

УДК 621.436

Ф.А. СЛОБОДКИНА¹, А.В. ЕВТЮХИН²

¹ГУП ЦИАМ, Россия

²РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Россия

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЖЕКТОРА КАК УСТРОЙСТВА УВЕЛИЧЕНИЯ ТЯГИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Предложена математическая модель, описывающая течение в эжекторе с пульсирующей активной струей. Проведен анализ параметров, управляющих процессом в канале эжектора с пульсирующей активной струей. Разработан соответствующий комплекс алгоритмов и программ.

авиационный двигатель, импульсный эжектор, модель, алгоритм, управление, газодинамический процесс

Введение

Известны и широко применяются в различных областях техники эжекторные устройства для увеличения расхода низконапорного газа путем смешения со стационарной струей высоконапорного газа [1]. В последние годы установлено, что эжекционный процесс с пульсирующей струей при определенных механико-геометрических соотношениях в потоке способен значительно увеличивать прирост массы и импульса пассивного газа по сравнению со стационарным процессом. Это явление обусловлено возникновением в эжекционном канале разделенных структур с преимущественным увеличением дополнительной массы в волнах разрежения с малой диссипацией энергии [2-3].

Основной выигрыш при использовании пульсирующей активной струи достигается за счет увеличения захвата массы пассивного газа и увеличения импульса струи по сравнению со стационарным эжекционным процессом.

В настоящее время имеются экспериментальные исследования, подтверждающие большую эффективность пульсирующего эжекционного процесса по сравнению со стационарным эжектором, где главную роль играют вязкие эффекты.

В связи с возникновением интереса к ПуВРД в авиационной науке разработка теоретических и экспериментальных методов изучения импульсных эжекторов (ИЭ) может оказаться весьма своевременной для использования этих устройств в качестве усилителей тяги авиадвигателей.

Одним из основных методов детального исследования образцов новой техники и физико-механических процессов, возникающих на различных режимах их работы, является математическое и численное моделирование.

Здесь представлена математическая модель высокого уровня для описания газодинамического процесса в импульсном эжекторе.

Модель построена на нестационарных двумерных уравнениях газовой динамики с периодически меняющимися граничными условиями на выходе из канала активного газа.

Разработанные соответствующие алгоритмы и программное обеспечение, позволили создать математический стенд для исследования импульсного эжектора.

В данной работе на основе многовариантных расчетов изучается влияние на характеристики устройства таких параметров, как давление и темпера-

тура газа на входе в активный и пассивный каналы, длины каналов, частота циклов, скважность и др.

Математическая модель течения газа в канале импульсного эжектора

Эжектор представляет собой канал, осесимметричный или плоский, произвольной геометрии, во входное сечение которого подведены два источника газа – с высоким и низким давлением (рис. 1).

На выходе из эжекторного канала может задаваться статическое давление среды, куда происходит истечение.

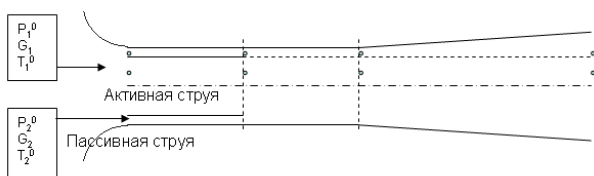


Рис. 1. Меридиональное сечение осесимметричного канала импульсного эжектора

При работе импульсного эжектора активная струя втекает в канал только в течение некоторого времени Δt_1 ; затем сечение, через которое поступает активный газ, перекрывается, а пассивный газ продолжает поступать в эжекторный канал за счет разрежения, возникшего в результате перекрытия источника активного газа. Спустя отрезок времени Δt_2 сечение поступления активного газа снова открывается и газ втекает в канал в течение времени Δt_1 , и так далее.

Во входном сечении в эжектор ($x = 0$, рис. 1) считаются заданными параметры торможения активного и пассивного газа.

