

УДК 621.694.2+621.452

В. А. СЫЧЕНКОВ, канд. техн. наук; доц. каф. РДЭУ, КНИТУ–КАИ; Казань, Россия;

В. И. ПАНЧЕНКО, канд. техн. наук; проф. каф. РДЭУ, КНИТУ–КАИ; Казань, Россия;

Р. Р. ХАЛИУЛИН, магистрант каф. РДЭУ, КНИТУ–КАИ; Казань, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФАЗНЫХ ЭЖЕКТОРОВ

Представлены результаты численных и экспериментальных исследований эжекторов. Приведены расчетные и экспериментальные результаты определения коэффициента эжекции для газовых и газожидкостных эжекторов, которые имеют широкое применение в различных областях техники. Определены оптимальные геометрические параметры, влияющие на работу эжектора и обеспечивающие больший коэффициент эжекции при меньших потерях энергии активного потока. Особенностью данных исследований эжекторов заключается в том, что давление пассивного потока и давление на выходе из эжектора равны атмосферному давлению. При сравнении результатов расчетных исследований с экспериментальными данными наблюдается близкая сходимость.

Ключевые слова: эжектор, коэффициент эжекции, камера смешения, диффузор.

Введение

Эжекторные устройства – газовые компрессоры, струйные аппараты, струйные насосы нашли широкое применение в авиации, энергетике, нефтегазовой промышленности, химической и нефтехимической промышленности, пожарной технике и др. Независимо от области применения эжекторы состоят из сопел активного *1* и пассивного потоков *2*, камеры смешения *3* и диффузора *4* (рис. 1).

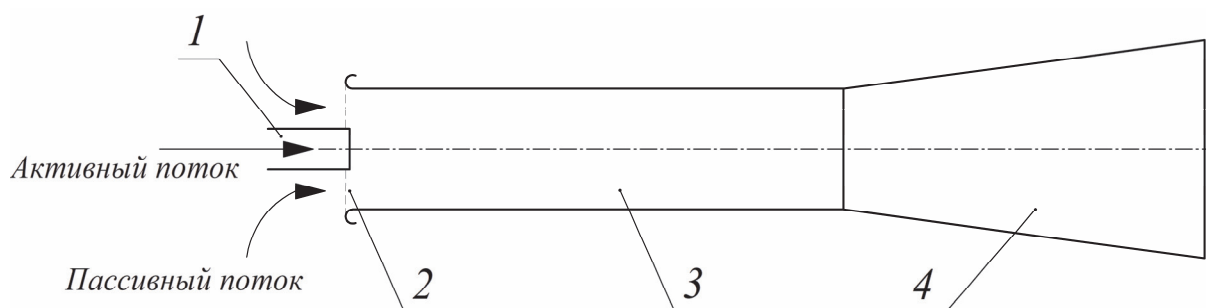


Рис. 1 – Схема простейшего эжектора

Одной из важных характеристик эжектора являются его геометрические размеры, которые обеспечивают необходимый коэффициент эжекции

$$n = \frac{G_2}{G_1}.$$

Анализ основных достижений и литературы

В имеющихся источниках приводятся данные о зависимости характеристик эжектора от геометрических и режимных параметров. Определены направления по улучшению эжекторных устройств. В работах [1, 2] показано, что длина камеры смешения эжектора, обеспечивающая полное смешение потоков, должна составлять 6–8 калибров её входного сечения для газовых эжекторов. Для уменьшения длины камеры смешения используют метод разбиения активного потока на несколько струй [1, 2].

© В.А. Сыченков, В.И. Панченко, Р.Р. Халиулин, 2014

Цель исследований, постановка задачи

Целью исследований является определение влияния геометрических и режимных параметров на коэффициент эжекции различных эжекторов: 1) газовых; 2) газожидкостных.

Особенность исследованных эжекторов заключается в том, что давление пассивного потока и давление на выходе из эжектора равны атмосферному давлению.

В газовых эжекторах с кольцевой камерой смешения были исследованы: влияние установки сопла с вихревой струей, установки центрального тела, подвода пассивного газа через пилоны.

Задачей исследования газовых эжекторов является получение равномерного поля температуры смеси продуктов сгорания (активного потока) и воздуха (пассивного потока), а также уменьшение величины температуры смеси.

Газожидкостные эжекторы нашли свое применение в пожарной технике – в качестве пеногенераторов. Основными характеристиками пеногенераторов являются – дальность подачи струи и кратность пены.

В газожидкостных эжекторах с кольцевой камерой смешения для получения пены необходимой кратности и размеров пузырьков устанавливают сетки для разбиения активного потока и смешения его с воздухом. Установка сеток ведет к существенной потере энергии из-за гидравлического сопротивления, создаваемого сеткой, и соответственно к снижению дальности подачи струи.

