

## Л и т е р а т у р а

1. Мухутдинов Р.Х., Портнов Ю.Т. Сравнительные исследования вихревой трубы с завихрителями тангенциального и винтового типа. - Проблемы нефтепереработки и нефтехимии. Уфа: Башкирское правление ВХО имени Д.И.Менделеева. Башкирское НТО НГП. Уфимский нефтяной институт (тезисы научно-производственной конференции), 1973.

2. Мухутдинов Р.Х., Гумеров М.З., Канатъев Л.В., Нестеренко В.Б. Новые конструкции эффективных вихревых теплообменников типа ТВКСН. В сб.: Очистка газов и вентиляционных выбросов от газовых компонентов. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971, с. 29-30).

3. Мухутдинов Р.Х., Артамонов Н.А. Исследование влияния некоторых характеристик винтовых закручивающих устройств на работу вихревой трубы. Статья в ВИНТИ, рег. № 996-77. деп. о. II.

4. Амиров Я.С., Варфоломеев Д.Ф., Мухутдинов Р.Х., Тищенко В.Е. Рациональное использование вторичных ресурсов нефтехимии и охрана окружающей среды. - Уфа: Башкирское книжное издательство, 1979, с. II4.

УДК 532.527:532.58

И.Г.Ш а б а л и н

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА ГАЗА НА РАДИАЛЬНОЙ СТЕНКЕ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ

Цель исследования - решить задачу о расходе жидкостей или газа через вихревые устройства (ВУ), т.е. через вихревые камеры, вихревые трубы, вихревые карбюраторы, центробежные форсунки, циклоны и т.п.

Анализ экспериментального материала по распределению избыточного давления в камере закручивания центробежных форсунок для жидкого топлива и воды [2] привели к выводу, что давление закрученного потока жидкости или газа в камере ВУ подчиняется конкретной закономерности. Эта закономерность заключается в том, что отношение статического избыточного давления на определенном радиусе камеры закручивания ВУ (например, на ее радиальной стенке) к избыточному давлению жидкости или газа на входе в каналы ВУ не зависит от степени расширения через вихревое устройство, т.е. от перепада давления на его входе и выходе, а является лишь функцией геометрических (линейных) параметров ВУ, относительной шероховатости их внутренних стенок и критерия  $Re$ .

Отметим, что величина этого отношения изменяется в зависимости от геометрических параметров ВУ в пределах от 0 до 1, что делает его

удобным к использованию в качестве естественного эквивалента геометрической характеристике ВУ, если его определять или измерять на радиусе, близком к радиусу радиальной стенки камеры закручивания в сечении входных каналов - сопел.

Математически изложенный вывод можно записать в следующем виде:

$$\frac{P_z - P_0}{P_{Bx} - P_0} = \frac{\Delta P_z}{\Delta P_{Bx}} = const, \quad (1)$$

а если постоянную (1) при  $z=R_k, P_z=P_k$  обозначить индексом "А\*", то далее запишем:

$$0 \leq \Delta P_k / \Delta P_{Bx} = A^* = f(z_{Bx}/R_k, z_c/R_k, L_k/R_k, \bar{\Delta}; Re) \leq 1, \quad (2)$$

где  $P_{Bx}$  - давление на входе в каналы ВУ для закручивания жидкостей или газа;

$P_0$  - давление среды, в которую происходит истечение из ВУ;

$P_z$  - давление закрученной жидкости или газа на определенном радиусе камеры ВУ;

$P_k$  - давление на радиальной стенке в сечении входных каналов ВУ;

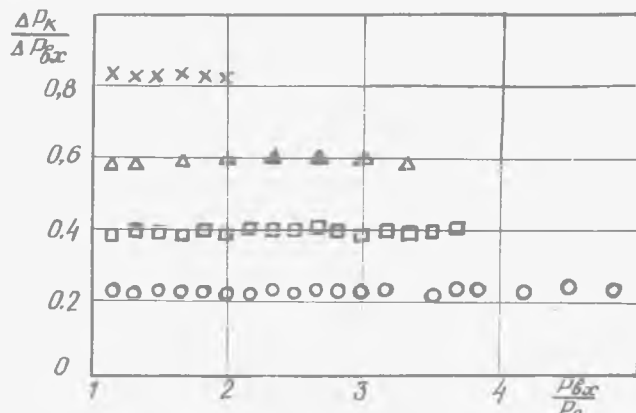
$R_k$  - радиус камеры закручивания в сечении входных каналов ВУ;

$L_k$  - длина камеры закручивания ВУ;

$z_{Bx}$  - приведенный радиус входных каналов ВУ;