Параметры активного газа будем помечать индексом 1, а пассивного – индексом 2.

В выходном сечении эжектора задается статическое давление среды P_3 , куда происходит истечение.

В связи с вышеописанной механикой явления нестационарное периодическое течение газа в канале импульсного эжектора может быть промоделировано нестационарными уравнениями газовой динамики для невязкого нетеплопроводного газа с периодическими граничными условиями. Потери волнового характера эти уравнения описывают точно.

В качестве численного метода решения поставленной задачи используется метод С.К. Годунова.

Интегральные характеристики, принятые за меру эффективности устройства

В качестве меры эффективности работы ИЭ могут рассматриваться следующие величины: коэффициент эжекции $n = G_2/G_1$, увеличение импульса струи на выходе из устройства и увеличение энергии потока в выходном сечении. Отношения этих параметров к некоторым начальным значениям на входе в эжектор представляют собой коэффициенты, характеризующие работу ИЭ.

Все перечисленные параметры представляют собой интегралы по времени за один период τ установившегося периодического режима и делятся на время цикла.

Численное исследование характеристик импульсного эжектора

Проведены расчеты с целью определения параметров, управляющих течением, которые доставляют максимальное значение величине, принятой за меру эффективности устройства.

Варьировались значения управляющих параметров в следующих диапазонах:

- полное давление в активном газе $1.5 \leq P_1^0 \leq 10$ а;

- полная температура в активном газе $288\text{K} \leq T_1^0 \leq 1000\text{K}$;
- полное давление и температура в пассивном газе сохранялись постоянными $P_2^0 = 1\text{ а}, T_2^0 = 288\text{K}$;
- частота процесса $T_{\text{cикл}} = 50, 100, 150, 600\text{ Гц}$;
- доля времени работы активной струи $T_{\text{акт.}} = 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9$.

Для детального исследования процесса в ИЭ было рассчитано более 500 вариантов.

Укажем, что при значениях $P_1^0 > 6$ и $0.4 \leq T_{\text{акт.}} \leq 0.6$ происходит запирание канала эжектора, поэтому ниже приводятся результаты для тех управлений, которые не вызывают этого явления.

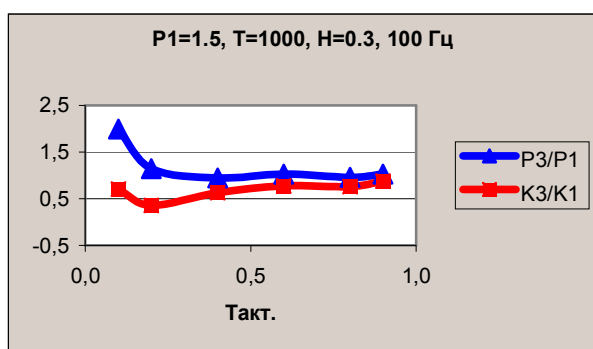


Рис. 2. Зависимость интегральных характеристик ИЭ заданной геометрии от времени работы активной струи при остальных оптимальных управлениях

Анализ результатов расчетов показал, что наибольшая эффективность ИЭ достигается в канале, представленном на рис. 1. Максимальное значение интегральных характеристик получено при следующих значениях управляющих параметров: $T_{\text{акт.}} = 0.1$, частоте процесса 100 Гц, значениях $P_1^0 = 1.5$ и $T_1^0 = 1000\text{K}$, $H = 0.3$ – радиус поперечного сечения активного сопла.

Обобщающий результат приведен на рис. 2, 3. На рисунках представлены зависимости P_3/P_1 – отношение тяговой характеристики на выходе из эжектора к тяговой характеристике активного сопла,

K_3/K_1 – отношение кинетической энергии на выходе из эжектора к кинетической энергии на выходе из активного сопла.

Расчет параметров сопла без эжекторного насадка в сравнении с соплом активного газа с использованием эжекторного насадка показывает, что тяга сопла с эжекторным насадком увеличивается более чем в 2 раза при соответствующем отношении кинетической энергии в выходных сечениях порядка 0.7.

