

УДК 622.691.4:681.526 .5

## АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СМЕШЕНИЯ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ПОТОКОВ В ВИХРЕВОМ РЕГУЛЯТОРЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Ю. М. АХМЕТОВ<sup>1</sup>, Э. И. ЗАНГИРОВ<sup>2</sup>, А. В. СВИСТУНОВ<sup>3</sup>, Е. М. ЯМИНОВА<sup>4</sup>, К. П. ШУТИХИНА<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 37@bk.ru, <sup>2</sup> zangirov.ernest@mail.ru, <sup>3</sup> svistunoff@yandex.ru, <sup>4</sup> elenagm43@mail.ru, <sup>5</sup> mauka92@yandex.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 13.01.15

**Аннотация.** В рамках проведенных расчетов геометрических газодинамических параметров и анализа экспериментальных исследований отражено влияние входных параметров ( $P_{вх}$ ,  $t_{вх}$ ) на газодинамическую картину распределения давления и температуры газа в проточной части камеры энергетического разделения, влияющую на эффективность процессов стратификации в вихревом регуляторе давления.

**Ключевые слова:** вихревая труба, вихревой регулятор давления, смешение стратифицированных потоков, квазиизотермическое дросселирование.

Трубопроводный транспорт является наиболее востребованным способом транспортировки природного газа. При этом для транспортировки больших объемов газа на дальние расстояния его давление повышают до 7,5 МПа. Однако конечный потребитель нуждается в давлении 0,103 МПа. Это приводит к необходимости снижения давления газа.

Наиболее распространенным способом транспортировки природного газа является магистральная транспортировка. При сжигании газа в промышленности или в быту его давление должно быть значительно снижено по сравнению с давлениями в трубопроводах. При давлениях в магистралях до 7,5 МПа потребителю поступает 0,003 МПа.

В настоящее время снижение давления магистрального газа производится в два этапа:

1) на газораспределительных станциях (ГРС) – с величины магистрального уровня до давления 0,3–1,2 МПа;

2) на газорегуляторных пунктах (ГРП) – до давления 0,003 МПа.

Снижение давления газа на ГРС и ГРП осуществляется с помощью регуляторов давления путем его дросселирования, в процессе которого происходит значительное понижение температуры газа (может достигать 30 °С). Высокое давление, низкая температура и насыщенность природных газов парами воды приводит к образованию кристаллогидратов, следствием чего является закупорка газопроводов кристаллогидратными пробками и образование слоя льда в

проточной части и на поверхности дросселирующих элементов.

Решением данной проблемы является повышение температуры транспортируемого газа за счет сжигания его части (3–5%), что является дорогостоящим и опасным для экологии.

### Разработка альтернативных методов дросселирования давления газа

Как показали результаты расчетно-экспериментальных работ исследователей кафедры ПГМ УГАТУ совместно с ОАО НИИТ (при финансировании работ со стороны ООО Баштрансгаз), альтернативным способом понижения давления магистрального газа без предварительного подогрева за счет сжигания в специальных дорогостоящих и малоресурсных подогревателях части газа является применение вихревых технологий при дросселировании давления с последующим смешением стратифицированных потоков.

Вихревая труба – устройство, разработанное в 1930–1937 г.г. зарубежными инженерами Ранком и Хильшем, предназначенное для получения эффекта энергетического разделения сжигаемых сред на холодный и горячий потоки (температурная стратификация), получившего название вихревого эффекта (эффект Ранка–Хильша).

Первые исследования вихревого эффекта в отечественной практике были проведены в 1946 г. [1]. Авторами рассматривалось поведение закрученного потока вязкой несжимаемой

жидкости в вихревой трубе и было обнаружено, что при втекании газа через сопло образуется интенсивный круговой поток, при этом приосевые слои охлаждаются и отводятся через отверстие диафрагмы в виде холодного потока, а периферийные слои подогреваются и вытекают через дроссель в виде горячего потока. По мере закрытия дросселя давление в вихревой трубе повышается и расход холодного потока увеличивается при соответствующем уменьшении расхода горячего потока. Температура горячего потока также уменьшается.

