

ность турбоагрегатов за счет их «запертой» конденсационной мощности;

- применять «параллельную» схему надстройки с вытеснением регенерации паротурбинных агрегатов с подогревом в котлах-утилизаторах основного конденсата и питательной воды;

- вместо дорогостоящих двухконтурных целесообразно применять одноконтурные КУ снабженные дожигающим устройством размещенным между ступенями испарителя, что обеспечит значительное увеличение их паропроизводительности;

- для ввода в эксплуатацию не эксплуатируемых противодавленческих турбоагрегатов, можно использовать парогазовые установки с паровым приводом компрессора от приключенных паровых турбин питаемых паром из промышленного паропровода ТЭЦ.

Общим для отмеченных путей модернизация ТЭЦ по парогазовой технологии является использование действующих паровых турбин позволяющее уменьшить удельные капиталовложения в киловатт электрической мощности надстроек. Несмотря на то, что несколько снизится экономичность по сравнению с применением дорогостоящих блоков ПГУ, при этом достигается снижение капитальных затрат в надстройку, сроков окупаемости капиталовложений и себестоимости вырабатываемой электроэнергии. Из за снижения себестоимости вырабатываемой электроэнергии, возможна ее успешная реализации на конкурентном энергетическом рынке, как в отопительный, так и в неотапительный периоды года.

Модернизация ТЭЦ при установке на них импортных ГТУ окупается не менее чем через 15 – 20 лет. Проведенный анализ показывает, что надстройку ТЭЦ с давлением пара 9 МПа целесообразно производить отечественными конвертированными ГТУ НК-37 и НК-37-1 в сочетании с паровыми КУ подающими пар в главный паропровод ТЭЦ. При этом наиболее перспективе вариант с применением ГТУ НК-37-2 - модифицированной НК-37-1 снабженной камерой дожигания перед свободной турбиной. Повышение температуры газа перед ней до 890-900°C обеспечивает увеличение мощности ГТУ до 35 - 36 МВт и повышение температуры газа на входе в КУ до 610 – 620°C.

Проведено сравнение надстройки ТЭЦ с давлением пара 9 МПа в варианте с установкой двух ГТУ PG6111FA GE и специальной паровой турбины и при ее надстройке четырьмя ГТУ НК-37-2 в комплекте с одноконтурными КУ и существующей паровой турбины. Несмотря на более высокую надежность импортных ГТУ, в результате того, что в отечественном варианте ниже удельные капиталовложения в мощность надстройки, меньше затраты времени на строительство-монтажные работы для него характерны меньшие сроки окупаемости и себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Показана также экономическая эффективность применения ГТУ НК-16/18 СТА с одноконтурным КУ и промежуточным дожиганием топлива для парогазовой надстройки устаревшей ТЭЦ с давлением пара 3 МПа.

УДК 621.795+629.78

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

Буланова Е.А., Первышин А.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет

SPESIFICIETIES OF GAS FUEL ROCKET THRUSTER COMBUSTION CHAMBER OPERATION SETUP

Bulanova E.A., Pervishin A.N. In gas fuel rocket thruster combustion chamber operation setup necessary to use construction for fuel components prerotation. It assists in fuel components mixing intensification and cooling combustion chamber shell.

В отличие от РДМТ на жидких компонентах, эффективность рабочего процесса которых зависит от характера жидкофазного взаимодействия самовоспламеняющихся компонентов или от качества распыла и интенсивности испарения для несамовоспламеняющихся компонентов и других, характерных для жидкого топлива, факторов, рабочий процесс кислородно-водородных РДМТ определяется смешением компонентов в газовой фазе, где соответствующие компоненты массообмена существенно выше, а характерные времена реакций весьма малы. Совокупность этих факторов приводит, с одной стороны, к возможности обеспечения быстрого и эффективного преобразования компонентов на малых длинах, что весьма важно для РДМТ, с другой стороны, к быстрому размыву пристеночного слоя, то есть контакту высокотемпературных продуктов сгорания со стенкой камеры, что, как правило, означает ее прогар.

Проблема выбора схемы смесеобразования, обеспечивающей надежное охлаждение конструкции при широком изменении состава топлива в сочетании с высокой экономичностью, является основной при разработке камер на кислородно-водородном топливе. В РДМТ ее решение осложняется малыми потребными расходами компонентов, что ограничивает возможность использования регенеративного охлаждения. При организации же внутреннего охлаждения пристеночным слоем для уменьшения потерь экономичности необходимо избегать дефектной трансформации распределения состава рабочего тела по сечению камеры сгорания. Что осложняется небольшим числом смесителей. Уже в двигателях с расходом топлива менее 3г/с (что соответствует тяге 10Н) используется, как правило, один смесительный элемент, что усложняет обеспечение компромиссов между экономичностью и надежностью, особенно с учетом несамовоспламеняемости топлива.

