

Э.Э.Шпильрайн², С.И.Вайнштейн³, А.П.Севастьянов¹, Ю.А.Севастьянов¹

Московский энергетический институт (технический университет), Россия (1)

Институт высоких температур РАН, Москва, Россия (2)

Московский государственный университет инженерной экологии, Россия (3)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ В КАМЕРЕ СМЕШЕНИЯ КОНДЕНСИРУЮЩЕГО ИНЖЕКТОРА

АННОТАЦИЯ

В работе приведены результаты экспериментального определения потерь в камере смешения (КС) с малой площадью горла диффузора. Оценка потерь характеризуется коэффициентом скорости и коэффициентом потерь энергии в реальных условиях по сравнению с процессом изобарического смешения без трения на стенках КС.

1. ВВЕДЕНИЕ

Общим недостатком ряда экспериментальных исследований процессов в конденсирующих инжекторах является проведение их на моделях с горлом диффузора достаточно большого размера, что затрудняет выявление влияния потерь трения в камере смешения на эффективность. Поэтому полученные данные о потерях нельзя обобщить на модели с малым горлом диффузора.

Авторами были проведены эксперименты в широком диапазоне изменения режимных параметров по измерению импульса струи, истекающей из КС КИ с различными $\bar{F}_{гд}$ [1,2].

Результаты экспериментального исследования процессов в конденсационном инжекторе с учетом влияния основных геометрических параметров и, в первую очередь, размера горла диффузора показали, что повышение эффективности конденсирующего инжектора, достигнутое при существенном (почти восьмикратном) уменьшении $\bar{F}_{гд}$, оказалось намного меньше ожидаемого по теоретическим оценкам [1]. Расчетные значения P_d (без учета трения на стенках камеры смешения) превышают экспериментальные данные в среднем на 70%.

2. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАМЕРЫ СМЕШЕНИЯ КОНДЕНСИРУЮЩЕГО ИНЖЕКТОРА

Для выяснения причин такого несоответствия были рассмотрены диссипативные потери в камере смешения.

При этом считалось, что суммарные потери в камере создаются затратами энергии на разгон и дробление жидкой фазы, на трение о стенки и на силовое взаимодействие со стенкой. Первая составляющая включается в потери смешения, а две другие определяются по экспериментальным данным.

Измерив давление на выходе из инжектора P_d , расход пара $\dot{m}_п$ и охлаждающей жидкости $\dot{m}_ж$ и

зная закон восстановления давления в диффузоре (значения коэффициента гидравлических потерь в диффузоре ξ_d), можно на основании уравнений Бернулли и неразрывности определить давление P_2 и скорость C_2 за скачком.

Выражая P_2 через выходное давление P_d , получаем:

$$C_1 = \varphi_{кк} C_{10} = \frac{P_d - P_1}{\dot{m}_п + \dot{m}_ж} F_{гд} - \frac{1 - \xi_d}{2} \frac{\dot{m}_п + \dot{m}_ж}{\rho_ж F_{гд}}. \quad (1)$$

В уравнении (1) коэффициент скорости камеры смешения $\varphi_{кк}$ равен отношению действительной скорости потока на выходе из камеры смешения C_1 к скорости истечения из нее C_{10} , определенной только с учетом потерь на удар в изобарной камере смешения, т.е. величина $\varphi_{кк}$ характеризует потери скорости в камере смешения и уменьшение энергии $(1 - \varphi_{кк}^2)$ в реальных условиях по сравнению с процессом изобарического смешения без трения на стенках. Потери скорости могут быть представлены в виде двух слагаемых, первое из которых зависит от сил трения, а второе - от давления на стенке:

$$1 - \varphi_{кк} = \Delta\varphi_C^{TP} + \Delta\varphi_C^P. \quad (2)$$

Здесь

$$\Delta\varphi_C^{TP} = \frac{\int \tau \cos \frac{\alpha}{2} dH}{C_{10} \dot{m}_п (1 + u)}, \quad (3)$$

$$\Delta\varphi_C^P = \frac{(p_1 - p_k^{вх}) F_{гд} + \int (p_k - p_k^{вх}) \sin \frac{\alpha}{2} dH}{C_{10} \dot{m}_п (1 + U)}, \quad (4)$$

где τ – напряжение трения на стенке камеры смешения; H – площадь поверхности камеры смешения; α – угол конусности камеры смешения; «к» и «вх» – индексы текущего и входного сечений КС.

Значение C_{10} определяется на основании непосредственных измерений через количество движения, вносимое паровой и жидкостными струями в камеру смешения: $C_{10} = (I_п + I_ж) / (\dot{m}_п + \dot{m}_ж)$. Зная C_{10} , из формулы можно найти $\varphi_{кк}$.

