

**Черепанов Анатолий Петрович,**  
д.т.н., профессор кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: boning89@mail.ru

**Ушаков Павел Олегович,**  
магистрант кафедры «Машины и аппараты химических производств»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: link\_p@mail.ru

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЖЕКТИРОВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПОТОКОВ**

**Cherepanov A.P., Ushakov P.O.**

## **DEVICE FOR EJECTING MULTIPLE STREAMS**

**Аннотация.** В статье рассмотрено оригинальное устройство для эжектирования нескольких потоков, основанное на принципе распределения потока в щелевом зазоре и предназначенное для повышения степени разрежения эжектируемых жидких и газообразных сред.

**Ключевые слова:** газожидкостная смесь, массообменные процессы, эжектор.

**Abstract.** The article considers an original device for ejecting multiple streams, based on the principle of flow distribution in a slot gap and designed to increase the degree of rarefaction of ejected liquid and gaseous media.

**Keywords:** ejector, gas-liquid mixture, mass transfer processes.

Процесс эжектирования потоков широко применяется во многих отраслях промышленности, в том числе для интенсификации массообменных процессов.

Известно, что при развороте потока, например, в изогнутой трубе, или при обтекании потоком препятствия, образуется каверна, которая способствует понижению давления в зоне ее соприкосновения со стенкой вследствие увеличения скорости за счет уменьшения поперечного сечения потока в этой зоне. В работе [1] рассмотрено течение потока в малом по отношению к поперечному сечению сопла радиально-щелевом зазоре между двумя стенками. При подаче потока в радиально-щелевой зазор за кромкой сопла образуется кольцевая зона разрежения. На этом принципе разработан способ эжектирования потока [2], в котором эжектирующий поток подают через центральное сопло, в радиально-щелевом зазоре смешивают его с подаваемым в полость низкого давления эжектируемым потоком, а полученная смесь выходит за пределы радиально-щелевого зазора.

Способ эжектирования потока и устройство для его осуществления, предложенные в работе [3] также заключается в подаче эжектирующего потока под давлением через центральное сопло в радиально-щелевой зазор и смешивании с несколькими эжектируемыми потоками, которые всасывают в радиально-щелевой зазор через кольцевые каналы и отводят смешанный поток через радиально-щелевой зазор между стенками за пределами последнего кольцевого канала. Однако, при двухсторонней подаче эжектируемых потоков в радиально-щелевой зазор, кольцевые каналы в стенках располагались навстречу друг другу на равных расстояниях от центрального канала. В работе [4] приве-

дены исследования, которыми установлено, что избыточное давление расходящегося потока при его безотрывном течении в радиально-щелевом зазоре создает в нем чередующиеся кольцевые зоны разрежения и кольцевые зоны повышенного давления, наличие которых регистрировалось с помощью U-образных манометров.

Эжектор для смешивания нескольких потоков [4] выполнен со встречным расположением кольцевых каналов на одинаковых расстояниях от центрального канала питания. При этом первый кольцевой канал со стороны основной стенки совпадает с кольцевой зоной разрежения, а противоположный ему второй кольцевой канал со стороны отражающей стенки совпадает с кольцевой зоной повышенного давления и препятствует эжектированию потока из первого кольцевого канала. На выходе из последней кольцевой зоны разрежения смешанный поток непосредственно за ее пределами также попадает в зону повышенного давления. Таким образом, расположение кольцевых каналов на одинаковых расстояниях от центрального канала без учета чередующихся кольцевых зон разрежения и кольцевых зон повышенного давления в радиально-щелевом зазоре снижает эффективность и производительность эжектора.

Эжектор для смешивания нескольких потоков, предложенный в работе [5], показан на рисунке 1. Эжектор содержит основную стенку 1 и отражающую стенку 2, скрепленные между собой в нескольких точках, не препятствующих движению потока (крепление стенок 1 и 2 между собой на рисунках не показано). Стенки 1 и 2 установлены друг относительно друга неподвижно и образуют радиально-щелевой зазор 3, величина  $h$  которого выбирается так, чтобы между стенками 1 и 2 обеспечивалось безотрывное течение расходящегося в нем эжектирующего потока 5. Центральное сопло 4 расположено в основной стенке 1 и служит для подачи эжектирующего потока 5 под избыточным давлением  $P_{И}$  в радиально-щелевой зазор 3. Для повышения скорости эжектирующего потока и создания безотрывного течения величина  $h$  радиально-щелевого зазора 3 выбирается меньше величины поперечного сечения активного центрального сопла 4. В данном устройстве использовано три эжектируемых потока  $P_{B1}$ ,  $P_{B2}$  и  $P_{B3}$ . Кольцевой канал 6 расположен в основной стенке 1 коаксиально активному центральному соплу 4 и соединен полостью 7 с отверстием 8 для всасывания