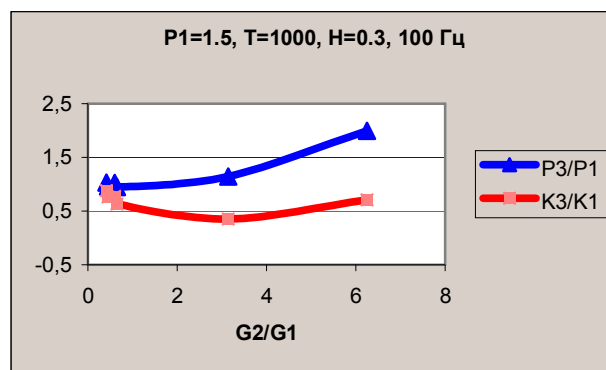


Рис. 3. Зависимость интегральных характеристик ИЭ заданной геометрии от коэффициента эжекции

При высоких давлениях P_1^0 от 6 до 10 а в диапазоне T_1^0 от 288 К до 1000 К, при частотах 100, 150, 600 Гц и $T_{\text{акт.}} = 0.8, 0.9$ максимальные значения интегральных характеристик достигаются при $P_1^0 = 8\text{ а}, T_1^0 = 288\text{K}, T_{\text{акт.}} = 0.8$ и частоте 600 Гц. При этих значениях величины $P_3/P_1 = 2.05$ при $K_3/K_1 = 0.82$. Следует отметить, что при высоких давлениях наибольшее влияние на интегральные характеристики оказывает значение величины P_1^0 . Влияние других управляющих параметров незначительно.

Закключение

1. На основе математического и численного моделирования высокого уровня исследованы нестационарные периодические по времени газодинамические процессы в эжекторе с пульсирующей активной струей. Математическая модель построена

на нестационарных пространственных уравнениях Эйлера и меняющихся по времени граничных условиях.

2. Проведен анализ параметров, управляющих течениями в импульсном эжекторе (ИЭ). Показано, что управлениями являются отношения соответствующих параметров торможения на входе активного и пассивного газов, частота импульсного процесса, доля времени работы активной струи (скважность), формы каналов – активного газа и эжекторного канала (ЭК).

3. Интегральные характеристики – коэффициент эжекции, относительная энергия в выходном сечении канала, коэффициент увеличения тяги, осредненные по времени продолжительности цикла, выбраны в качестве меры эффективности ИЭ.

4. С целью исследования характеристик ИЭ было рассчитано более 500 вариантов импульсных процессов, где рассматривались в различных сочетаниях значения управляющих параметров. Расчеты показали, что влияние управлений на интегральные характеристики ИЭ носит сложный нелинейный характер.

В результате получено, что значение коэффициента тяги сопла в импульсном процессе с эжекторным насадком по сравнению с тем же соплом без эжекторного насадка может увеличиваться более чем в 2 раза и достигается при вполне определенных сочетаниях управляющих параметров - давления и температуры торможения в активной струе, частоте процесса и скважности. Геометрия каналов эжектора соответствовала традиционным каналам для стационарных эжекторов. Параметры пассивного газа во всех вариантах принимались равными: $P_2^0=1a$, $T_2^0=288 K$.

Известно, что максимальное увеличение тяги при использовании эжектора со стационарным процессом составляет 50-52 %.

Литература

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. - Т.1. - М.: Наука, 1991. - 597с.
2. Кудрин О.И. Исследование пульсирующего составного реактивного сопла: Дисс. канд. техн. наук. – М.: МАИ, 1951. – 120 с.
3. Кудрин О.И., Квасников А.В., Челомей В.Н. Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей. - Открытие № 314. Заявка № ОТ-8918 от 3 01 1975.

Поступила в редакцию 29.09.03

Рецензенты: доктор техн. наук, проф. С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт"