

УДК 536.8:621.438

ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ПУТЕМ КОНВЕРСИИ ТОПЛИВА
Д. А. МУНШУКОВ, П. П. КОСТЕНКО

Одним из наиболее перспективных, магистральных методов повышения экономичности энергетических установок и двигателей является регенерация теплоты выхлопных газов. Находят применение ГТУ и ГТД, у которых часть теплоты отработавших газов за турбиной возвращают в теплообменнике-регенераторе воздуху, подаваемому компрессором в камеру сгорания. Глубина регенерации ограничена здесь уровнем температур в конце процессов сжатия и расширения.

Однако нагревать можно не только воздух, но и топливо. Правда, теплофизические свойства и количественные соотношения рабочих веществ таковы, что нагрев и испарение топлива поглощают лишь небольшую часть теплоты выхлопных газов. Между тем, топливо не совершает замкнутого термодинамического цикла и в принципе способно воспринять всю теплоту выхлопа. Но осуществление более глубокой регенерации путем пиролиза наталкивается пока на серьезные технические трудности, связанные с наличием теплопередающих поверхностей.

Отсюда понятна привлекательность термохимической регенерации теплоты путем конверсии топлива непосредственно в среде выхлопных газов [1+3]. При использовании этого способа регенерации установку покидает только часть отработавших газов, а другая их часть в преобразованном виде осуществляет рециркуляцию. Ее направляют в камеру конверсии, куда подают и топливо, а образовавшиеся там в ходе эндотермических реакций продукты конверсии сжимают и возвращают для сжигания в камеру сгорания. Подача топлива в его исходном виде в камеру сгорания может быть полностью прекращена, его подают в камеру конверсии, т.е. в рецирку-

лирующую часть выхлопных газов. Термохимическую регенерацию можно сочетать с обычной тепловой, получая более высокие технико-экономические показатели установки.

Но конверсия топлива возможна лишь в продуктах сгорания стехиометрических топливо-окислительных смесей. В камерах же сгорания современных ГТУ и ГТД коэффициент избытка воздуха существенно больше единицы. Введение топлива в отработавшие газы сопровождалось бы в таком случае его окислением избыточным кислородом, т.е. просто горением, а вовсе не конверсией. В схемах ГТУ, рассмотренных в монографии [3], камера сгорания работает на стехиометрической смеси продуктов конверсии и воздуха, температура сгорания которой ниже стехиометрической температуры горения топлива в его исходном виде. Допустимую температуру газов перед турбиной обеспечивают соответствующим обогащением смеси в камере конверсии. Нужная степень обогащения зависит также от срабатываемого теплоперепада на турбине и не всегда достижима.

В Харьковском авиационном институте исследуются и другие возможности осуществления термохимической регенерации теплоты путем конверсии топлива, которые позволяют повысить как экономичность, так и удельную мощность двигателя при любых условиях работы его камеры сгорания. Предложено разделить поток воздуха за компрессором и внутри цикла ГТД организовать дополнительный цикл части рабочей среды со стехиометрическим сгоранием и конверсией топлива.

Для этого между компрессором и камерой сгорания в схему ГТД следует включить специальное устройство — конвертор-преобразователь, в котором и осуществляют дополнительный цикл теплового двигателя. Регенерируют не теплоту газов на выходе ГТД, хотя и это в данном случае не исключено, а всю теплоту, отводимую в дополнительном цикле. Его высокие термический КПД и удель-

ная работа, повышающие показатели ГТД в целом, обусловлены стехиометрическими максимальными температурами, достигаемыми в результате концентрированного подвода теплоты к части рабочей среды при высоком уровне давления.

Конвертор-преобразователь может быть различного типа. На первом этапе исследований его рассматривали в виде газотермодинамического компрессора [4]. Главные элементы этого ГТК: камера стехиометрического сжигания топлива (форкамера), разгонное сопло и высокоскоростная камера конверсии. В результате эндотермических реакций конверсии возникает термопрессорный эффект - полное давление потока при отводе теплоты возрастает. Это позволяет обойтись без механических устройств для сжатия продуктов конверсии.

Исследования термохимической регенерации теплоты с использованием ГТК в качестве конвертора-преобразователя показали возможность создания ПВРД со стартовой тягой [5]. Значительное повышение экономичности (на 15%) и удельной мощности (на 35%) дали расчеты ГТУ с конверсией топлива. Оказалось, что можно создать ТРД с турбиной, работающей только на продуктах конверсии, сжатых в ГТК. Это позволяет сделать камеру сгорания ТРД стехиометрической и получить удельные показатели двигателя, превосходящие показатели аналогичного ТРД с форсажной камерой [6].

Однако у конвертора-преобразователя типа ГТК есть существенный недостаток. Термопрессорный эффект дает практически значимое повышение полного давления лишь при очень высоких сверхзвуковых скоростях потока в камере конверсии - около 1500 м/с (число М порядка двух). Очевидно, что при таких скоростях вполне ожидаемы гидравлические потери, которые сведут на нет повышение полного давления в результате термопрессорного эффекта. Это подтверждают и некоторые оценки влияния потерь.

В дальнейших исследованиях рассмотрен другой тип конвертора-преобразователя, главными элементами которого являются ДВС и камера конверсии с малыми скоростями течения рабочего тела в ней. Для сжатия продуктов конверсии здесь неизбежно использование механических компрессоров — лопаточных или поршневых. Хотя при этом возникают свои неприятности, однако исключаются чрезмерные гидравлические потери в камере конверсии. Стехиометрический подвод теплоты в дополнительном цикле ДВС делает конверсию топлива в нем осуществимой.

