

УДК 621.694.2

**В.Е. САМОЙЛОВ, к.т.н. доцент (СамГТУ)
г. Самара**

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПЛАНА
ЭКСПЕРИМЕНТА ПО РАЗРАБОТКЕ ОПТИМАЛЬНОЙ
КОНСТРУКЦИИ ДВУХКАМЕРНОГО ПВЭ**

При определении оптимальных соотношений элементов двухкамерного противоточного вихревого эжектора (ПВЭ) [4], обеспечивающих максимальную эффективность рабочего процесса эжектора, исследование параметров рабочего процесса проводилось как методом внешнего эксперимента, так и методом внутреннего эксперимента. Определение оптимальных соотношений ПВЭ проводилось с использованием методов планирования эксперимента.

Для оценки представительности результатов экспериментов существенное значение имеет оценка точности результатов измерений которая проводилась вероятностно статистическим методом согласно рекомендаций [1, 2]. При реализации опытов по плану эксперимента для определения параметров и характеристик ПВЭ использовались как прямые измерения (давление, разрежение, температура), так и косвенные (расход, скорости потоков).

Число измерений параметра равнялось $n=3$, а окончательный результат прямого измерения определялся как среднее арифметическое единичных измерений:

$$x_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

При расчёте была принята доверительная вероятность $P=0,95$.
Доверительная (случайная) погрешность рассчитывалась по формуле

$$\Delta x_{случ} = t \cdot S_n \quad (2)$$

где $\Delta x_{случ}$ — доверительная погрешность; t — коэффициент (критерий) Стьюдента, определяемый по числу измерений и значению доверительной вероятности P по справочным данным [1]; S_n — оценка среднеквадратичного отклонения среднего значения измеряемой величины от истинного значения определяется из уравнения

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{[n \cdot (n-1)]}} \quad (3)$$

При $\Delta x_{\text{сист}}/S_n < 0,8$, полная погрешность прямого измерения принималась равной случайной погрешности. При $\Delta x_{\text{сист}}/S_n > 0,8$, погрешность прямого измерения принималась равной систематической погрешности. При сравнимых величинах обоих погрешностей $0,8 < \Delta x_{\text{сист}}/S_n < 0,8$ полная абсолютная погрешность определялась по эмпирической формуле

$$\Delta x = k \cdot S_{\Sigma} \quad (4)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_{i,\text{сист}}^2}{3} + S_n^2} \quad (5)$$

$$k = \frac{\Delta x_{\text{случ}} + \Delta x_{\text{сист}}}{S_n + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_{i,\text{сист}}^2}{3}}} \quad (6)$$

где k — коэффициент, зависящий от соотношения случайной и систематической погрешностей; S_{Σ} — оценка суммарного среднего квадратического отклонения результата прямого измерения; $\Delta x_{\text{сист}}$ и $\Delta x_{i,\text{сист}}$ — полная систематическая погрешность и ее составляющие.

$$\Delta x_{\text{сист}} = 1,1 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta x_{i,\text{сист}}^2} \quad (7)$$

Относительная погрешность измерения разряжения пьезометром:

$$\delta_p = \pm \frac{\Delta P}{X_N} \cdot 100 = \pm \frac{1}{760} \cdot 100 = \pm 0,13\%$$

где X_N — диапазон измерения величины разряжения.

**V Всероссийская научно-практическая конференция
«ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»
137-3 16-17 декабря 2020г.**

Абсолютная погрешность измерения атмосферного давления по барометру $\Delta P_b = \pm 0,25 \text{ ммрт.ст.} (0,03 \text{ кПа})$.

Относительная погрешность

$$\delta_b = \pm \frac{\Delta P_b}{760} \cdot 100 = \pm \frac{0,25}{760} \cdot 100 = 0,03\%$$

Суммарная относительная погрешность измерения разряжения:

— при использовании вакууметра:

$$\delta_{\Sigma P}^1 = \sqrt{\delta_b^2 + \delta_p^2} = \sqrt{0,75^2 + 0,03^2} = 0,75\%$$

— при использовании пьезометра:

$$\delta_{\Sigma P}^2 = \sqrt{\delta_p^2 + \delta_\sigma^2} = \sqrt{0,13^2 + 0,03^2} = 0,133\%$$

Систематическая погрешность измерения температуры определялась с учетом того, что измерительная цепь имеет три элемента (потенциометр ПП-63, хромель — копелевая термопара, термоэлектродные провода), а следовательно три источника-погрешности. Для потенциометра ПП-63 класса точности 0,05 со шкалой от 0 $^{\circ}\text{C}$ до 300 $^{\circ}\text{C}$ (градуировка XK) в пределах основной абсолютной погрешности показаний при диапазоне измерений 22,88 мВ равны:

$$\Delta E_{\text{п.сист}} = \pm \frac{\delta E_{\text{п}}}{100} = \frac{0,05 \cdot 22,88}{100} \pm 0,01 \text{ мВ}$$

что соответствует абсолютной погрешности значения температуры $\Delta t_{\text{п.сист}} = 0,14^{\circ}\text{C}$. Допустимая погрешность градуировки хромель—копелевой термопары $\Delta E_{\text{т.п.сист}} = 0,14^{\circ}\text{C}$, что по шкале температур соответствует $\Delta t_{\text{т.п.сист}} = \pm 2,8^{\circ}\text{C}$. Допустимая погрешность стандартных удлиняющих проводов к хромель-копелевой термопаре $\Delta E_{\text{т.э.сист}} = 0,2 \text{ мВ}$ или $\Delta t_{\text{т.э.сист}} = \pm 2,8^{\circ}\text{C}$. Полная абсолютная систематическая погрешность измерения температуры определялась по формуле

$$\Delta x_{\text{сист}} = 1,1 \cdot \sqrt{0,14^2 + 2,8^2 + 2,8^2} = \pm 4,35^{\circ}\text{C}$$