Интенсивность вихревого эффекта обычно оценивают по зависимости избыточных величин температур газа на выходе из диафрагмы  $\Delta T_{\text{хол}} = T_{\text{вх}}^* - T_{\text{хол}}^*$  и камеры энергетического разделения  $\Delta T_{\text{гор}} = T_{\text{гор}}^* - T_{\text{вх}}^*$  от доли охлажденного

потока  $\mu_x = \frac{G_{\text{хол}}}{G_{\text{вх}}}$  относительно массового расхода на входе  $G_{\text{вх}}$ . Доля подогретого потока при этом составит  $\mu_r = \frac{G_{\text{гор}}}{G_{\text{вх}}} = (1 - \mu_x)$ . В вихре-

вой трубе со смешением стратифицированных потоков массовый расход газа на выходе  $G_{\text{вых}} = G_{\text{гор}} + G_{\text{хол}}$  определяется как сумма массовых расходов нагретого и охлажденного потоков, при этом температура смешанного потока газа при  $c_p = \text{const}$  определяется по формуле

$$T_{\text{см}}^* = \mu_x \cdot T_{\text{хол}}^* + (1 - \mu_x) \cdot T_{\text{гор}}^* \quad (1)$$

где  $\mu_x$  – количество относительного расхода холодного потока.

Подогрев горячего потока, возрастая с ростом  $\mu_r$ , достигает своего максимального значения при  $\mu_r$ , близком к 1, а затем резко снижается до нуля (спад на кривых не показан) (рис. 1).

Сотрудниками кафедры ПГМ Уфимского Государственного Авиационного Технического Университета совместно с Институтом технологии и организации производства (ОАО НИИТ) была проанализирована работа вихревых труб на сжатом воздухе и природном газе, что позволило выдвинуть предположение о наличии диапазона массовых соотношений страфицированных потоков, в котором температура смесового потока на выходе вихревой трубы может превышать температуру газа на входе в вихревое устройство.

В результате проведенных исследований был разработан принцип энергоэффективного дросселирования магистрального газа, за счет использования вихревых процессов с различными вариантами смешения стратифицирован-

ных потоков и введения положительной обратной связи по тепловому контуру, который был заложен в основу разработанного вихревого регулятора давления газа [2, 3, 4].

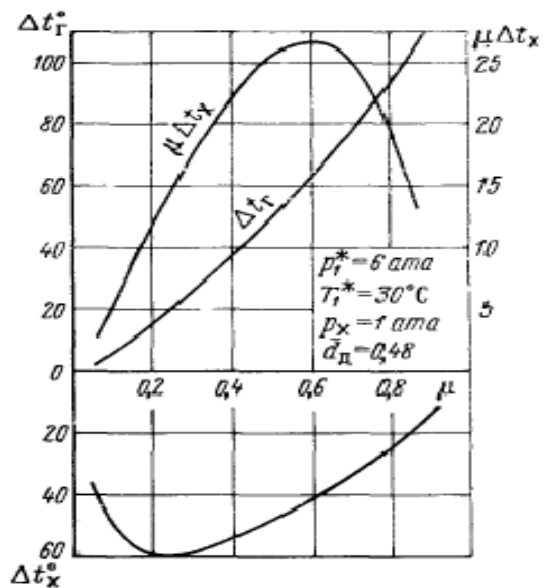


Рис. 1. Характеристики теплоизолированной вихревой трубы [1]

Экспериментальные исследования работы вихревого регулятора для газораспределительных пунктов как на воздухе, так и на природном газе при расходе до 500 м<sup>3</sup>/час в интервале давлений 0,3–0,6 МПа подтверждают наличие обратной связи и повышение температуры выходного газа (вихревой регулятор был разработан по заказу ООО Тюменьмежрайгаз в ОАО НИИТ совместно с кафедрой ПГМ УГАТУ) [4].