Задачей исследования газожидкостных эжекторов является получение максимальной дальности подачи струи.

Материалы исследований

1 Исследование кольцевых газовых эжекторов. Газовые эжекторы используются в частности для снижения температурного поля продуктов сгорания газотурбинного двигателя. Целью исследования является снижение температуры газовыхлопа и получение равномерного поля температуры на выходе из эжектора. Равномерность поля температур означает, что горячий поток продуктов сгорания полностью перемешался с воздухом, который эжектируется из окружающей среды.

Исследования проводились на эжекторах с одинаковым отношением длины к диаметру L/D близком к двум (L – длина камеры смешения и диффузора). Исследованы: 1) влияние размера системы $D = 0,06–0,42$ м; 2) отношение площадей проходных сечений внешнего и внутреннего пассивных потоков; 3) влияние способа подвода активного и пассивного воздуха на форму поля температур на выходе из диффузора; 4) влияние температуры – t_1 и скорости – W_1 на выходные значения t_4 и W_4 .

В результате исследования, подобрано отношение площадей для подвода пассивного и активного воздуха $\bar{F} = \frac{F_{\text{ПАС.}}}{F_{\text{АКТ.}}} = 3$, при котором $t_4 = 170$ °С при $t_1 = 360$ °С.

При этом наиболее равномерное поле t_4 получилось при отношении расходов внешнего и внутреннего пассивных потоков 2:1. Из исследований геометрических параметров наиболее интересный результат – это организация подвода внутреннего пассивного потока через пилоны каплеобразной формы, установленные в диффузоре, а также подвод активного потока через кольцевую щель с вихревым входом.

Результаты исследований

В результате исследований разработана конструкция эжектора с оптимальными геометрическими параметрами, обеспечивающими полное смешение газовыхлопа с воздухом на длине не более $L \leq 2D$ (рис. 2).

Расчетные исследования проводились на различных моделях эжекторов в

программном комплексе *ANSYS-Fluent*. Подбиралась наиболее подходящая модель вязкости – *k-ε RNG*. На пристеночных областях применялось сгущение сетки. Качество сетки составляло $Y^+ = 1...3$. Полученные данные подтвердили экспериментальные результаты работ [3, 4].

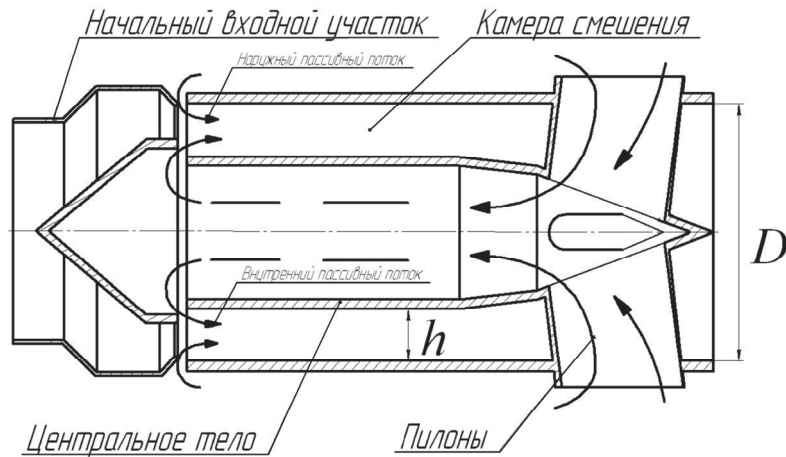


Рис. 2 – Эжектор оптимальной геометрии

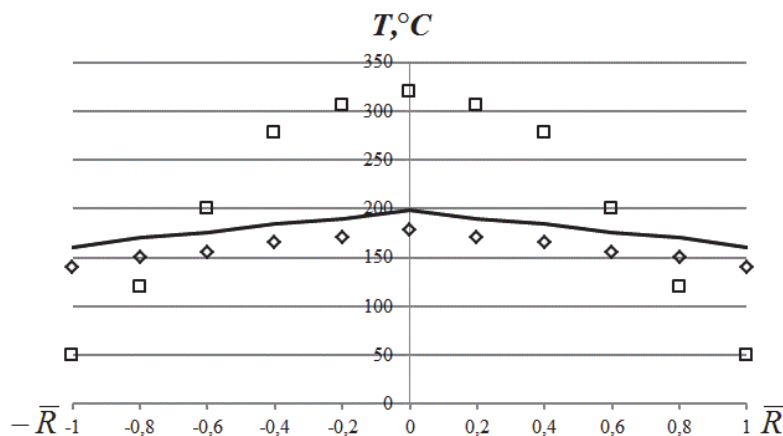


Рис. 3 – Поля температур исследуемых эжекторов:

- Классический кольцевой эжектор (эксперимент) (рис. 1);
- ◇ – Исследуемый эжектор (эксперимент) (рис. 2);
- Исследуемый эжектор (расчет *Fluent*) (рис. 2)

На рис. 3 приведены зависимости поля температур от радиуса, полученные в результате экспериментальных и расчетных исследований. По графику видно, что поле температур, замеренное на срезе диффузора у исследуемого эжектора довольно равномерное, что говорит о полном смешении потоков.

