

7. Колышев Н.Д., Огородников Н.Н. Исследование теплоотдачи в рабочем пространстве вихревой трубы с диффузором. - В сб.: Некоторые вопросы исследования теплообмена и тепловых машин. Куйбышев: КуАИ, 1973, вып. 56, с. 76-84.

8. Walf L. Ir. Lavan Z. Feyer. Mesurment of the decay of swirl in turbulent flow AIAA Journal, 1969, №5, p. 11-18

9. Меркулов А.П., Волов В.Т., Вилякин В.Е. Метод обеспечения работоспособности оптического измерителя температуры лопаток высокой температурной турбины. Изв. высш. учебн. заведений. Авиационная техника, 1983, № 1, с. 104-105.

10. Бирюк В.В., Смоляр Г.А., Плихин Г.С., Сукчев В.М. Влияние масштабного фактора давления и температуры входящего газа на энергетические характеристики вихревой трубы. - В кн.: Вихревой эффект и его промышленное применение. Куйбышев: КуАИ, 1980, с. 90-92.

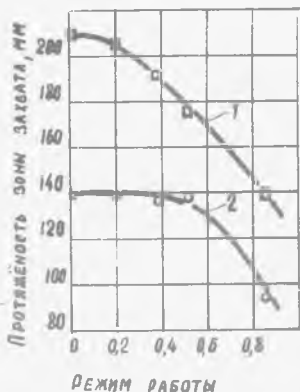
УДК 536.7+533.6:665.6

Н.А.Артамонов, Б.Ф.Абросимов

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В ТРУБЕ С ВЗУ

Дальнейшее совершенствование существующих конструкций и разработка новых вихревых аппаратов на основе ВЗУ требует проведения исследований процесса расширения и формирования газовых потоков в вихревых трубах при наличии в газе жидкой фазы. Для выявления области устойчивой сепарации и зоны разрушения жидкостной пленки и уноса жидкости в холодный поток была поставлена серия экспериментов на однотрубной стеклянной модели вихревого теплообменника ($d = 40$ мм) с ВЗУ при давлении 0,3-0,4 МПа и степени расширения $\bar{\pi} = 2$ и 3.

Со стороны "горячего" конца вводился зонд-трубка диаметром 4,0 мм с сетчатой насадкой, с помощью которой создавалось пылеобразное водяное облако. Наблюдение за процессом сепарации, за движением капельной влаги проводилось при стробоскопической подсветке. При перемещении зонда была установлена зона активного захвата и уноса пылеобразной влаги центральным холодным потоком. На рис. 1 кривая 1 определяет расстояние L_0 от диафрагмы, на котором унос капельной влаги холодным потоком практически отсутствует. Кривая 2 показывает область, где наблюдается резкое увеличение интенсивности захвата влаги центральным потоком. В исследованном диапазоне изменения основных технологических параметров газового потока при режимах работы $M \leq 0,4$ эта область располагается на расстоянии 3,5 калибра, а максимальное значение L_0 наблюдается при $M = 0$ и составляет 6 калибров.



Р и с. 1. Зависимость протяженности зоны захвата от режима работы ВЗУ

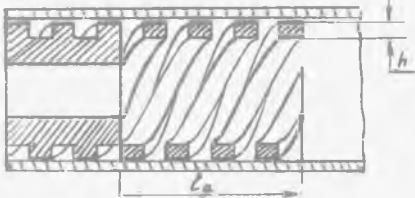
жидкости. При изоляции противотока от периферийных участков потока газа сгущения исчезали. Винтовая линия на изолируемом участке становилась правильной. Значит, основная причина святий — действие противотока. Наличие сгущений и разряжений говорит об определенной цикличности в процессе взаимодействия противотока с периферией закрученного потока газа. Для ВЗУ с шагом винтовой нарезки каналов $H = 40$ мм максимум взаимодействия наблюдается на расстоянии 3,5 калибра от диафрагмы. Уменьшение шага нарезки H приближает область максимального взаимодействия к диафрагме. С увеличением M ($M > M_{от.}$) винтовая линия жидкости сжимается. С увеличением Π сгущения и разряжения выражаются четче.