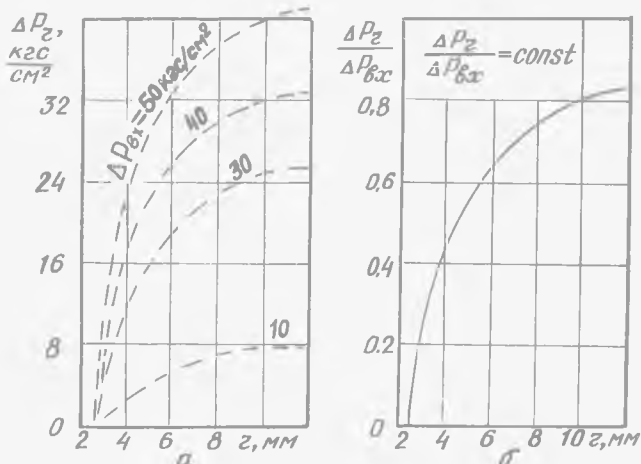
$z_c$  - радиус выходного отверстия - сопла ВУ;

$\bar{\Delta}$  - относительная шероховатость внутренних стенок ВУ.



Р и с. 1. Зависимость относительного избыточного давления на радиальной стенке в сечении входных каналов от степени расширения воздуха через вихревую камеру при различных  $z_{Bx}/R_k$ : 0,333 - x ; 0,166 - Δ ; 0,118 - □ ; 0,083 - o.

Фрагменты экспериментального подтверждения выражений (1) и (2) представлены на рис. 1. Избыточное статическое давление  $\Delta P_{\kappa}$  закрученного потока воздуха замерялось через отверстие в радиальной стенке вихревой камеры в сечении входных каналов. Эксперименты показывают, что в этой зависимости опытные точки укладываются в прямые, параллельные оси абсцисс, которые размещаются по оси ординат тем выше, чем больше площадь входных каналов или отношение  $z_{\text{вх}}/R_{\kappa}$ , следовательно, наличие отсутствия зависимости  $\Delta P_{\kappa}/\Delta P_{\text{вх}}$  от  $P_{\text{вх}}/P_0$  и наличие зависимости  $\Delta P_{\kappa}/\Delta P_{\text{вх}}$  от геометрических параметров ВУ и, в частности, от  $z_{\text{вх}}/R_{\kappa}$



Р и с. 2. Распределение избыточного давления по радиусу камеры закручивания центробежной форсунки: (а) — — — опытные графики [2] при разных давлениях на входе; (б) — — — обобщающий график графиков (а) по формуле (1)

Для объективности на рис. 2,а представлены опытные графики из работы [2] распределения избыточного давления закрученной жидкости в зависимости от текущего радиуса камеры центробежной форсунки, полученные при разных давлениях на входе, а на рис. 2,б — обобщающий график опытных зависимостей [2], построенный на основе выражения (1).

Выражение (1) можно использовать для определения абсолютного давления на радиусе расположения входных каналов, т.е. привести к виду

$$P_z = C \Delta P_{\text{вх}} + P_0 \quad (3)$$

или с учетом (2)

$$P_{\kappa} = A^* \Delta P_{\text{вх}} + P_0 \quad (4)$$

Далее, если предположить, что постоянный коэффициент "A\*" известен как показатель геометрической характеристики ВУ или определен опытным путем как отношение  $\Delta P_K / \Delta P_{Bx}$  на радиусе входных каналов, то, подставив выражение (4) в известные газодинамические уравнения для определения массового расхода жидкостей, газа через сопла или насадок, полагая таковыми входные каналы ВУ, получим формулы для расчета расхода через вихревые устройства:

$$G_{Kz/сек} = P_{Bx} \sqrt{2g \frac{K}{K-1} \frac{P_{Bx}}{V_{Bx}} \left[ \left[ A^* \left( 1 - \frac{P_0}{P_{Bx}} \right) + \frac{P_0}{P_{Bx}} \right]^{\frac{K}{K-1}} \left[ A^* \left( 1 - \frac{P_0}{P_{Bx}} \right) + \frac{P_0}{P_{Bx}} \right]^{\frac{K-1}{K}} \right]^{1/2}}; \quad (5)$$

$$G_{Kz/сек} = P_{Bx} \sqrt{2g (P_{Bx} - P_0) (1 - A^*)}. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) при  $A^* = 0$  превращаются в известные формулы, поэтому являются более общими. Анализ их показывает, что расход через вихревые устройства зависит не только от перепада давления на входе и выходе ВУ, площади входных каналов, но и от значения коэффициента  $A^*$ , следовательно, далее задача о расходе через ВУ сводится к нахождению "A\*", т.е. вида функции (2).