Зависимости составляющих потерь в камере смешения $\Delta\varphi_C^{TP}$, $\Delta\varphi_C^P$ и $\Delta\varphi_{кк}$ от коэффициента

инжекции при различных $\bar{F}_{гд}$ представлены на рис.1. Из него видно, что потери на трение уменьшаются с ростом коэффициента инжекции и в зависимости от $\bar{F}_{гд}$ могут достигать максимального значения. С ростом значений $\bar{F}_{гд}$ минимум $\Delta\varphi_c^{ТР}$ сдвигается в сторону больших значений U , а потери на трение при одинаковых U возрастают. В исследованном диапазоне U и $\bar{F}_{гд} = 0,077...0,65$ значение $\Delta\varphi_c^P$ меняется в пределах $0,55...0,15$. Характер зависимостей коэффициента скорости $\varphi_{кc}$ (U) показывает, что с уменьшением $\bar{F}_{гд}$ добавка $\Delta\varphi_c^P$ оказывает заметное влияние на значения $\varphi_{кc}$. С уменьшением значений $\bar{F}_{гд}$ максимумы кривых $\varphi_{кc}$ смещаются в сторону меньших значений U при одновременном уменьшении максимальных значений $\varphi_{кc}$.

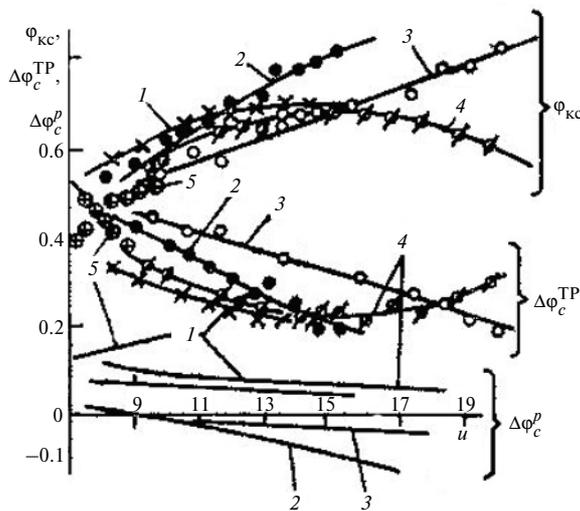


Рис. 1. Зависимости составляющих потерь в камере смешения от коэффициента инжекции U и относительной площади горловины диффузора $\bar{F}_{гд}$: 1,4 – при $\bar{F}_{гд} = 0,309$, 2,3 – при $\bar{F}_{гд} = 0,605$; 5 – при $\bar{F}_{гд} = 0,077$; 1,2 – при $P_{on} = 0,4$ МПа; 5 – при $P_{on} = 0,3$ МПа; $\circ, \bullet, \otimes, \times$ – экспериментальные точки

В работе [1] приводится формула для оптимального размера площади горла диффузора конденсирующего инжектора с учетом зависимости потерь на трение в камере смешения от степени ее сужения, т.е. при $d\varphi_{кc} / d\bar{F}_{гд} \neq 0$, которая определяется как

$$\Delta\varphi_c^P = \frac{\dot{m}_п(1+u)}{\rho_{ж}C_{10}} = \frac{2-\eta_d}{1-\bar{\varphi}_{кc}}, \quad (5)$$

где $\bar{\varphi}_{кc} = d \ln \varphi_{кc} / d \ln \bar{F}_{гд, opt}$ (может быть найден из экспериментальных данных [1]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования конденсационного инжектора с малой площадью горла диффузора свидетельствуют о существенном расхождении экспериментальных данных и расчетных значений давления на выходе из диффузора, полученных по модели изобарического течения в КС, о расположении скачка уплотнения – конденсации нулевой протяженности на срезе КС и отсутствии потерь на трение в КС. В связи со сложностью математического описания процессов в КС и определения выходной скорости C_1 целесообразно использовать экспериментальные полученные результаты, в частности значение $\varphi_{кc}$ данной работы.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

P – давление, Н/м²;
 m – расход, кг/с;
 \bar{F} – площадь, м²;
 C – скорость, м/с;
 ρ – плотность, кг/м³;
 ξ – коэффициент гидравлических потерь;
 φ – коэффициент скорости;
 J – импульс, Н;

$$\bar{F}_{гд} = \frac{F_{гд}}{F_{кр}} - \text{безразмерная площадь};$$

η – коэффициент полезного действия;
 H – поверхность камеры смешения, м²;
 τ – напряжение трения;
 $U = \frac{\dot{m}_ж}{\dot{m}_п}$ – коэффициент инжекции.

Индексы:

п, ж – пар, жидкость;
г, д, кс – горло, диффузор, камера смешения;
1,2 – перед скачком, за скачком;
с – сила;
ТР, Р – трение, давление;
к, вх – текущее, входное;
о – теоретическое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайнштейн С.И., Севастьянов А.П. Оптимальная площадь горла диффузора конденсационного инжектора / М.: Изд-во МЭИ, 1992. Препринт № 05-21.
2. Вайнштейн С.И., Ан И.В., Гришутин М.М., Севастьянов А.П., Севастьянов Ю.А. Измерение импульса струи вскипающей жидкости // Труды Второй Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 т. Т.5: Двухфазные течения. Дисперсные потоки и пористые среды. М.: Издательство МЭИ, 1998.