

УДК 533.697.5

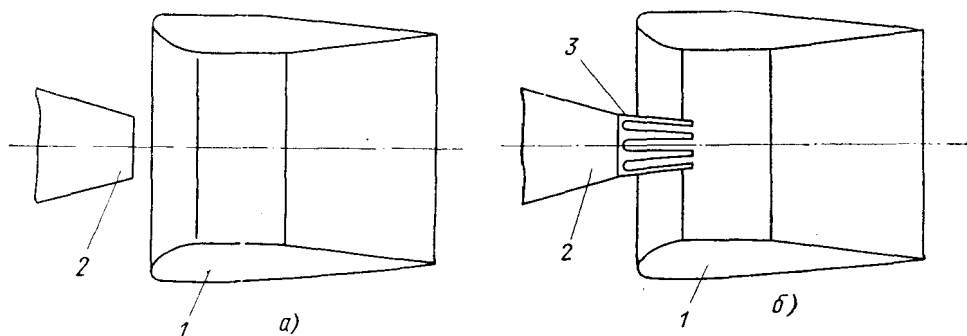
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЖЕКТОРНОГО УВЕЛИЧИТЕЛЯ ТЯГИ С ПЕРФОРИРОВАННЫМ СОПЛОМ ЭЖЕКТИРУЮЩЕГО ГАЗА

Ю. Г. Жулев, Ю. Ф. Потапов

Показано, что эффективным средством улучшения характеристик эжекторных увеличителей тяги является применение сопловых конических насадков, перфорированных продольными щелями. Установлено, что такие насадки весьма эффективны для докритических перепадов давления на сопле эжектирующего газа.

Одним из возможных вариантов использования эжекторов для улучшения характеристик самолетов на взлетных режимах является установка эжекторного увеличителя тяги непосредственно за соплом двигателя (фиг. 1, а). В этом случае эжектирующим газом является струя реактивного двигателя, а эжектируемым газом — окружающий воздух. Такая схема исследовалась в ряде работ (например, [1 — 3]).

Было установлено, что с помощью показанного на фиг. 1, а эжекторного увеличителя тяги может быть получен весьма большой (десятки процентов)



1—эжекторный увеличитель тяги; 2—сопло двигателя; 3—перфорированный насадок

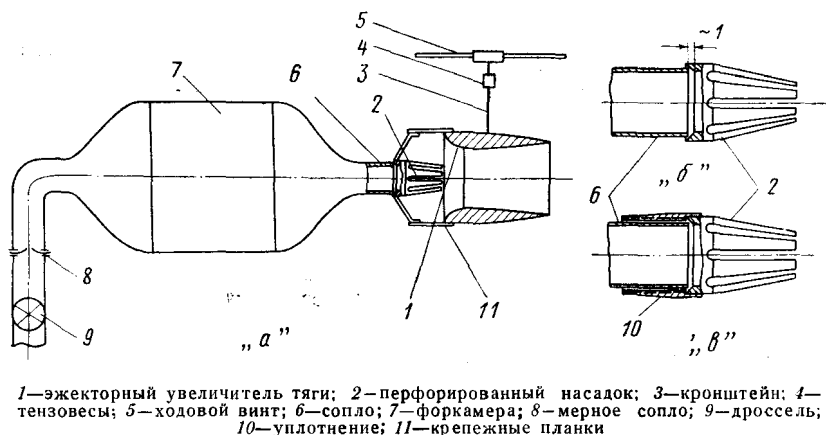
Фиг. 1

прирост тяги при работе на месте. Однако этот прирост уменьшается при увеличении скорости полета и начиная с некоторого значения скорости полета эжектор уже уменьшает тягу. В связи с этим показанный на фиг. 1, а эжекторный увеличитель тяги может быть эффективно использован только для низкоскоростных самолетов. Одновременно было найдено, что габариты и веса таких эжекторных увеличителей тяги получаются большими, в основном, из-за необходимости создания весьма длинных камер смешения. Было установлено также,

что потребная длина камеры смешения резко уменьшается, если струя эжектирующего газа имеет в поперечном сечении не круглую форму, а форму, при которой увеличивается поверхность взаимодействия эжектирующего и эжектируемого потоков.

Необходимая форма эжектирующей струи может быть получена либо путем создания двигателя с соплом сложной конфигурации, либо путем использования насадка к обычному соплу, который преобразовывал бы струю круглого поперечного сечения в струю сложной формы.

