатурн» г. Рыбинск

Использование авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), опыта их проектирования и создания, как и производственных мощностей отечественного авиадвигателестроения для создания наземных

энергоустановок убедительно показало свою целесообразность и поэтому приобрело в последние годы широкое распространение.

При этом конверсия авиационных двигателей, особенно на первом этапе её развития, шла в основном в направлении использования их для создания газоперекачивающих агрегатов (ГПА) в трубопроводных газотранспортных системах (ГТС). [2, 3, 7, 8, 12]

Так, например, в наиболее развитой российской ГТС «Тюменьтрансгаз» к началу 2003 года из 1137 установленных и функционирующих ГПА – в 410 агрегатах для привода центробежных нагнетателей использовались конвертированные авиационные двигатели.

Вместе с тем, как показали обширные исследования проведённые рядом организаций и предприятий не менее целесообразным оказывается использование авиационных ГТД для привода электрогенераторов с последующей утилизацией тепла выхлопных газов например в водогрейном котле, то есть для создания автономных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) малой и средней мощности. [6, 9, 10, 11]

Такие мини-ТЭЦ оказываются наиболее целесообразными для использования в отдалённых районах, например в районах первоначального освоения залежей полезных ископаемых и по трассе газоперекачивающих и нефтеперекачивающих систем.

Поэтому в настоящее время определённый интерес может представлять создание и использование полностью комплексированных газотурбинных энергоустановок (КГТУ), для одновременной выработки в едином, но двухвальном (двухоборотном) агрегате механической энергии как для привода, например, компрессора газоперекачки (с частотой вращения $n_{ГПА} = 5000 - 6000$ об/мин), так и для привода электрогенератора (с частотой вращения $n_{ЭГ} = 3000$ об/мин). При этом предполагается, что электроэнергия и тепло полученное при утилизации теплоты выхлопных газов будут использоваться как для собственных нужд газоперекачивающих станций, так и для реализации «на сторону» для обслуживания близлежащих к трассе газоперекачки населённых пунктов.

Использование авиационных ГТД для создания наземных энергоустановок представляется в настоящее время весьма целесообразным, ещё и потому, что эти двигатели, особенно гражданского назначения выпускаются в больших количествах, а многообразие их схем и параметров допускает различные переделки в соответствии с запросом потребителей.

Одной из возможных схем для создания КГТУ является схема с «подрезанным» компрессором низкого давления (КНД или вентилятора), то есть превращением исходного ТРДД в одноконтурный с сохранением исходной степени повышения давления, а следовательно и возможности получения повышенных значений эффективного к.п.д.

По такому принципу созданы такие наземные ГТУ как АЛ – 31СТ на базе ТРДД АЛ – 31Ф, ГТД12РМ на базе ТРДД Д – 30КП/КУ и ряд

других, то есть принцип «подрезки» КНД представляется в настоящее время достаточно отработанным. Вместе с тем как показали исследования проведённые в МАИ использование «подрезки» КНД даёт возможность создания полностью комплексированных наземных энергоустановок. При этом как показали предварительные расчётные исследования наиболее целесообразным для создания КГТУ оказываются двухконтурные двигатели ТРДД повышенной и большой степени двухконтурности.

Схема такой установки для комплексной выработки механической энергии для привода ГПА и электрогенератора (ЭГ) с последующей выработкой тепла производственного и бытового назначения показана на рис.1.

Здесь изображён исходный ТРДД (обычно выполняемый по двухвальной схеме, хотя принципиально возможно и использование иных схем) с «подрезанной» верхней частью компрессора низкого давления (КНД).

При сохранении неизменной «родной» турбины низкого давления (ТНД) её «избыточная» мощность, ранее затрачиваемая на привод верхней («подрезанной») части КНД, будет теперь использоваться для привода газоперекачивающего агрегата (ГПА).

Повышенное давление после ТНД ранее сбрасываемое в реактивном сопле (иногда после камеры смешения) будет теперь сбрасываться в свободной турбине (ТСв), а её мощность использоваться для привода электрогенератора (ЭГ).