С целью дальнейшего выявления сущности процесса температурного разделения и процесса взаимодействия потока в вихревой трубе выполнена серия экспериментов с изменением аксиальной и радиальной составляющей скорости периферийного газового потока. Увеличение радиальной составляющей скорости осуществлялось с помощью простенок винтовых каналов, которые продолжались за плоскостью диафрагмы (рис. 2).

На рис. 3 и 4 представлены некоторые результаты исследований, вы-

делана попытка опытным путем установить некоторые закономерности взаимодействия закрученных газовых потоков. В экспериментах на двухзаходном ВЗУ в сечении диафрагмы в межвинтовое пространство над пристеночным слоем вводилась струйка воды. При определенной ее толщине она начинала проявлять характер взаимодействия периферийного и присевого потоков. Изоляция потоков, осуществляемая тонкостенным коаксиальным цилиндром, увеличивала шаг винта жидкости на всех режимах. В области оптимальных и больших μ это увеличение составило 1,5–2'раза.

Незначительная азимутальная неоднородность вводимого потока приводила к образованию сгущений и разряжений винтовой линии



Р и с. 2. ВЗУ с дополнительными винтовыми простенками: l_d — длина дополнительного простенка; h — его высота

полненных на 21 мм адиабатной вихревой трубе с трехзаходным ВЗУ ($\beta = 67^\circ$, $\bar{F}_c = 0,07$). Винтовые простенки увеличивают радиальную и уменьшают аксиальную скорости. Но не это является основной причиной ухудшения процесса энергетического разделения.

Эксперименты подчеркнули особую роль межструйного пространства в процессе энергетического разделения. Заполнение этого пространства простенками — причина уменьшения температурной эффективности трубки. Уменьшая высоту простенка, т.е. увеличивая свободное межструйное пространство, мы улучшаем энергетическое разделение (рис. 4). Наиболее важной для температурного разделения является область межструйного пространства длиной в 3 калибра.

Для исследования характера взаимодействия противотока с периферией закрученного потока были использованы тонкостенные ($S = 0,2$ мм) цилиндры длиной от 40 до 300 мм. Они перемещались в стеклянной трубе диаметром 40 мм длиной в 32 калибра. Это позволяло контролировать как их положение, так и состояние. Цилиндры удерживались с помощью штырей. Их диаметр изменялся от 8 до 35,6 мм

Испытания проводились в условиях, близких к адиабатным при давлении 0,4 МПа и степе-

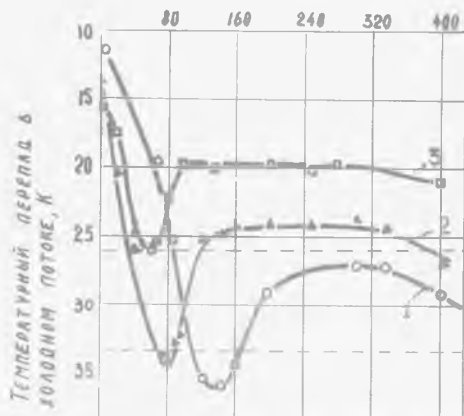


Р и с. 3. Влияние длины l_s простенка на энергетическое разделение: $\bar{F}_c = 3$, $h = 6$: 1 - $l_s = 0$; 2 - $l_s = 14$ мм; 3 - $l_s = 29$ мм; 4 - $l_s = 49$ мм; 5 - $l_s = 186$ мм



Р и с. 4. Влияние высоты винтовых простенков на энергетическое разделение: $l_s = 29$ мм; $P = 0,4$ МПа; $\bar{F}_c = 3$, $\beta_c = 0,07$; 1 - $h = 0$; 2 - $h = 1,2$ мм; 3 - $h = 3$ мм; 4 - $h = 4$ мм; 5 - $h = 6$ мм

Расстояние от диафрагмы
до цилиндрической вставки, мм



Р и с. 5. Температурная эффективность при различных положениях вставки ($\mu = 3$): 1 - $l = 60$ мм; $\mu = 0,21$; 2 - $l = 100$ мм; 3 - $l = 100$ мм, $\mu = 0,62$; (---) - $\mu = 0$; $\mu = 0,21$

котором вихревая труба работает в контрольном режиме, давление на горячем конце P_r и температурная эффективность практически те же, что и в свободной трубе. При перемещении вставки от этого положения к диафрагме на несколько миллиметров температурная эффективность ухудшается на 50% и более. При перемещении в сторону горячего конца ухудшение не столь существенное и резкое (см. график 2, рис. 6). Координаты вставки, при которой наблюдается оптимальный режим работы вихревой трубы, зависят от длины L и диаметра d вставки, от режима работы μ и степени расширения π . С увеличением величин L , μ и d вставка приближается к диафрагме (см. рис. 5, 6).