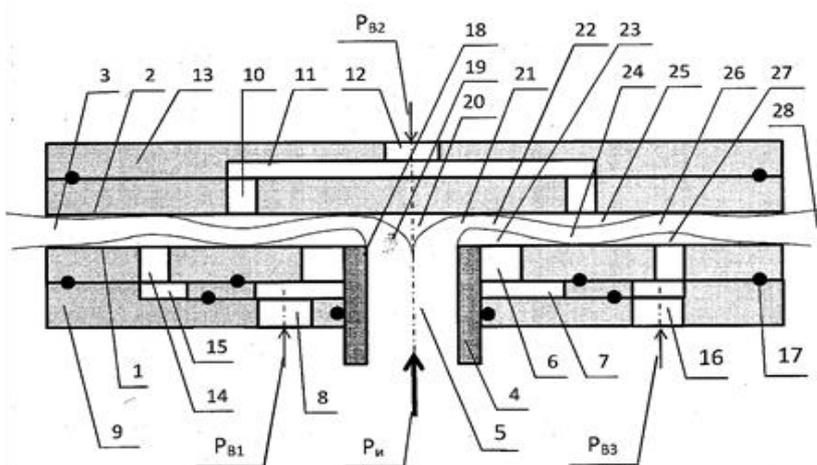


Рисунок 1 - Эжектор для смешивания нескольких потоков

аляно-щелевой зазор 3, величина  $h$  которого выбирается так, чтобы между стенками 1 и 2 обеспечивалось безотрывное течение расходящегося в нем эжектирующего потока 5. Центральное сопло 4 расположено в основной стенке 1 и служит для подачи эжектирующего потока 5 под избыточным давлением  $P_{И}$  в радиально-щелевой зазор 3. Для повышения скорости эжектирующего потока и создания безотрывного течения величина  $h$  радиально-щелевого зазора 3 выбирается меньше величины поперечного сечения активного центрального сопла 4. В данном устройстве использовано три эжектируемых потока  $P_{B1}$ ,  $P_{B2}$  и  $P_{B3}$ . Кольцевой канал 6 расположен в основной стенке 1 коаксиально активному центральному соплу 4 и соединен полостью 7 с отверстием 8 для всасывания

эжектируемого потока  $P_{B1}$  в радиально-щелевой зазор 3 через коммутационную панель 9. Кольцевой канал 10 расположен в отражающей стенке 2 коаксиально центральному активному соплу 4 и соединен полостью 11 с отверстием 12 для всасывания эжектируемого потока  $P_{B2}$  в радиально-щелевой зазор 3 через коммутационную панель 13. Кольцевой канал 14 расположен в основной стенке 1 коаксиально центральному соплу 4 и соединен полостью 15 с отверстием 16 для всасывания эжектируемого потока  $P_{B3}$  в радиально-щелевой зазор 3 через коммутационную панель 9. Таким образом, эжектируемые потоки соединены между собой размещенной со свободной стороны основной стенки 1 коммутационной панелью 9 и размещенной со свободной стороны отражающей стенки 2 коммутационной панелью 13. Коммутационные панели 9 и 13 уплотнены кольцами 17, которые служат для герметизации полостей 7, 11, 15.

Основные размеры и параметры эжектора показаны на рисунке 2.

