

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕКАМЕРЫ НА ПРОЦЕССЫ ГАЗИФИКАЦИИ И ГАЗОФАЗНОГО СМЕШЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ЖРДМТ

Сулинов А.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет

THEORETICAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PRE-CHAMBER DESIGNED ON THE PROCESSES OF GASIFICATION AND MIXING IN THE GAS PHASE IN THE COMBUSTION CHAMBER LIQUID-PROPELLANT ROCKET ENGINE OF SMALL THRUST

Sulinov A.V. The mathematical model is developed and carried out a theoretical study of the effect of pre-chamber designed on the processes of gasification and mixing in gas-phase products of incomplete combustion of fuel in the combustion chamber liquid-propellant rocket engine of small thrust.

Одним из путей интенсификации внутрикамерного рабочего процесса жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ), в том числе и на двухкомпонентном самовоспламеняющемся жидком ракетном топливе (СЖРТ), является применение в двигателях данного типа предкамерных устройств [1]. Однако в настоящее время отсутствуют какие-либо данные по оценке возможности их применения, рекомендации по выбору конструктивных и режимных параметров предкамеры.

В настоящей работе приводятся результаты теоретического исследования по интенсификации с помощью предкамеры основных лимитирующих стадий протекания рабочего процесса в камере сгорания: газификации жидкофазных промежуточных продуктов (ЖФПП) и испарения непрореагировавших компонентов топлива за счет организации эффективного их вторичного дробления, а также газофазного смешения и устранения крупномасштабной неравномерности соотношения компонентов топлива по сечению путем активной турбулизации газофазных промежуточных продуктов (ГФПП).

Для проведения теоретического исследования по влиянию предкамеры на указанные процессы была разработана математическая модель процессов газификации и газофазного смешения

продуктов неполного сгорания топлива в камере сгорания ЖРДМТ при использовании предкамеры.

При моделировании процесса газификации жидкофазных продуктов учитывались особенности движения капель и газового потока на выходе из предкамеры, газификации этих продуктов и возможности вторичного дробления капель. В модели жидкая фаза рассматривалась в виде капель, равномерно распределенных по поперечному сечению предкамеры.

Массовая скорость газификации капли определялась при предположении малых скоростей газофазных химических реакций, отсутствии влияния фронта пламени на процесс и при условии, что температура газофазных продуктов значительно превышает температуру жидкофазных.

В математической модели процесс вторичного дробления капель жидкофазных продуктов рассматривался без учета влияния вязкости по трем механизмам дробления, классифицированным в зависимости от числа Вебера We по размеру образующихся капель:

- вибрационная мода дробления:
 $10 \leq We \leq 20$;

- дробление по типу «парашют»
 $20 \leq We \leq 60$;

- механизм непрерывной обдирки поверхностного слоя $60 \leq We \leq 1000$.

Для имитации газодинамических условий протекания процесса газификации в камере сгорания без предкамеры и с предкамерой в модели рассматривались различные законы изменения скорости газового потока по длине камеры сгорания:

а) без предкамеры - $u=ax^n$;

б) с предкамерой - $u=const$, $u=u_0-bx$.

Решение предложенной системы уравнений было проведено численным методом.

Из анализа результатов теоретического исследования можно отметить, что расстояние пролета капли до полной ее газификации существенно уменьшается при переходе к камере сгорания с предкамерой ($u=const$, $u-u_0-bx$), обеспечивающей в выходном сечении скорость газового потока более 100 м/с и степень газификации топлива не менее 0,5. Причиной этого является интенсификация на выходе из предкамеры процесса вторичного дробления капель. В этом случае процесс дробления капель завершается на расстоянии (1...3) мм.

Обращает на себя особое внимание влияние объемной концентрации жидкофазных продуктов в выходном сечении: при концентрации жидкофазных продуктов более 5% ухудшается эффективность дробления капель и расстояние дробления капель растет с увеличением значений этого параметра. Кроме того, анализ физической картины процесса и полученных расчетных данных показывает, что для эффективной организации необходимо обеспечить воздействие газового потока на жидкофазные продукты в выходном участке предкамеры; внутри канала предкамеры разделить течение газофазных и жидкофазных продуктов по сечению, обеспечив течение последних по стенке канала.

Необходимость интенсификации газофазного смешения связана с устранением неравномерности состава газа, обусловленной точечным подводом топлива в камеру сгорания и стадийностью его преобразования. Модель газофазного смешения базировалась на диффузной модели Вулиса Л.А., в которой в качестве характеристик смешения используются коэффициент

турбулентной диффузии D_T и размер перемешиваемого газового объема d_T .

Коэффициент турбулентной диффузии в камерах сгорания без предкамер и с предкамерами в модели газофазного смешения находился из зависимостей, полученных при исследовании течения газового потока в цилиндрическом канале и при струйном истечении газа в канал.

Расчетная оценка процесса газофазного смешения показывает, что максимальные значения коэффициента турбулентной диффузии для случая со струйным истечением газа в канал (случая с предкамерой) достигаются при соотношении площадей на выходе из предкамеры к площади камеры сгорания $F_{ПК}^{вых} / F_{КС} \leq 0,5$.

Из результатов расчета процесса газофазного смешения в камере сгорания с предкамерой и без предкамеры следует, что использование предкамеры при времени смешения газофазных продуктов, равном времени их пребывания на участке камеры сгорания длиной $(0,8...1,2)d_{КС}$, $F_{ПК}^{вых} / F_{КС} \leq 0,5$ (где $d_{КС}$ - диаметр камеры сгорания) позволяет существенно: в 5-10 раз, - увеличить размер перемешиваемого газового объема.

Проведенное теоретическое исследование позволило выявить ведущие механизмы интенсификации внутрикамерного рабочего процесса за счет предкамеры и определить область конструктивных и режимных ее параметров, обеспечивающих высокую эффективность протекания процессов газификации жидкофазных продуктов и газофазного смешения в камере сгорания ЖРДМТ.

Библиографический список

1. Нигодюк, В.Е. Перспективы применения предкамер в ЖРДМТ на самовоспламеняющихся компонентах топлива [Текст] / В.Е. Нигодюк, А.В. Сулинов // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: Материалы междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. Самара: СГАУ, 2009, с. 120-122.