В качестве первого приближения к выражению (2), без учета  $\bar{\Delta}$  и  $R_e$  предлагается формула из одних основных линейных размеров, характерных для любого вихревого устройства:

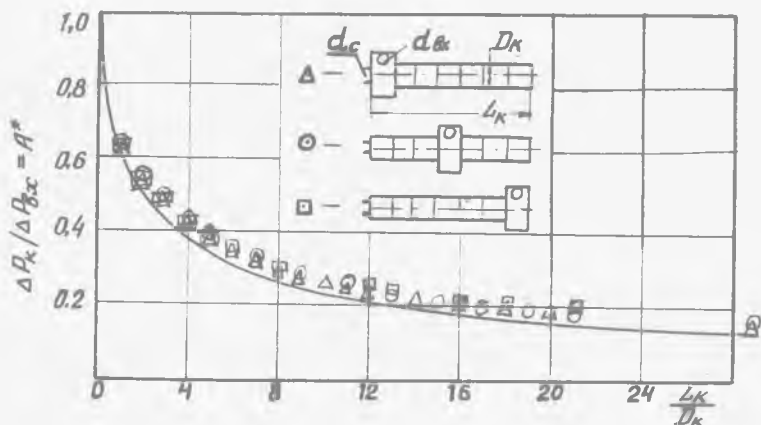
$$\frac{\Delta P_K}{\Delta P_{Bx}} = A^* \approx 1 - \left( \frac{z_0}{R_0} \right) \left( \frac{\Delta P_K}{\Delta P_{Bx}} \right)^{\frac{z_{Bx}}{z_c}} + g \left( \frac{z_{Bx}}{R_K} \right)^2 \frac{z_c}{R_K} \quad (7)$$

$$\text{где } z_0/R_0 \approx z_c/R_K$$

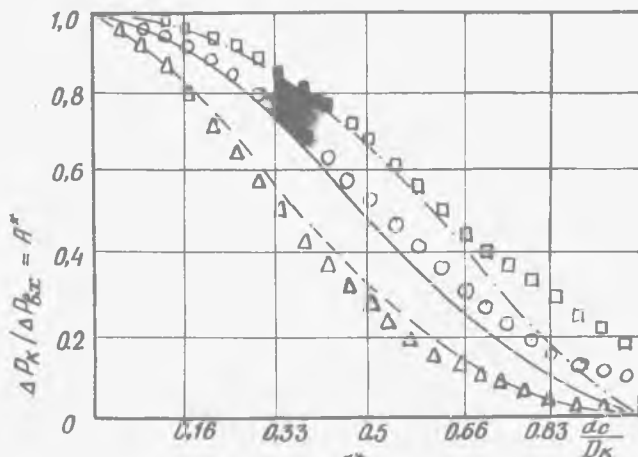
Степень согласования графиков, рассчитанных и построенных по (7) при  $z_0/R_0 = z_c/R_K$  с опытными точками, показана на рис. 3 как зависимость  $\Delta P_K / \Delta P_{Bx} = A^*$  от длины вихревой камеры (ВУ) и на рис. 4 как зависимость от диаметра выходного отверстия - сопла ВУ при различных сечениях входных каналов. Геометрические параметры опытных ВУ показаны на этих рисунках. Степень расширения  $P_{Bx} / P_0$  при опытах варьировалась в пределе пяти единиц.

Отметим, что выражение (7) не может быть совершенным, так как составлено только для ВУ с тангенциальными входными каналами, но его удовлетворительная сходимость с экспериментальными данными в широком диапазоне изменения основных геометрических параметров опытных ВУ дает основание считать, что оно уже в этом виде может быть применено для практических расчетов и служить основой для совершенствования с целью приближения к выражению (2).

Можно заключить, что с использованием установленной закономерности (I) и опытного выражения (7) как приближения к (2) решение задачи о расходе жидкостей или газа через вихревые устройства с тангенциальными каналами возможно без применения экстремальных принципов.



Р и с. 3. Зависимость  $A^*$  от относительной длины вихревой камеры. График по формуле (7) и опытные точки при различном расположении входных каналов по длине камеры:  $L_{\kappa} = 24$  мм;  $\mathcal{L}_{\kappa}$  (I-30)  $\mathcal{D}$ ;  $d_c = 8$  мм;  $d_{вх} = 4$  мм



Р и с. 4. Зависимость  $A^*$  от относительного диаметра выходного отверстия - сопла вихревой камеры. График по формуле (7) и опытные точки при  $d_{вх}/D_{\kappa} = 0$  I18 (---)  $\Delta$ ; 0,2 (—)  $\circ$ ; 0,33 (- - - -)  $\square$ ;  $D_{\kappa} = 24$  мм;  $\mathcal{L}_{\kappa} = 24$  мм;  $d_c = (2-24)$  мм;  $d_{вх} = 2,8; 4,9; 8$  мм

Заметим также, что с использованием выражения (I) могут быть решены другие актуальные задачи, а само выражение (I) получит строгое аналитическое обоснование.

#### Л и т е р а т у р а

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. - Изд. 2-е, М.: 1953. - 736 с.

2. Хавкин Ю.Н. Центробежные форсунки. - Л.: Машиностроение, 1976. - 167 с.