Такие схемы ГТД следует отнести к мотокомпрессорным. По результатам анализа ряда схем (с возвратом и без возврата продуктов конверсии в ДВС, с регенеративным или водяным их охлаждением, вообще без такового) наиболее привлекательно выглядит схема мотокомпрессорного ГТД с возвратом продуктов конверсии на сжигание в ДВС и их охлаждением в теплообменнике-регенераторе перед сжатием. По сравнению с обычным ГТД удельная мощность повышается на 45+60%, а расход топлива снижается на 20% (расчеты выполнены с учетом потерь во всех элементах двигателя). Сравнение этой схемы с мотокомпрессорным ГТД без конверсии топлива показало, что увеличение удельной мощности связано прежде всего с использованием ДВС. Конверсия топлива вносит сюда небольшой вклад (5+15%), сказываясь в основном на улучшении экономичности. Технический отчет с результатами этих исследований передан ЭМКБ "Прогресс", г.Запорожье.

В 1993г. выполнены расчеты термодинамического цикла двух схем мотокомпрессорного ТРД с конверсией топлива. В первой из них мощность ДВС дополняют до необходимой для привода компрессоров мощностью турбины, после которой газы направляют в реактивное сопло. Во втором варианте турбина вообще отсутствует, газы из камеры сгорания, которую в таком случае выполняют сте-

хиометрической, поступают непосредственно в реактивное сопло. Правда, при этом степень сжатия компрессоров ограничена мощностью ДВС и не может быть высокой. Обе схемы проанализированы с возвратом продуктов конверсии в ДВС и их охлаждением в теплообменнике-регенераторе.

Результаты расчета показали, что удельная тяга мотокомпрессорного ТРД с турбиной и конверсией топлива может быть повышена на 25% без ухудшения экономичности. И это при том, что переход просто к мотокомпрессорному ТРД без конверсии топлива привел бы к сильному ухудшению экономичности без заметного выигрыша в удельной тяге обычного ТРД. Неожиданно скромные результаты расчетов объясняются снижением в мотокомпрессорной схеме доли воздуха, работающей в контуре ТРД, создающем тягу, тогда как удельные показатели двигателя отнесены к полному расходу воздуха.

В мотокомпрессорном ТРД без турбины, со стехиометрической камерой сгорания, конверсия топлива позволяет увеличить удельную тягу в 1,7+2,2 раза. Этот выигрыш в значительной мере обусловлен применением мотокомпрессорной схемы как таковой, что и без конверсии топлива приводит к росту тяги примерно на 40+80%. Двигатель являет собой мотокомпрессорный вариант ТРД с форсажной камерой. Его экономичность на 20% лучше, чем у мотокомпрессорного ТРД без конверсии топлива, хотя и хуже, чем у обычного ТРД, примерно на 35+70%. Но она лучше, чем у ТРДФ. Как и при использовании конвертора-преобразователя типа ГТК [6], возможно получение удельных показателей более высоких, чем в аналогичном ТРД с форсажной камерой.

В ближайшем будущем планируется детальное исследование схем ГТД со стехиометрической камерой сгорания на продуктах конверсии [3], без разделения потока воздуха за компрессором

и организации дополнительного цикла конвертора-преобразователя. Хотя поиск наиболее удачного варианта схемы еще нуждается в продолжении, тем не менее уже ясно, что термохимическая регенерация теплоты путем конверсии топлива весьма привлекательна. С ее помощью возможно повышение удельных параметров двигателя на десятки процентов. На внедрение новых схем решающее влияние окажут скорость и полнота протекания реакций, а следовательно – массогабаритные характеристики камеры конверсии и потери в ней. Эта актуальная задача также включена в программу дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носач В.Г. Термохимическая регенерация теплоты в циклах теплосиловых установок. – Пром. теплотехника, 1981, т.3, №6, с.60-64.
2. Шпильрайн Э.Э. Возможность повышения к.п.д. теплосиловых схем за счет химической регенерации тепла. – Изв. АН СССР. Энерг. и трансп., 1985, №6, с.115-123.
3. Носач В.Г. Энергия топлива. – К.: Наукова думка, 1989. – 147 с.
4. Курзайнер Р.И. Реактивные двигатели для больших сверхзвуковых скоростей полета. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
5. Мунштуков Д.А., Костенко П.П., Отришко Л.И. "К оценке эффективности ПВРД с газовым тепловым компрессором на продуктах конверсии топлива". ИВУЗ. Авиацион. техн., 1989, №4, с.47-50.
6. Костенко П.П., Мунштуков Д.А., Колесникова М.И. "Термодинамический анализ схемы ТРД с конверсией топлива в высокоскоростной камере". Газотермодинамич. процессы в энергоустановках с многофазн. рабочим телом, Харьков, ХАИ, 1990, с.78-85.

ВЫПИСКА

из протокола заседания кафедры ТОД Харьковского авиационного
института N от 1993г.

СЛУШАЛИ: Сообщение с.н.с. Костенко П.П. о статье Мунштукова Д.А.,
Костенко П.П. "Термохимическая регенерация теплоты путем
конверсии топлива".

В рассмотренной работе не использовались результаты не-

завершенных работ, не содержится материалов и сведений, кото-
рые могут быть запрещены к опубликованию в открытой печати.
Представленные материалы являются результатом научно-иссле-
довательских работ, выполняемых по госбюджетной тематике.

Содержание работы не является секретным. В ней нет мате-
риалов, которые могли бы составить предмет изобретения или
открытия. В работе нет ссылок на закрытые источники или
служебные документы.

ПОСТАНОВИЛИ: рекомендовать статью Д.А.Мунштукова, П.П.Костенко
"Термохимическая регенерация теплоты путем конверсии
топлива" к опубликованию в открытой печати.

Зав. кафедрой ТОД

С.Д.ФРОЛОВ

Секретарь кафедры

Г.П.ДИКИЙ