Максимальный температурный перепад наблюдается для вставок диаметром 30 мм при длине 60 мм, когда она расположена на отметке 140 мм (см. рис. 5). Температурная эффективность увеличивается при этом на 8%. Перемещение вставки при постоянном расходе в холодном потоке изменяет давление на "горячем" конце трубы. При максимальном перепаде температур давление P_r равно P_r в контрольных измерениях, при приближении к диафрагме убывает. При удалении вставки от оптимального положения давление резко увеличивается, а затем начинает постепенно уменьшаться. На расстоянии в 10-15 калибров P_r опять принимает контрольные значения. Аналогично ведет себя давление P_r и при больших расходах холодного по-

нях расширения $\pi = 2, 3$. Испытания выявили неравноценность взаимодействия различных участков периферии закрученного потока с противотоком. Это заметно проявляется при вставках с диаметром больше диаметра диафрагмы (рис. 5, 6). Из этих графиков следует, что цилиндрические коаксиальные вставки могут существенно изменить азроуди - намику потока. Это отражается на температуре противотока. Ни на аксиальное, ни на тангенциальное движения вставки непосредственно не влияют. Следовательно, дело в радиальном движении.

Для каждой вставки ($d < 30$ мм) имеется положение, при

тока. Такое поведение давления P_r говорит об интенсивном перемещении газа с периферии к оси вихревой трубы на указанных выше расстояниях —

ях. Для вставки ($d = 30$ мм) длиной 300 мм при небольшом зазоре между диафрагмой и вставкой на оптимальном по расходу режиме давление на горячем конце равно давлению на холодном конце трубы. Газ идет через диафрагму при нулевом среднем градиенте давлений. Энергетическое разделение при этом отсутствует.

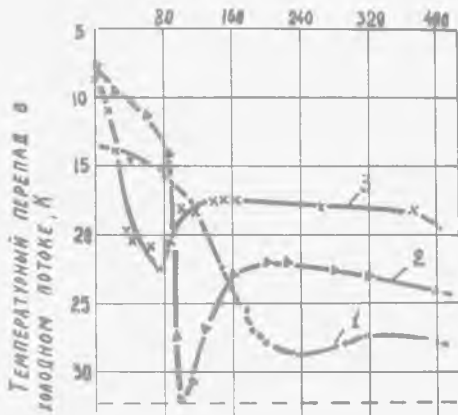
На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально установлено, что в присосевом потоке имеется активная зона захвата капельной влаги. Резкое увеличение скорости капель на границе этой зоны говорит о наличии в этой области высокого градиента давления.

2. Тонкая струя жидкости над пристеночным слоем может быть использована в качестве индикатора взаимодействия свободного и вынужденного вихрей. Ее поведение говорит о том, что струйный характер течения газа в вихревой трубе с ВЗУ сохраняется на значительном расстоянии от диафрагмы. В процессе взаимодействия противотока с периферией закрученного потока газа имеет место определенная цикличность. Местоположение первого наиболее сильного взаимодействия зависит от конструкции ВЗУ, режима работы и степени расширения газа в вихревой трубе. Область наиболее сильного взаимодействия практически совпадает с границей активной зоны захвата.

3. Свободное межструйное пространство обуславливает процессы, обеспечивающие высокую температурную эффективность противоточной вихревой трубы. Радиальная составляющая скорости введенного в вихревую трубу газа играет значительную роль в процессе энергетического разделения.

РАССТОЯНИЕ ОТ ДИАФРАГМЫ
ДО ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВСТАВКИ, ММ



Р и с. 6. Температурная эффективность в зависимости от положения вставки ($\pi = 3$, $l = 300$ мм): 1 — $\varnothing 14$; 2 — $\varnothing 26$; 3 — $\varnothing 35,6$; $\mu = 0,21$; (---) — $\varnothing 0$

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