2 Исследование газожидкостных эжекторов

Газожидкостные эжекторы получили широкое применение в пожарной технике, которые используются для получения водо-воздушной струи и подачи смеси на расстояние, для тушения очагов пламени.

Исследования проводились для газожидкостных эжекторов, в которых рабочее тело активного потока является вода, пассивным потоком – воздух эжектируемый из окружающей среды (рис. 4).

Исследовались: 1) Организация подачи активного потока. 2) Организация подачи пассивного потока через пояса отверстий. 3) Кратность полученной смеси.

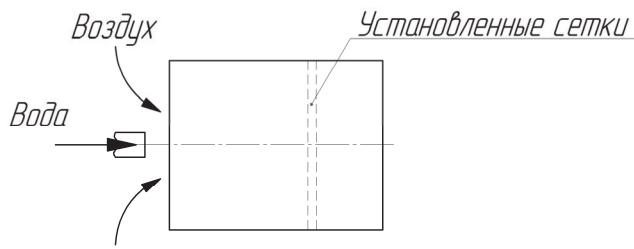


Рис. 4 – Схема пеногенератора

4) Зависимость дальности подачи струи от давления на входе.

Отличием данного пеногенератора от имеющихся аналогов является использующийся в нем принцип эжекции, позволяющий уменьшить потери давления, и как следствие увеличить дальность подачи струи пеноводяной смеси. Данный

пеногенератор представляет собой двухступенчатый эжектор (рис. 5). Пассивный поток эжектируется через отверстия в первой ступени и через кольцевой канал во второй ступени [5, 6].

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 5. Замер давления на входе осуществлялся с помощью манометра, в ходе эксперимента давление на входе поддерживается постоянным. Статическое давление в камере смешения измеряется с помощью пьезометрических трубок, которые установлены согласно рисунку 5.

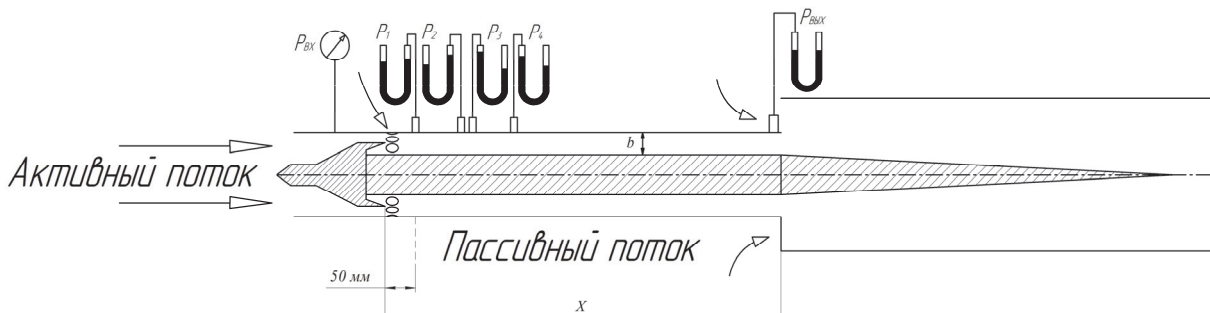


Рис. 5 – Схема экспериментальной установки

На рис. 6 представлена зависимость изменения давления $P_{отн.} = \frac{2P}{\rho w_1^2}$ (где P – статическое давление, ρ – плотность жидкости активного потока, w_1 – скорость активного потока) от расстояния вдоль камеры смешения x/b пеногенератора в первой ступени. Крестиками обозначены результаты экспериментальных исследований, прерывистой – расчетных исследований в *ANSYS-Fluent*.

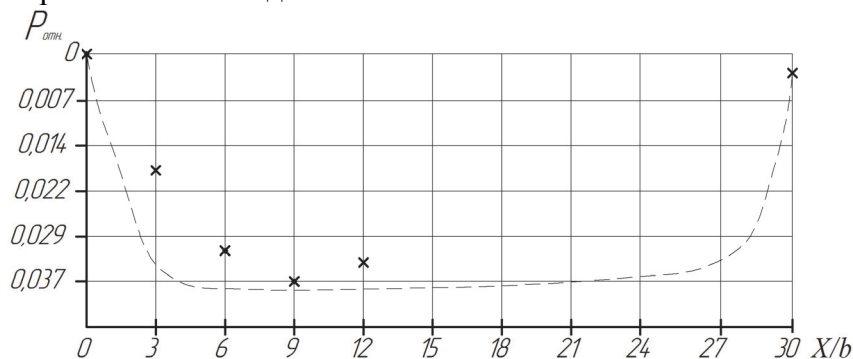


Рис. 6 – Распределение относительного давления по тракту эжектора

Снижение давления обусловлено эжектированием пассивного потока. В ходе исследований были получены зависимости скорости W_4 на выходе из эжектора и потребной мощности N от давления активного потока (рис. 7).