**V Всероссийская научно-практическая конференция
«ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»
137-4 16-17 декабря 2020г.**

Относительные систематические погрешности всех составляющих цепи измерения температуры при указанном диапазоне измерений $E_{\text{п}}=22,88$ мВ и возможных пределов измерения температуры до 200 °C составили:

$$\delta_n = \pm \frac{\Delta t_{n, \text{сист}}}{t} \cdot 100 = \pm \frac{0,14}{200} \cdot 100 = \pm 0,07\%;$$

$$\delta_{\text{т.п}} = \pm \frac{\Delta E_{\text{т.п}}}{E_{\text{п}}} \cdot 100 = \pm \frac{0,2}{22,88} \cdot 100 = \pm 0,87\%;$$

$$\delta_{\text{т.з}} = \pm \frac{\Delta E_{\text{т.з}}}{E_{\text{п}}} \cdot 100 = \pm \frac{0,2}{22,88} \cdot 100 = \pm 0,87\%;$$

Суммарная относительная систематическая погрешность измерения температуры составила:

$$\delta_{\text{т}} = \pm \sqrt{\delta_{\text{п}}^2 + \delta_{\text{т.п}}^2 + \delta_{\text{т.з}}^2} = \pm \sqrt{0,07^2 + 0,87^2 + 0,87^2} = 1,23\%$$

Температура потока активного газа (атмосферный воздух) определялась по показаниям потенциометра и, в следствии этого, погрешность её измерения определялась систематической составляющей.

Измерение расхода активного и пассивного газа проводилось по перепаду давлений в камерной диафрагме.

$$G = 3,998 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot d^2 \cdot \sqrt{\rho \cdot \Delta p} \text{ кг/ч} \quad (8)$$

где α — коэффициент расхода диафрагмы; ε — поправочный коэффициент на расширение газа; d — диаметр отверстия диафрагмы, в мм, ρ — плотность измеряемого газа, кг/м³; Δp — перепад давлений, определяемый по жидкостному пьезометру Па.

При измерении расхода газа общая погрешность измерения слагается из погрешностей определения величин, входящих в уравнение расхода. Оценка точности измерений проводилась по средней квадратичной относительной погрешности [3].

В уравнение расхода входят две категории величин. К первой категории относятся величины, найденные путем обработки большого числа данных α , ε , ко второй, величины измеряемые, как правило, однократно d , p , T , Δp . Для величин этой группы известны средние квадратичные и предельные погрешности, и для них справедлив закон сложения средних погрешностей. Для второй категории величин известны максимальные погрешности

**V Всероссийская научно-практическая конференция
«ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»
137-5 16-17 декабря 2020г.**

однократного измерения, сюда относятся и величины находимые по справочным данным.

При анализе результатов было сделано допущение при котором предельную погрешность, ряда измерений принимали равной максимальной погрешности однократного измерения при доверительной вероятности Р=0,95 (95%) [3]. Погрешность определения коэффициента расхода σ_α и поправочного множителя на расширение измеряемой среды σ_ε рассчиталась с использованием номограмм и рекомендаций [3] и составляют $\sigma_\alpha = 0,71\%$, $\sigma_\varepsilon = 0,65\%$. Абсолютная, погрешность при определении перепада, олений по дифманометру заполненному водой не превышает $\Delta = \pm 2\text{мм}$. При среднем перепаде давления $\Delta p_{cp} = 350 \text{ мм.вод.ст}$ средняя квадратичная погрешность равна:

$$\sigma_{\sqrt{\Delta p}} = \pm \frac{\Delta \cdot 100}{2 \cdot \Delta p_{cp}} = \frac{2 \cdot 100}{2 \cdot 350} = 0,28$$

Средняя квадратичная относительная погрешность определения плотности газа составляет $\sigma_\rho \%$. [3]. Средне квадратичная погрешность измерения расхода определялась по формуле:

$$\sigma_G = \sqrt{\sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2 + \sigma_{\sqrt{\Delta p}}^2 + \frac{1}{4} \sigma_\rho^2 + 4 \sigma_d^2}$$
$$\sigma_G = \sqrt{0,71^2 + 0,65^2 + 0,28^2 + \frac{1}{4} \cdot 0,1^2 + 4 \cdot 0,1^2} = 1,02\%$$

Список литературы

1. Зажигаев Л.С., Кишьян А.Л., Романиков Ю.М. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. — М.: Атомиздат, 1978, 232 с.
- 2 Спиридов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. — М.: Машиностроение, 1981. — 182 с.
- 3 .Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными суживающими устройствами. РД 50-213-80. — М.: Стандарт, 1982. — 319 с.
4. Самойлов В.Е. Совершенствование конструкции противоточного вихревого эжектора с целью повышения эффективности его работы. Энергетика и энергосбережение: теория и практика». Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, – Кемерово / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т». ;–2017

**V Всероссийская научно-практическая конференция
«ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»
137-6 16-17 декабря 2020г.**

Информация об авторе:

Самойлов Валерий Евгеньевич, к.т.н., доцент, СамГТУ, 443100 г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244 СамГТУ кафедра ТЭС, E-mail кафедры tes@samgtu.ru, E-mail автора samoilov-v@rambler.ru