

УДК 621.4/6:533.6

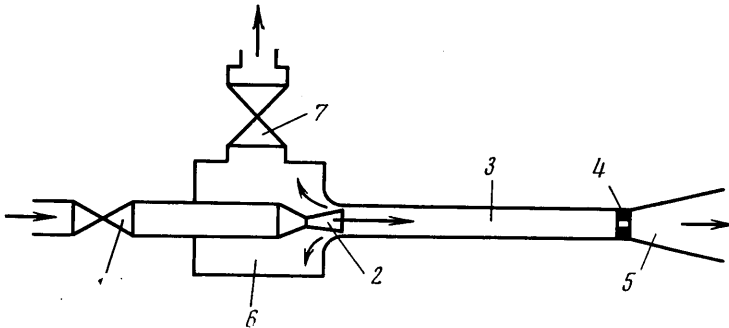
ОБ ИНВЕРСНЫХ ЯВЛЕНИЯХ ПРИ ЭНЕРГОРАЗДЕЛЕНИИ В ГАЗОВОМ ЭЖЕКТОРЕ

А. А. СТОЛЯРОВ

(Москва)

Обнаружены инверсные явления при энергоразделении в классическом газовом эжекторе, заключающиеся в том, что холодная и нагретая воздушные зоны меняются местами в зависимости от условий дросселирования на входе и на выходе эжектора.

В настоящее время получили развитие два способа разделения вначале однородной по температурам и давлениям газообразной среды на две части, различающиеся в общем случае полными температурами и давлениями. Первый из них, известный как эффект Ранка, заключается в разделении на холодную и горячую



Фиг. 1

части установившегося потока газа в поле центробежных сил, возникающих при вихревом течении [1]. Второй способ является нестационарным и связан с появлением динамического градиента температур в результате волновых движений газа в закрытых с одного конца трубах [2]. Внешне похожий, но имеющий иную физическую природу эффект энергоразделения наблюдается и в классических газовых эжекторах, работающих на режимах с отрицательными коэффициентами эжекции [3, 4]. Под отрицательными коэффициентами эжекции понимается отношение массового расхода газа, вытекающего из камеры смешения в форкамеру, к расходу газа, выходящего из камеры смешения эжектора. Режимы работы эжектора с отрицательными коэффициентами эжекции возникают в тех случаях, когда, например, выходное сечение конической камеры смешения не пропускает всего расхода газа или когда эжектор с цилиндрической камерой смешения сильно задросселирован по выходу.

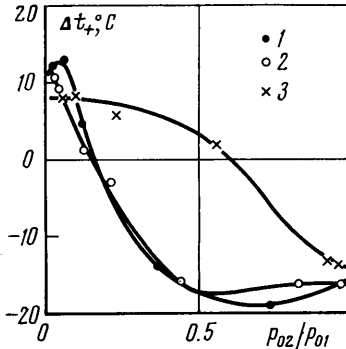
Существенным результатом представленной работы является обнаружение инверсного характера эффекта энергоразделения в газовом эжекторе, заключающегося в том, что нагретая и холодная газовые зоны могут меняться местами в зависимости от условий дросселирования данного эжектора.

Экспериментальный эжектор состоял из сверхзвукового конического сопла с диаметром горла 5,2 мм, диаметром выходного сечения 11,6 мм, углом уширения 10° и цилиндрической камеры смешения диаметром 30,5 мм, длиной 10 калибров. Выходное сечение камеры смешения перекрывалось сменными пробками. Одна пробка была глухой, а другая имела центральное сверление диаметром 4,8 мм.

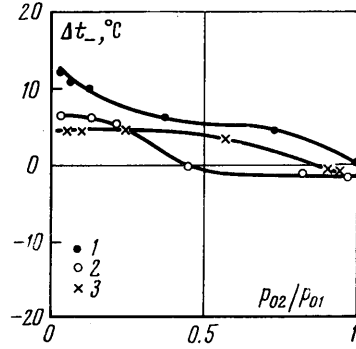
Схема экспериментальной установки вместе с исследованным эжектором приведена на фиг. 1. Сжатый воздух из компрессора через регулирующую задвижку 1 поступал в сверхзвуковое сопло 2 эжектора, откуда вытекал в камеру смешения 3. Часть воздуха через сверление в пробке 4 выпускалась через диффузор 5 в атмосферу. Другая часть воздуха вытекала из камеры смешения в форкамеру 6 установки и через регулирующий дроссель 7 также выбрасывалась в атмосферу. С помощью дросселя 7 снимались характеристики газового эжектора на режимах с отрицательными коэффициентами эжекции путем создания противодействия в форкамере установки. Измерялись давления воздуха на входе в сопло и в форкамере пружинными образцовыми манометрами. Кроме того, измерялись температуры воздуха на входе в сопло, в форкамере и в конце камеры смешения ХК-термопарами. Исследо-

вания проводились при давлениях воздуха перед соплом, равных 20, 30 и 40 бар. При давлениях, меньше 10 бар, эффект энергеразделения практически исчезал.