Второй путь более предпочтителен, так как он не требует доработки двигателя. Однако его осуществление может быть затруднено из-за того, что потери на трение в насадке могут быть существенно больше потерь в сопле и сильно уменьшать или вообще уничтожать положительный эффект изменения формы струи. Объясняется это тем, что насадок должен работать при большой



1—эжекторный увеличитель тяги; 2—перфорированный насадок; 3—кронштейн; 4—тензовесы; 5—ходовой винт; 6—сопло; 7—форкамера; 8—мерное сопло; 9—дроссель; 10—уплотнение; 11—крепежные планки

Фиг. 2

скорости потока на входе, в то время как сопло, являющееся частью двигателя, может иметь на входе небольшую скорость, которая будет увеличиваться по направлению к выходному сечению.

В настоящей статье предлагается в качестве насадка, позволяющего существенно уменьшить габариты эжекторного увеличителя тяги, использовать перфорированную продольными щелями коническую (см. фиг. 1, б) приставку к соплу.

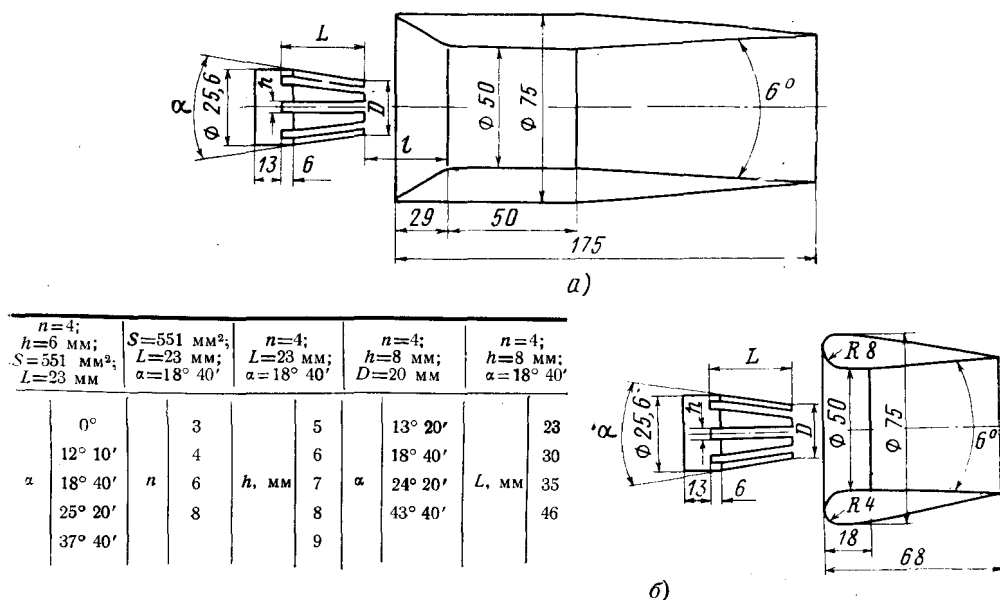
Применение перфорированных продольными щелями цилиндрических и конических насадков к соплу эжектирующего газа было впервые предложено в работах [4, 5] для улучшения характеристик сверхзвуковых эжекторов. В данной статье показано, что перфорированные продольными щелями конические насадки являются так же эффективным средством улучшения характеристик эжекторного увеличителя тяги для докритических перепадов давления на сопле эжектирующего газа.

Экспериментальное исследование эжекторных увеличителей тяги с перфорированными насадками на сопле эжектирующего газа проводилось на установке, схема которой представлена на фиг. 2, а. Сжатый воздух через дроссель и мерное сопло поступал в форкамеру и затем разгонялся в сопле. Исследуемые эжекторные увеличители тяги вместе с перфорированными насадками закреплялись консольно на кронштейне, который мог перемещаться на различные расстояния от сопла с помощью ходового винта. Перфорированные насадки закреплялись на эжекторном увеличителе тяги с помощью трех тонких крепежных планок (см. фиг. 2, а), позволяющих устанавливать перфорированный насадок на различных расстояниях от входа в камеру смешения эжекторного увеличителя тяги. Ходовой винт позволял каждый раз устанавливать кронштейн таким образом, чтобы зазор между перфорированным насадком и соплом установки имел бы величину порядка 1 мм (фиг. 2, б). Такая величина зазора, как показали эксперименты с уплотняющими кольцами (фиг. 2, в) и без них, не отражается на величине развиваемой эжектором тяги при исследованных величинах полного давления на срезе сопла. Отношение полного давления в форкамере к давлению окружающей среды изменялось при экспериментах от $\sim 1,2$ до ~ 2 .

