

Фролов С.Д.,  
Селиванов В.Г.,  
Бредихин В.В.,  
Романенко В.В.,  
Ручко В.С.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ВВОДА И РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДЫ ПАРОГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК (ПТУ)

Одним из перспективных путей развития промышленной энергетики является переход от паротурбинных (ПТУ) на парогазотурбинные (ПГТУ) силовые установки для привода электрогенераторов. Освоение этого пути требует решения ряда научно-технических и технологических проблем с безусловным использованием потенциала и достигнутых результатов в авиакосмической отрасли.

К числу таких проблем относятся выбор способа и разработка систем рационального ввода водяного пара и его извлечения из состава рабочего тела ПГТУ.

Из проведенного анализа результатов предшествующих работ по данному направлению сделаны следующие выводы:

- с учетом определенных требований к составу продуктов сгорания углеводородных топлив в воздухе (допустимый минимум  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SM$ ) предложены способы ввода и испарение воды (через автономную жидкостную форсунку) или в виде водо-топливной эмульсии в форкамеру (ФК);
- оставшая (основная) часть топлива сжигается в камере сгорания (КС) в атмосфере первичного парогаса, образовавшегося в ФК;
- основная часть воды вводится в виде пара, образовавшегося в котле-утилизаторе (К-У) во вторичный поток КС;
- если в процессе ступенчатого сжатия производится промежуточное охлаждение воздуха, т.е. в КС поступает воздух с достаточно низкой температурой, то ФК может отсутствовать, а следовательно, отсутствует и первичный ввод воды;
- необходимое количество пара для ввода в КС получают за счет регенерации теплоты выхлопного парогаса в К-У. Чтобы получить требуемые параметры пара ( $G_v$ ,  $T_v$ ,  $P_v$ ) иногда применяют дожигание топлива в выхлопном парогазе на входе К-У;
- теплота, отведенная в холодильнике для промежуточного охлаждения воздуха при сжатии отводится в окружающую среду;



- в настоящее время отработавший в К-У парогаз выбрасывается в атмосферу, т.е. регенерация воды не осуществляется. Объясняют это большими трудностями и дороговизной осуществления такого мероприятия, в то время как сама котельная вода сравнительно дешевая и доступная. Поэтому ее безвозвратный расход мало сказывается на стоимости вырабатываемой единицы электрической мощности. К тому же на современном этапе перехода к ПТУ имеется много других нерешенных проблем, которые сейчас более актуальны.

Целью работы является:

- подбор и обоснование схемных решений и исходных данных для проектирования систем ввода и вывода воды (СВВВ) в цикле ПТУ;
- выбор или создание адекватных методик расчета параметров рабочего процесса и геометрии проточной части СВВВ и ее основных элементов;
- численный анализ рабочего процесса СВВВ для установления влияния режимных факторов на показатели эффективности систем;
- разработка и создание приборно-диагностического оснащения для контроля рабочего процесса СВВВ.

Разрабатываемые системы и их приборное оснащение предназначаются для решения комплекса вопросов, связанных с повышением ресурса и надежности ПТУ, создаваемой на базе авиационного ГТД, уменьшением вредного воздействия на окружающую среду различных факторов (шум, тепловое и токсичное загрязнение, сохранность водного баланса).

В ходе работы по достижению намеченных целевых задач получены следующие результаты:

- с использованием ранее разработанной методики и реализующей ее ЭВМ - программы COMB:PLAST проведен численный анализ влияния ввода воды в КС на состав и параметры состояния продуктов сгорания керосина в воздухе. Но программа позволяет использование и других видов горючего, в том числе - природный газ, продукты газификации угля и др.

Введение воды в КС до 10% (по массе) от расхода воздуха уменьшает эмиссию вредных компонентов в продуктах сгорания в таких размерах:

- CO в  $6,5 \cdot 10^3$  раз;
- $NO_2$  в 4,5 раза;
- $NO$  в 39 раз;
- $HCN$  в  $10^{10}$  раз.