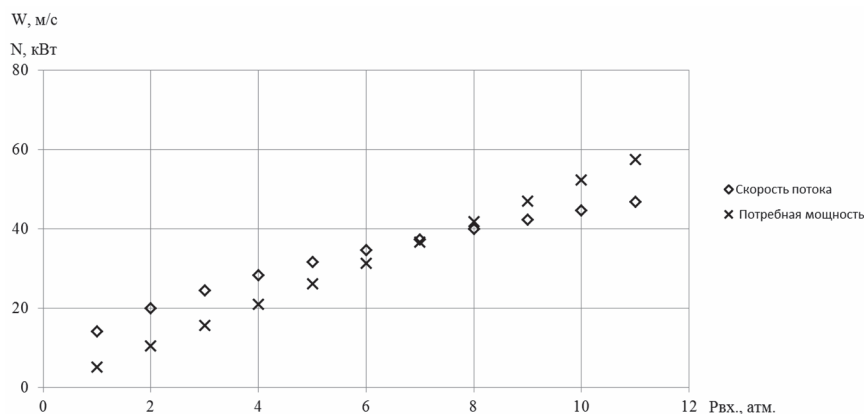


Рис. 7 – Зависимость изменения скорости и мощности от расхода активного потока

Результаты исследований

Проведены исследования эжектора, обеспечивающего полное смешение компонентов и необходимую дальность подачи струи 25 м при пеновоздушной кратности смеси 25–30.

Выводы

В результате исследований разработаны эжекторы, обеспечивающие полное смешение потоков на малой длине камеры смешения и максимальный коэффициент эжекции при минимальных потерях давления.

Список литературы: 1. *Абрамович, Г. Н.* Прикладная газовая динамика [Текст] / Г. Н. Абрамович. – М.: Наука, 1976. – 888 с. 2. *Соколов, Е. Я.* Струйные аппараты [Текст] / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – 3-е изд., перераб. – М. Энергоатомиздат, 1989. – 352 с. 3. *Кузьмин, В. А.* Методики расчета эжекторов, применяемых в промышленности и энергетике [Текст] / В. А. Кузьмин, В. И. Панченко, В. А. Сыченков и др. // Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии. Сб. науч. статей. – Киев: НПВК Триакон, 2012. – Вып. 2(10). – С. 92–95. 4. *Халиулин, Р. Р.* Исследование коаксиального газового эжектора [Текст] / Р. Р. Халиулин // Сборник материалов Международной молодежной научной практической конференции «Туполевские чтения». – Казань: КНИТУ-КАИ, 2011. 5. Пат. 119417 Российская Федерация, МПК7 F04F5/30. Эжектор / Сыченков В. А., Панченко В. И., Халиулин Р. Р. и др.; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-внедренческая фирма «Спектр». – № 2012112780/06; заявл. 02.04.2012; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.– 2 с.: ил. 6. Пат. 116925 Российская Федерация, МПК7 F04F5/30. Эжектор / Сыченков В. А., Панченко В. И., Халиулин Р. Р. и др.; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-внедренческая фирма «Спектр». – № 2011149794/06; заявл. 07.12.2011; опубл. 10.06.2012, Бюл. № 16.– 2 с.:ил.

Bibliography (transliterated): 1. Abramovich, G. N. *Prikladnaja gazovaja dinamika*. Moscow: Nauka, 1976. Print. 2. Sokolov, E. Ja. and N. M. Zinger. *Strujnye apparaty*. Moscow: Jenergoatomizdat, 1989. Print. 3. Kuz'min, V. A., et al. "Metodiki rascheta jezhektorov, primenjaemyh v promyshlennosti i jenergetike" *Sovremennaja nauka: idei, issledovanija, rezul'taty, tehnologii*. No. 2 (10). Kiev: NPVK Triakon, 2012. 92–95. Print. 4. Haliulin, R. R. "Issledovanie koaksial'nogo gazovogo jezhektora." *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj prakticheskoj konferencii "Tupolevskie chtenija"*. Kazan': KNITU-KAI, 2011. Print. 5. Sychenkov, V. A., et al. "Jezhektor." RU Patent 119417 (MPK7 F04F5/30). 20 August 2012. 6. Sychenkov, V. A., et al. "Jezhektor." RU Patent 116925 (MPK7 F04F5/30). 10 June 2012.

Поступила (received) 14.02.2014