Сопоставляя конструкции смесителей для кислородно-водородного топлива и их эффективность, можно выделить, что наилучшие характеристики имеет триплетная схема, не нашедшая тем не менее широкого применения в РДМТ из-за трудностей охлаждения. Значительно более распространенная

на коаксиальная схема, обеспечивающая меньшие, чем триплетная схема, тепловые потоки в критическом сечении. Ее эффективность связана с использованием газобразных компонентов по сравнению с жидкофазным вариантом.

Для ЖРД дальнейшее развитие связано с повышением давления в камере сгорания, а для РДМТ на тех же $H_2 + O_2$ предпочтение отдается низким давлениям в камере сгорания (100...200кН/м²), так как в этом случае используется естественный наддув баков, а в качестве ресиверов могут служить основные баки без дополнительной аппаратуры. Это компенсирует некоторое снижение удельных характеристик ($I_{у.л.} = 3800 м/с$). Однако, даже при низких давлениях отмечаются трудности, связанные с охлаждением. Требование большого ресурса, предъявляемого к РДМТ, а тем более промышленным генераторам, делает необходимым обеспечение не только достижения установленного теплового режима, но и длительной работы материала конструкции на этом режиме. Увеличение же температуры стенки существенно сокращает ресурс двигателя. Поэтому допустимый уровень температуры конструкции при одинаковом материале в промышленных генераторах ниже, а расход охладителя должен быть выше, чем у РДМТ. Это же обстоятельство приводит даже для РДМТ, к выбору $\alpha = 0,3...0,32$, хотя с учетом энергомассовых характеристик аппарата в целом оптимальное α сдвигается в сторону больших величин. С уменьшением размерности двигателя проблема охлаждения обостряется. Меньшая эффективность регенеративного охлаждения при малых располагаемых расходах H_2 приводит к необходимости увеличения подачи водорода в пленочную завесу, что в свою очередь, приводит к дополнительным потерям.

В камерах тягой не менее 500Н, наиболее широко используемых в системах управления, охлаждение возможно лишь за счет пристеночного слоя (иногда в совокупности с емкостным), однако существует еще возможность организации пристенки специальными форсунками. Первые двигатели этого класса имели систему смесеобразова-

ния, аналогичную жидкостным прототипам. В камерах тягой менее 10Н организация пристенка еще более усложняется, так как величина расхода H_2 и конструктивные соображения не позволяют выделить для этой цели специальные форсунки. Организация смешения компонентов и охлаждения стенок одним смесителем в условиях малых линейных размеров приводит к наличию существенных потерь в таких камерах.

Систематические исследования РДМТ на газообразных $H_2 + O_2$ проводятся в СГАУ. Разработанная здесь схема смесеобразования обеспечивает и высокие удельные параметры, и приемлемое тепловое состояние конструкции камеры номиналом 3Н. Изделие имеет также высокие динамические характеристики, практически недостижимые

для РДМТ на жидких компонентах. Так, при длительности включения всего 0,015с экспериментально определенная величина среднеинтегрального расходного комплекса составляет 1600м/с. Совокупность основных конструктивных параметров этой схемы, обеспечивающая наилучшие характеристики рабочего процесса, была найдена экспериментально. Интенсификация горения с помощью закрутки компонентов предлагается и в других работах.

Таким образом, закрутка компонентов с целью интенсификации процессов их смешения, а в ряде случаев и охлаждения стенок, и для уменьшения отношения длины камеры сгорания к ее диаметру, успешно используется в схемах РДМТ на газообразных компонентах топлива.

УДК 621.795+629.78

КОЭФФИЦИЕНТ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ПРИ СТРУЙНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Буланова Е.А., Первышин А.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет

HEAD DRAG COEFFICIENT OF SPHERICAL PARTICLES WITHIN THE SUPERSONIC FLOW IN STREAM-ABRASIVE TREATMENT

Bulanova E.A., Pervishin A.N. Stream-abrasive treatment efficiency depends on movement velocity of abrasive particles. Movement velocity mostly depends on aerodynamic force acting from the gas jet supersonic flow of supersonic stream generator. Aerodynamic force head drag coefficient includes Reynolds' number. For stream-abrasive treatment $Re = 50...1250$.

Эффективность струйно-абразивной обработки материалов на базе генераторов сверхзвуковых струй напрямую зависит от скорости движения частиц абразива в потоке продуктов сгорания.

В свою очередь, скорость частиц в газовом потоке связана с числом Рейнольдса, что имеет значение при использовании полидисперсного потока для струйно-абразивной обработки материалов.

Рассмотрим поток сферических частиц, движущийся со скоростью w_i в потоке продуктов сгорания, скорость которого w_α . Известны параметры частиц: диаметр d_i ,

плотность вещества ρ_i , расход \dot{m}_i , также известны все термодинамические параметры потока продуктов сгорания: вязкость η_α , давление p_α , температура T_α , плотность ρ_α , расход \dot{m}_α . В результате взаимодействия частиц с газовым потоком происходит обмен импульсом и соответствующее изменение скоростей.

Учитывая то, что расход абразива и расход газа являются постоянными в течение работы газогенератора на номинальном режиме:

$$\dot{m}_\alpha = Const ; \dot{m}_i = Const ,$$