

Фурсов А.П., Грушенко А.М., Безуглый С.В., Шершев В.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ВЫСОКО-  
ТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХЗВУКОВЫХ ГАЗОВЫХ СТРУЙ И ЭФФЕКТОВ ИХ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ОБЪЕКТАМИ И МАТЕРИАЛАМИ

Роль струйного нагрева в различных технологических процессах непрерывно растет. Одновременно расширяется номенклатура этих процессов, что делает весьма актуальной проблему повышения энергоэкологических характеристик газоструйных устройств (ГСУ), являющихся источником сверхзвуковых высокотемпературных струй, используемых в качестве рабочего органа в указанных процессах.

С этой целью было исследовано влияние на энергоэкологическое совершенство ГСУ процессов в пристеночном слое камеры сгорания. Установлено влияние температуры газовой стенки жаровой трубы камеры сгорания на процесс "замораживания" горения в пристеночном слое, что в свою очередь влияет как на полноту сгорания топлива, так и на количество вредных выбросов. В связи с этим предложено обеспечить максимально возможную температуру газовой стенки жаровой трубы, что должно инициировать процесс горения в пристеночном слое. Учитывая, что процесс горения идет при температурах 2000 - 2200 К, рассмотрена возможность применения жаростойких материалов и сплава  $\text{I2X18NiOT}$  при наличии только наружного воздушного охлаждения.

Установлено, что потерями энергии, связанными с охлаждением стенок, в условиях ГСУ можно пренебречь - коэффициент потерь практически не зависит от соотношения компонентов топлива и не превышает 0,03. С ростом подогрева стенки увеличиваются коэффициент трения и толщина пограничного слоя, причем большее значение начинает иметь толщина вытеснения, а потери импульса с

ростом подогрева снижаются.

Определены параметры и особенности работы керамических жаровых труб, жаровых труб, выполненных из сплава I2X18NiOT с различной толщиной стенок. Показано, что без использования дополнительных методов по охлаждению или интенсификации теплоотдачи в охлаждающий воздух работоспособность жаровых труб из сплава I2X18NiOT недостаточна и предложены соответствующие конструктивные мероприятия, обеспечивающие надежную работу жаровых труб при высоких температурах.

На основе приведенных исследований были разработаны и изготовлены экспериментальные камеры сгорания ГСУ, использующие монолитные и наборные керамические камеры сгорания, камеры сгорания с термостойкими вкладышами из молибдена с напылением дисцилида молибдена, а также камеры из сплава I2X18NiOT с применением методов повышения их стойкости.

Созданные конструкции прошли испытания на общую работоспособность и показали хорошие результаты.

На основе экспериментальных стендовых камер разработан опытный термоинструмент, который передан для опытно-промышленной эксплуатации на объектах производственного объединения "Днепро-нерудпром".

Решение проблем экологической чистоты ГСУ, повышения их эксплуатационных показателей таких, например, как надежность запуска, связано с использованием нетрадиционных водородно-углеводородных топлив или же с полной переориентацией объектов на водородное топливо. Однако использование водорода в качестве как основного, так и вспомогательного топлива, усложняет системы питания установок, требует обеспечения повышенных мер безопасности к энергообъекту и, поэтому, не всегда целесообразно.

Многочисленные исследования различных авторов и научных

коллективов показывают перспективность применения в качестве топлива пропан-бутановых смесей.

Результатом таких исследований и их практических приложений, является перевод на сжиженный нефтяной газ (СНГ) не только автомобилей, но авиационной и ракетной техники. Во всех оговоренных случаях для обеспечения заданного режима работы камер сгорания по  $K_m$  предусмотрены сложные системы регулирования, термостатирования из-за существенного изменения давления паров насыщения пропан-бутановых смесей в области температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Для упрощения систем питания ГСУ были разработаны принципиально новые барботажно-диффузионные системы питания, которые могут обеспечить работу камер сгорания как на запуске, так и на всех переходных режимах на жидких горючих с давлением паров насыщения от 0,03 до 1,6 МПа.

Отличительной особенностью этих систем является подача топлива к энергообъекту в виде его паров за счет создания газодинамическими методами условий вскипания топлива и дополнительных эффектов насыщения парами топлива пузырьков воздуха, подающегося в систему питания.

Теоретический анализ процессов в предложенных системах показал:

- подобные системы питания обеспечивают  $K_m$  для топливной пары воздух и углеводородное горючее в диапазоне  $K_m = 7 \dots \infty$  ;
- потери полного давления окислителя, энергия которого расходуется на создание газодинамических условий функционирования системы по степени расширения  $E = (P_{ок})V_x / (P_{см})V_{yx}$  лежит в пределах  $E = 1,2 \dots 2$ , что приемлемо для использования системы в качестве как пусковой, так и основной системы питания.

Выполненные экспериментальные исследования подтвердили

правильность теоретических оценок и возможность аппаратурной реализации барботажно-диффузионных систем питания. Определен целый ряд жидких топлив (кроме бензинов и СНГ), которые целесообразно использовать в качестве топлива с узким фракционным составом, обеспечивающим стабильность значений  $K_m$  на пусковых режимах энергоустройств.

Экспериментальные образцы нескольких вариантов схем питания показали свою работоспособность и повышенные экологические показатели.

Одним из перспективных направлений использования струйного нагрева является создание ГСУ для абразивной очистки и напыления металлов.

В ХАИ были предложены и исследованы схемы устройств для ввода порошковых материалов в сверхзвуковую высокотемпературную газовую струю.

Огневые испытания разработанных устройств подтвердили их работоспособность и позволили выявить дальнейшие направления работы. В частности, разработана конструкция охлаждаемого воздухом эжектора-смесителя, исключающая перегрев наиболее теплонпряженной его части - камеры смешения.

Исследования устройств подачи порошковых материалов в эжектор-смеситель позволили установить следующее:

1) подача порошков возможна за счет собственной эжекции смесителя без наддува бункерных устройств;

2) подача абразивных материалов возможна без специальных бункеров-питателей.

В результате исследований разработано оригинальное безбункерное устройство подачи порошка, применяемое для абразивной очистки. Установлено, что для равномерной подачи порошков

при напылении требуется бункерное хозяйство с тонкой регулировкой подачи.

В результате выполнения НИР разработаны и испытаны образцы устройств для абразивной очистки и напыления металлов, устройства подачи порошков к эжекторам-смесителям, устройство электрического поджига смеси в газогенераторе.

Испытания разработанных конструкций подтвердили эффективность операций абразивной очистки и напыления защитных покрытий газоструйным методом.