Число Re, вычисленное по параметрам эжектирующей струи на выходе из сопла изменялось при этом от $\sim 0,35 \cdot 10^6$ до $\sim 0,66 \cdot 10^6$ (диаметр сопла эжектирующего газа был равен 25,6 мм).

В проведенных экспериментах изучалась работа двух вариантов эжекторного увеличителя тяги, отличающихся размерами и конфигурацией (фиг. 3). В процессе испытаний конфигурация и размеры эжекторных увеличителей тяги оставались неизменными, а изменялись геометрические параметры перфорированного насадка и его месторасположение по отношению к эжекторному увеличителю тяги. Варьировались следующие геометрические размеры перфорированного насадка: площадь щелей S , ширина h и длина щелей L , число щелей n , угол при вершине конуса α (фиг. 3).

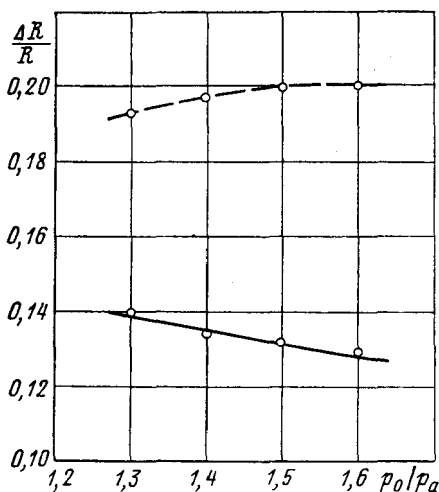
Последовательность проведения экспериментов, состоящих из пяти серий опытов, при которых варьировались перечисленные геометрические параметры, представлена на фиг. 3. Модели для каждой последующей серии опытов изготавливались при наивыгоднейшем значении изменяемого в предыдущей серии