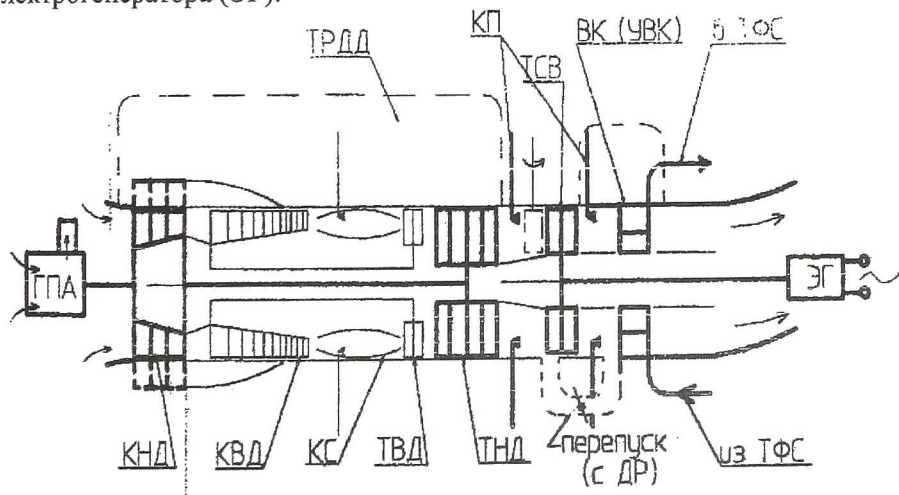


Рис. 1. Схема энергоустановки на базе ТРДД Д – 30КП/КУ с «подрезанным» КНД

Сравнительно тихоходная ($n_{\text{тсв}} = n_{\text{эг}} = 3000$ об/мин) свободная турбина допускает реализацию дополнительного подогрева рабочего тела в расположенной перед ней камере подогрева (КП), для форсирования в случае необходимости свободной турбины по мощности.

Такое регулирование мощности затрачиваемой на вращение электрогенератора, в случаях когда мощность затрачиваемая на привод ГПА остаётся неизменной, то есть исходный ТРДД остаётся в рабочей точке своей характеристики возможно при использовании двух основных способов её регулирования. [6]

В случае если свободная турбина рассчитывается для случая, когда дополнительный подогрев отсутствует, то есть при дополнительном подогреве поддержание неизменным режима работы исходного ТРДД, потребует перепуска части газов в обход свободной турбины, причём этот перепуск должен быть регулируемым с помощью дроссельного устройства (ДР). Такой случай можно называть использованием «холодной» свободной турбины.

В случае использования «горячей» свободной турбины — когда она рассчитывается на максимальный подогрев перед нею, при уменьшении подогрева очевидно следует прикрывать (уменьшать) проходные сечения, то есть например уменьшать угол установки лопаток соплового аппарата первой ступени свободной турбины (как показано на рис.1).

Разумеется, возможен и комбинированный способ регулирования (перепуск и поворот СА), как и раскрытие соплового аппарата взамен перепуска, хотя создание поворотного СА до настоящего времени представляется сложной технической задачей.

После свободной турбины может быть установлен водогрейный котёл (ВК) с дополнительным подогревом газов на входе в котёл, или более простой утилизирующий водогрейный котёл, когда подогрев перед ним не целесообразен.

Вода нагретая в водогрейном котле будет поступать, например, в теплофикационную сеть (ТФС) и при реализации замкнутой схемы возвращаться на вход в водяной тракт водогрейного котла (из ТФС).

В качестве примера был проведён первичный анализ возможностей создания такой КГТУ на базе авиационных ТРДД семейства Д-30 КП/КУ.

Целесообразность использования именно этих двигателей объясняется как тем, что их выпущено промышленностью почти 10000 штук, так и тем, что к настоящему времени накоплен значительный опыт по их переделке для использования в наземных энергоустановках и организации плановых ремонтов и межремонтной эксплуатации.

Основные данные ТРДД семейства Д-30 КП/КУ приведены в справочнике. ТРДД семейства Д-30 КП/КУ [4].

Двухвальный ТРДД семейства Д-30 КП/КУ имеет трёхступенчатый компрессор низкого давления, вращаемый четырёхступенчатой турбиной низкого давления и одиннадцатиступенчатый компрессор высокого давления. Камера сгорания трубчато-кольцевая с 12-ю жаровыми трубами. Основные параметры двигателя на номинальном режиме (для одной из серий двигателя этого семейства):

расход воздуха – 269 кг/с;

степень двухконтурности – 2,42;

температура газа на входе в турбину – 1385 К;

степень повышения давления в КНД – 2,0;

степень повышения давления в КВД – 8,7.

Двигатели используются на самолётах Ту-154М, Ил-76, Ил-62 с ресурсом до 21000 часов и используются в ряде наземных энергоустановок.