Экспериментальные характеристики эжектора представлены на фиг. 2 и 3 в виде зависимостей $\Delta t_+ = (t_{03} - t_{01}) = f(p_{02}/p_{01})$, $\Delta t_- = (t_{01} - t_{02}) = f(p_{02}/p_{01})$, где t_{01} — полная температура воздуха на входе в сопло, t_{02} — полная температура воздуха в форкамере, t_{03} — полная температура воздуха в конце камеры смешения, p_{01} — полное давление воздуха на входе в сопло, p_{02} — полное давление воздуха в форкамере. Точка 1 — $p_{01} = 40$ бар, 2 — $p_{01} = 30$ бар, 3 — $p_{01} = 20$ бар.



Фиг. 2



Фиг. 3

Анализ данных на фиг. 2 показывает, что максимальный подогрев воздуха в конце камеры смешения с сверленной пробкой для $p_{01} = 40, 30$ и 20 бар — соответственно 13, 10,5 и $8,5^\circ\text{C}$. С увеличением противодавления в форкамере подогрев уменьшается и, начиная с некоторой величины противодавления, наступает инверсия, т. е. воздух в конце камеры смешения не нагревается, а, наоборот, охлаждается. Максимальное охлаждение воздуха в конце камеры смешения при $p_{01} = 40, 30$ и 20 бар — соответственно 19, 16 и $13,5^\circ\text{C}$. Соответствующие измеренные на том же воздухе интегральные дроссель-эффекты составляли 8, 5 и $2,5^\circ\text{C}$.

На фиг. 3 даны зависимости величины охлаждения воздуха в форкамере от противодавления. Как видно, максимальное охлаждение в форкамере превышает соответствующие значения дроссель-эффекта, однако это превышение составляет $1,5\text{--}5^\circ\text{C}$. В форкамере также наблюдается инверсия, т. е. с некоторого противодавления воздух начинает не охлаждаться, а нагреваться. Однако перепад температур при этом существенно меньше, а противодавление начала инверсии гораздо выше, чем это имеет место для процессов в конце камеры смешения. В диапазоне давлений $p_{01} = 30\text{--}40$ бар и $t_{01} = 9^\circ\text{C}$ получено охлаждение воздуха до $-7,0\text{--}10^\circ\text{C}$ при полностью закрытом дросселе 7 на режиме, когда весь воздух выходил через сверление в пробке.

Исследования газового эжектора с глухой пробкой показали следующее: при $p_{01} = 20$ бар и $p_{02}/p_{01} = 0,05\text{--}0,96$ охлаждение воздуха достигало $\Delta t_- = 1\text{--}2,5^\circ\text{C}$ и подогрев $\Delta t_+ = 18,5\text{--}31,5^\circ\text{C}$, при $p_{01} = 30$ бар и $p_{02}/p_{01} = 0,0333\text{--}0,965$ — $\Delta t_- = 4\text{--}6,5^\circ\text{C}$ и $\Delta t_+ = 20\text{--}48^\circ\text{C}$, при $p_{01} = 40$ бар и $p_{02}/p_{01} = 0,0234\text{--}1$ — $\Delta t_- = 8\text{--}12,5^\circ\text{C}$ и $\Delta t_+ = 8\text{--}59,5^\circ\text{C}$, где большие цифры относятся к меньшим значениям p_{02}/p_{01} . Отметим, что охлаждение воздуха в опытах с глухой пробкой всего на $1,5\text{--}4,5^\circ\text{C}$ превышает величину интегрального дроссель-эффекта.

Поступила 1 VII 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Маргынковский В. С., Войтко А. М. Эффект Ранка при низких давлениях. Теплоэнергетика, 1961, № 2.
2. Джибфорд, Лонгсуорт. Холодильная машина с пульсирующей трубкой. Тр. Америк. об-ва инж.-механ. Сер. В. Конструирование и технология машиностроения, 1964, т. 86, № 3.
3. Емин О. Н., Зарицкий С. П., Моравский А. В. Экспериментальное исследование работы эжекторов на режимах с отрицательным значением коэффициента эжекции. Теплоэнергетика, 1972, № 10.
4. Емин О. Н., Зарицкий С. П. Воздушные и газовые турбины с одиночными соплами. М., «Машиностроение», 1975.