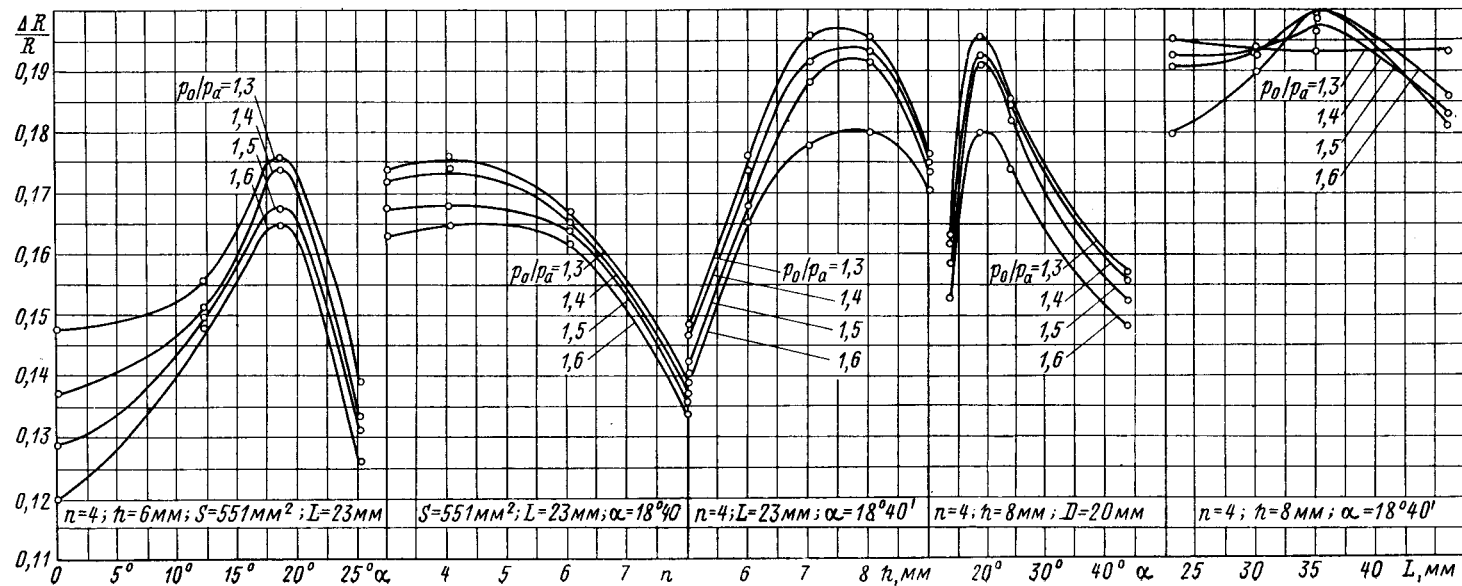
Фиг. 3

параметра. Для каждого варианта эксперименты проводились при различных расстояниях перфорированного насадка от эжекторного увеличителя тяги (размер l на фиг. 3) и сравнение результатов проводилось при наивыгоднейших для каждого варианта расстояниях.

Результаты экспериментов с полученным в пятой серии опытов лучшим вариантом перфорированного насадка и эжекторным увеличителем тяги, показанным на фиг. 3, а, представлены на фиг. 4, где по оси абсцисс отложено отношение полного давления в форкамере к окружающему давлению, а по оси ординат—отношение прироста тяги от эжекторного увеличителя тяги к исходной тяге сопла без насадка. Прирост тяги определялся экспериментально с помощью тензвесов, а величина исходной тяги сопла без насадка рассчитывалась по измеренным величинам расхода, температуры и давления в форкамере и по известной геометрии сопла. На фиг. 4 нанесены две кривые. Пунктирная кривая соответствует случаю, когда на выходе из сопла располагается перфорированный насадок. Сплошная кривая соответствует случаю, когда перфорированный насад-



Фиг. 4



Фиг. 5

док отсутствует. Видно, что применение перфорированного насадка резко повышает эффективность эжекторного увеличителя тяги по сравнению со случаем круглого сопла эжектирующего газа вплоть до очень малых перепадов давления на сопле высоконапорного газа, когда скорость эжектирующего газа значительно меньше звуковой.

Влияние геометрических параметров перфорированных насадков на эффективность показанных на фиг. 3 эжекторных увеличителей тяги совершенно аналогично. Полученные в испытаниях с обоими исследованными эжекторными увеличителями тяги оптимальные геометрические параметры перфорированного насадка совпали. На фиг. 5, для примера, представлены зависимости, полученные в опытах с эжекторным увеличителем тяги, изображенным на фиг. 3, а. Однако при более значительном отличии геометрических параметров эжекторных увеличителей тяги, оптимальные геометрические параметры перфорированных насадков, видимо, могут изменяться. Поэтому полученные результаты следует рассматривать как свидетельство того, что перфорированные сопла существенно повышают эффективность эжекторных увеличителей тяги вплоть до весьма малых дозвуковых скоростей эжектирующего газа (в проведенных экспериментах минимальная скорость эжектирующего газа на выходе из сопла была равна ~ 180 м/с).

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что установка за круглым соплом эжектирующего газа перфорированного продольными щелями конического насадка в существенной степени улучшает работу эжекторного увеличителя тяги вплоть до весьма малых дозвуковых скоростей на выходе из сопла эжектирующего газа.

В заключение авторы считают своим долгом выразить признательность Г. П. Свищеву за постановку задачи исследования эжекторных увеличителей тяги при докритических перепадах на сопле эжектирующего газа, а также за помощь и полезные обсуждения при выполнении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Присоединение дополнительной массы в струйных аппаратах. Сб. статей под редакцией проф. А. В. Колесникова. Труды МАИ, № 97, 1958.
2. Quin B. A simple estimate of the effect of ejector length on thrust augmentation. Engineering Notes, vol. 10, N 5, 1973.
3. Cheg D. Y., Wang P. Experimental study on optimization parameters of a supersonic jet ejector thrust augmentor. Journal of Aircraft, IX, vol. 10, N 9, 1973.
4. Аркадов Ю. К. Газовый эжектор с перфорированными продольными щелями соплом. „Изв. АН СССР, МЖГ“, 1968, № 2.
5. Аркадов Ю. К. Авторское свидетельство № 317825. „Бюллетень изобретений“, № 31, 1971.

Рукопись поступила 1/VII 1974 г.