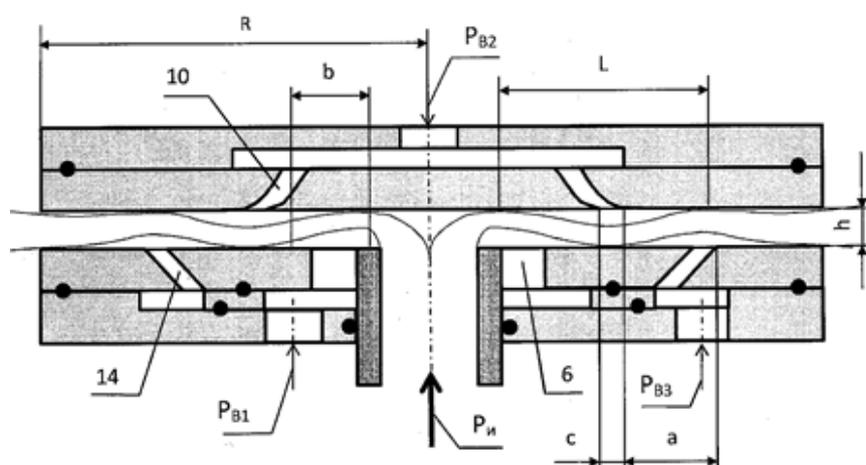


Рисунок 2 - Основные размеры и параметры эжектора

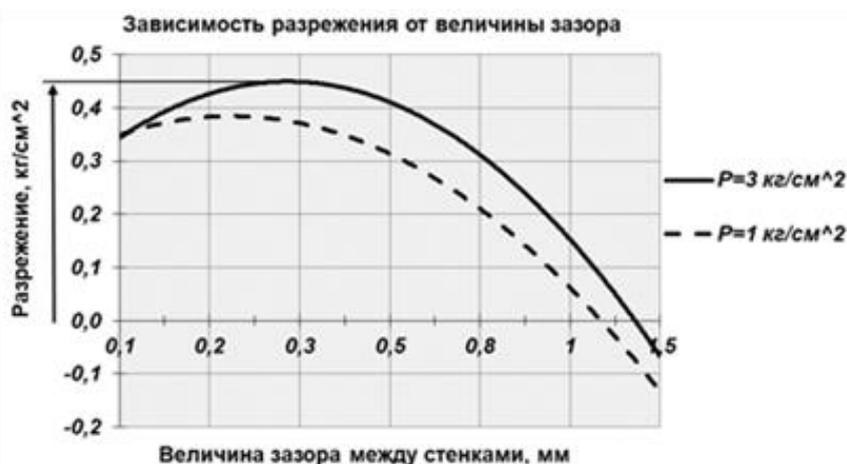
Эжектор работает следующим образом. При безотрывном течении между стенками 1 и 2 эжектирующий поток 5 под избыточным давлением  $P_{И}$  при подаче в центральное сопло 4 на выходе из него отрывается от кромки 18, в радиально-щелевом зазоре 3 создается

струя 19, которая ударяется о сплошную отражающую стенку 2, в центре струи 19 образуется зона пониженного давления 20. Давление в радиально-щелевом зазоре 3 ниже, чем давление эжектирующего потока 5, поэтому после его отрыва от кромки 18 в радиально-щелевом зазоре 3 образуется расходящееся безотрывное течение потока. В кольцевом сечении 21 скорость потока возрастает, образуется первое сужение потока 22 со стороны основной стенки 1 и создается первая кольцевая зона разрежения 23, которая через кольцевой канал 6 и полость 7 всасывает эжектируемый поток  $P_{B1}$  из отверстия 8 в радиально-щелевой зазор 3, где эжектируемый поток  $P_{B1}$  смешивается с эжектирующим потоком 5. Под воздействием первой кольцевой зоны разрежения 23 смешанный поток прижимается к основной стенке 1, образуется второе сужение потока 24 и со стороны отражающей стенки 2 создается вторая кольцевая зона разрежения 25, которая через кольцевой канал 10 и полость 11 всасывает эжектируемый поток  $P_{B2}$  из отверстия 12 в радиально-щелевой зазор 3, где эжектируемый поток  $P_{B2}$  смешивается с потоком в радиально-щелевом зазоре 3. Под

воздействием второй кольцевой зоны разрежения 25 смешанный поток прижимается к отражающей стенке 2, образуется третье сужение потока 26. Со стороны основной стенки 1 создается третья кольцевая зона разрежения 27, которая через кольцевой канал 14 и полость 15 всасывает эжектируемый поток  $P_{B3}$  из отверстия 16 в радиально-щелевой зазор 3, в котором эжектируемый поток  $P_{B3}$  смешивается с потоком в радиально-щелевом зазоре 3. Таким образом эжектируемые потоки  $P_{B1}$ ,  $P_{B2}$  и  $P_{B3}$ , смешанные в трех кольцевых зонах 23, 25 и 27, образуют единый смешанный поток 28, который за последней кольцевой зоной разрежения выходит за пределы радиально-щелевого зазора 3.