- в рамках термодинамического анализа парогазового цикла обоснована целесообразность использования вихревого испарительного теплообменного аппарата (ВИТА) /I/ для промежуточного охлаждения воздуха после КНД с целью утилизации отведенной теплоты для парогенерации части вво-



димой в цикл воды. При создании ПТУ на базе авиационного двигателя Д-18Т таким способом возможно получить около  $1/3$  от общего расхода вводимого в цикл пара;

- создана модифицированная методика и ЭВМ-программа ВИТА - 2 расчета рабочего процесса и профилирования проточной части ВИТА, позволяющие выполнить рациональное проектирование такого устройства;

- проведенный анализ опубликованных данных показывает, что расходы воды для впрыска в ПТУ в рассматриваемых проектах составляют  $10 \dots 25\%$  от общего расхода рабочего тела цикла, измеряемого сотнями килограмм в секунду. Таким образом, расход воды может составлять десятки килограмм в секунду, т.е. ПТУ мощностью  $N_e \sim 50$  МВт за сутки будет "выпивать" около 1000 тонн воды. Очевидно, что следует предусматривать возврат воды. И для этого придется применять контактные теплообменные аппараты;

- ранее проведенные нами исследования /2/ показали, что прямоточные струйные теплообменники-конденсаторы (СТК) позволяют сконденсировать  $65 \dots 90\%$  пара из парогазовой смеси с паросодержанием  $20 \dots 80\%$  при массовых расходах охлаждающей воды  $U \sim 15 \dots 25$  на единицу расхода массы парогаса и начальной температуре воды  $T_{e0} \sim 320 \dots 330$  К.

Имеется машинная программа СТК-1, позволяющая проводить расчет параметров и профилирование проточной части СТК;

- в ходе настоящей работы была рассмотрена противоточная схема контактного конденсатора (ПКК) и проведена в термодинамическом приближении оценка предельно возможной экстракции пара из парогазовой смеси с помощью ПКК;

- разработана машинная программа СТК-2, позволяющая, в отличие от СТК-1, проектировать прямоточный струйный теплообменник-конденсатор, в котором для организации рабочего процесса используется располагаемая работа не потока парогаса, а потока охлаждающей жидкости.

Численный анализ с помощью разработанной машинной программы выполнен применительно к параметрам и другим исходным данным ПТУ, создаваемой в НПО "Машпроект", г. Николаев

Установлена зависимость тепловой мощности ПКК, массового расхода пара и конденсата на выходе из аппарата от недогрева охлаждающей воды на входе в теплообменник, а также массового расхода последней при различных величинах ее температуры на выходе. Для принятых параметров анализируемого устройства снижение недогрева с  $20$  до  $1^\circ\text{C}$  приводит к увеличению тепловой мощности ПКК с  $14,8$  до  $22,6$  МВт.



При фиксированной тепловой нагрузке снижение расхода охлаждающей воды можно обеспечить увеличением ее температуры на выходе из ПКК. Так для тепловой мощности 14,8 МВт при недогреве 20°C увеличение температуры охлаждающей воды на выходе от 50 до 70°C снижает ее расход от 195 до 90 кг/с при этом облегчается последующий теплоотвод от нее в окружающую среду (уменьшается потребная скорость охлаждающего воздуха, а значит - его расход и мощность привода вентилятора);

- подготовлена методика и ЭВМ- программа ВИТА-3 для проектирования вихревого противоточного контактного конденсатора (ВПКК) пара из парогазовой смеси.

Ожидается, что в случае экспериментального подтверждения концепции такого устройства, в нем будет возможным при сохранении преимуществ противотока существенно уменьшить недостатки и трудности реализации схемы ПКК, а именно: увеличить скорости фаз; обеспечить при этом меньший вынос жидкой фазы; улучшить массо-габаритные показатели устройства.

- разработан электроемкостной измеритель объемного газосодержания газожидкостных потоков. На его основе изготовлен и испытан стендовый макет соответствующего блока контрольно-измерительной системы ШТУ.

Сопоставление результатов термодинамического анализа двух циклов:

а) исходного газотурбинного цикла двигателя Д-18Т;

б) парогазовый цикл со ступенчатым сжатием и утилизацией теплоты промежуточного охлаждения воздуха показало, что:

- полезная мощность ШТУ (по варианту б) увеличивается в 2,38 раза;

- расход горючего на единицу полезной мощности снижается в 1,9 раза.

Приведенные результаты в своей совокупности подтверждают перспективность избранного направления исследования, его актуальность и уже образуют необходимую основу для успешного решения поставленных задач в установленные сроки. На последующих этапах работы потребуются дальнейшее развитие экспериментальной базы по разработке создаваемых систем.

#### Список литературы

1. Авторское свидетельство № 1663305, СССР/ Фролов С.Д., Кравцов Е.В. Сманцер В.В., Филиппов В.Н., Иваненко Н.И. Теплообменник. Бюл. изобретений № 26, 1991 .



2. Ручко В.С., Фролов С.Д. Расчет характеристик сопел смесительных теплообменнико-конденсаторов. - В кн.: Газотермодинамика многофазных потоков в энергостановках, Харьков, 1981, вып. 4, стр. 45-52.