При этом до последнего времени при использовании двигателей Д-30 КП/КУ наиболее целесообразным считались две схемы: первая — с демонтажем компрессора низкого давления и использованием «родной» четырёхступенчатой турбины низкого давления в качестве силовой (ГТД-6РМ и ГТД-8РМ) [1], и вторая — с «подрезкой» компрессора низкого давления (ГТД-12РМ) [7]. В этом, последнем случае, оказалось необходимым создание новой турбины низкого давления (одноступенчатой) и создание шестиступенчатой силовой турбины с пониженным значением частоты вращения для привода электрогенератора с $n=3000$ об/мин. Заметим для справки, что в работах, ранее проведенных в МАИ, рассматривалась также и третья схема с использованием «полного» двигателя с силовой турбиной после камеры смешения с возможным подогревом перед ней, и перед водогрейным котлом, но практического применения она пока не нашла.

В соответствии с предложенной схемой создания КГТУ предварительно рассмотрена схема полностью комплексированной энергоустановки также с «подрезкой» компрессора низкого давления, но с «родными» турбинами высокого и низкого давлений с реализацией избыточной мощности ТНД для привода компрессора газоперекачки с двухступенчатой свободной турбиной для привода электрогенератора, с последующей утилизацией тепла в водогрейном котле, как показано на рис.1.

При создании такой многофункциональной энергоустановки полностью комплексированной энергостанции (КЭС) на базе двигателей Д-30КУ/КП на номинальном режиме оказалось возможным получить следующие значения её основных параметров: мощности для привода компрессора газоперекачки и электрогенератора соответственно 14,4 МВт и 11,4 МВт, то есть суммарный энергетический к.п.д. установки – 42%, что при тепловой мощности котла-утилизатора – 25,9 МВт обеспечивает значение коэффициента использования тепла равно – 85%.

Аналогичные расчёты проведены для двигателя АЛ–31 с расчётной степенью двухконтурности равной 0,57 показали, что при этом имеет место существенное перераспределение мощностей между приводом компрессора газоперекачки (с вала одноступенчатой турбины низкого давления) и свободной турбиной соответственно 6,15 МВт и 23,3 МВт при тепловой мощности котла утилизатора равной 34,1 МВт.

Соответственно при использовании двигателя ПС–90 с расчётной степенью двухконтурности равной 4,5 эти мощности получаются равными 19,73 МВт и 4,16 МВт (на свободной турбине) при тепловой мощности 38,9 МВт. И это при полном сохранении «горячей» части исходного ТРДД.

Таким образом проведённое исследование показало, что используя ТРДД различной степени двухконтурности можно создавать наземные КГТУ с требуемым соотношением мощностей на выходных валах при высоком значении эффективного к.п.д. в диапазоне 34–42% и коэффициентом использования тепла в диапазоне 85–90%.

Список литературы

1. Буров Н., Конюхов Г., Лютиков А. Создание энергетических установок на базе авиационных двигателей Д-30КУ/КП // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 6 (9). – с.
2. Гриценко Е.А. Направление конверсионных разработок ОАО «СНТК им. Н.Д.Кузнецова для ТЭК // Конверсия в машиностроении. – 1999. – № 6. – с.55 – 60.
3. Гуров В.И., Барщанский В.М. Основные направления конверсионных разработок ЦИАМ // Конверсия в машиностроении. – 2000. – № 5 – с. 115 – 118.
4. Двигатели 1944 – 2000; авиационные, ракетные, морские, наземные. – Москва, ООО «АКС–Конверсant», 2000.
5. Емин О.Н. Использование авиационных ГТД для создания комбинированных установок стационарного и транспортного назначения : Учебное пособие. – М.: МАИ, 1998.
6. Емин О.Н., Вовк М.Ю., Поветкин Д.А. Авиационные двигатели в стационарных и транспортных энергоустановках XXI века // Конверсия в машиностроении. – 2000. – № 6 – с. 46 – 51.
7. Кузменко М.Л. Заказчику готовый продукт -- газотурбинный агрегат // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 6 (9). – с. 5.
8. Марчуков Е.Ю. Конверсия высокотемпературного авиационного двигателя. – Москва, РИА, 1998.
9. Ольховский Г.Г., Тумановский А.Г. Перспективы совершенствования тепловых электростанций // Электрические станции. – 2000. – № 2. – с. 63.
10. Скибин В.А., Солоник В.И., Цховребов М.М. Перспективы авиационных двигателей в развитии транспорта и энергетики // Конверсия в машиностроении. – 1999. – № 2. – с.28 – 35.
11. Фаворский О.Н. Малые ГТУ–ТЭУ реальная основа местного энергообеспечения и эффективной конверсии авиадвигателестроения // Конверсия в машиностроении. – 2000. – № 5 – с. 155 – 109.
12. Щуровский В.А. Новое поколение ГТУ для магистральных газопроводов // Газотурбинные технологии. – 1999.