Максимальное разрежение эжектируемого потока создается тогда, когда эжектируемые потоки  $P_{B1}$ ,  $P_{B2}$  и  $P_{B3}$  из кольцевых каналов 6, 10, 14 полностью всасываются в кольцевых зонах разрежения 23, 25, 27. Для этого в радиальном направлении ширина  $c$  кольцевого канала 6, 10, 14 меньше ширины  $b$  сопряженной с ним кольцевой зоны разрежения 23, 25, 27, тогда расстояния  $a$  между смежными кольцевыми каналами 6, 10, 14 должны быть примерно равны ширине  $b$  смежных с ними кольцевых зон разрежения 23, 25, 27.

В радиальном направлении длина  $L$  и ширина  $b$  кольцевых зон разрежения 23, 25, 27 могут изменяться по ряду причин, например, при неоднородности эжектирующей и эжектируемых сред, изменении давления эжектирующего потока, или при подборе оптимальной величины  $h$  радиально-щелевого зазора 3, поэтому ширину  $c$  кольцевых каналов 6, 10, 14 следует задавать не более ширины  $b$



ширины  $b$  соответствующей кольцевой зоны разрежения 23, 25, 27.

На рисунке 3 в качестве примера показан график зависимости разрежения от величины  $h$  радиально-щелевого зазора 3 при безотрывном

течении потока. График показывает, что безотрывное течение расходящегося эжектирующего потока создается при величине  $h$  от 0,1 до 1,0 мм радиально-щелевого зазора 3, которое задается

Рисунок 3 - График зависимости разрежения от величины зазора

относительным положением стенок 1 и 2 и величиной избыточного давления в канале питания 4. Например, при зазоре  $h=0,3$  мм и избыточном давлении  $P_{И}=1,0$  кг/см<sup>2</sup> величина разрежения составляет 0,37 кг/см<sup>2</sup>, а при избыточном давлении  $P_{И}=3,0$  кг/см<sup>2</sup> величина разрежения

составляет  $0,45 \text{ кг/см}^2$ . Значит, с увеличением избыточного давления в канале питания 4 разрежение в кольцевых зонах разрежения 23, 25, 27 возрастает.

Таким образом, величину разрежения эжектируемого потока в кольцевых зонах разрежения 23, 25, 27 можно регулировать (понижать или повышать) одним или несколькими приемами, в том числе:

- изменением избыточного давления  $P_{и}$  потока 5 в активном центральном сопле 4;
- изменением площади поперечного сечения центрального сопла 4;
- изменением площади сечения радиально-щелевого зазора 3 за счет увеличения радиуса  $R$  основной 1 и отражающей 2 стенок;
- изменением величины  $h$  радиально-щелевого зазора 3 в пределах обеспечения в нем безотрывного течения потока;
- изменением количества эжектируемых потоков и соответствующего им количества кольцевых зон разрежения и кольцевых каналов от 1 до  $n$ .

Для снижения сопротивления всасыванию эжектируемого потока кольцевой канал 6 в основной стенке и кольцевые каналы 10, 14 в отражающей стенке в радиальном направлении могут быть, например, наклонными, как кольцевой канал 14, или криволинейными, как кольцевой канал 10, как показано на рисунке 2.

Предложенное устройство для эжектирования нескольких потоков позволяет снизить потери кинетической энергии, повысить разрежение эжектируемого потока и увеличить его производительность.

Испытание и сравнение при равных диаметрах активных сопел и равных избыточных давлениях потока воздуха показало, что предложенный эжектор с одной кольцевой зоной разрежения создает разрежение в 4 раза выше эжектора на основе сопла Лавала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чупраков Ю.И. Гидропривод и средства гидроавтоматики: Учебное пособие для вузов по специальности «Гидропривод и гидроавтоматика». М. Машиностроение, 1979-232 с.
2. Авторское свидетельство СССР № 338687, МКИ F 04 F5/14, Опубл. 15.05.1972, Бюлл. № 16.
3. Патент US 5584668 A (Volkman) МКИ F04F 5/16; F04F 5/22; F04F 5/00; F04F 005/00 17.12.1996.
4. Черепанов А.П. Струйно-логические устройства автоматической ориентации плоских деталей при сборке. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск 1993. – 158 с.
5. Патент Российской Федерации № 2705695, МПК F04F 5/44. Способ эжектирования потока и устройство для его осуществления // Черепанов А.П. Заявитель: ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет». Опубл.: 11.11.2019 Бюл. № 32.