Результаты испытаний на сжатом воздухе показали, что температура газа на входе в сопловой ввод закручивающего устройства повышается на 2–4 °С после обтекания головки «горячего» плеча вихревой трубы регулятора, температура воздуха на выходе также повышается на 3–5 °С после дросселирования давления относительно входной температуры (на природном газе повышение температуры при испытаниях на ГРП составило +1,5–+3,0) [5].

Для проверки предположения квазиизотермического дросселирования с помощью устройств на основе вихревой трубы был построен график зависимости величины избыточной температуры смешения, охлажденного и нагретого потоков от доли охлажденного потока газа на основе данных табл. 1 (рис. 2). Избыточная температура смешения охлажденного и нагретого потоков газа  $\Delta t_{\text{см}}$ , °С получена на основе экспериментальных данных [4] по формуле (1).

Таблица 1  
Зависимости величины избыточной температуры смещенного потока от доли охлажденного потока газа

$\mu$	$P_{вх}$ , МПа			
	0,6	1,2	2,4	3,6
0	-1,5	-2	-8	-6
0,2	3,2	3,2	-3,2	-1,6
0,4	8,4	9	6	6,6
0,6	12,4	17,6	16	17,6
0,8	10,2	10,6	14	16
1	-2	-3	-7	-8

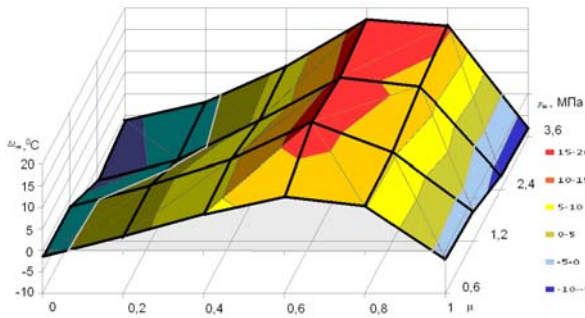


Рис. 2. Зависимость величины избыточной температуры смешения охлажденного и нагретого потоков газа от доли охлажденного потока [6]

Нулевая плоскость на рисунке отделяет отрицательную и положительную области перепада температур при дросселировании, что подтверждает возможность квазиизотермического дросселирования давления. [6]

#### Анализ результатов численного моделирования процессов стратификации, совместного течения вихревых потоков и их перемешивания

В работе [6] исследовалось влияние на температуру смешанного потока, геометрических и газодинамических характеристик, при этом смешение двух потоков реализовывалось в проточной части конструкции вихревой камеры энергетического разделения (вихревой трубы). Методом численного моделирования определено влияние проходного сечения диафрагмы на процессы стратификации в ВРД. В ходе исследования в твердотельную модель ВРД последовательно устанавливались диаметры диафрагм 30, 40, 50, 60 мм. При уменьшении площади диафрагмы увеличивается радиальный уступ (рис. 3), являющийся местным сопротивлением, уменьшающий расход газа выходящего напрямую из камеры энергетического разделения (КЭР) в диафрагму и, следовательно, увеличивающий перепад давлений в диафрагме. В слу-

чае уменьшения диаметра диафрагмы до 30 мм низкотемпературная область перемещается за пределы КЭР и располагается в области выходного устройства. Площадь диафрагмы влияет на структуру потока газа в КЭР и, следовательно, на изменение температуры стенки как вдоль оси трубы, так и в радиальном направлении. Обнаруженные крупные вихревые структуры [7], получаемые в КЭР, способствуют интенсификации температурной стратификации, однако реализация возврата потока через приосевую зону (внутреннее смешение), разрушает крупновихревые структуры, что значительно сказывается на режимах работы КЭР.

В работе [8] методом численного моделирования исследовано влияние тормозного устройства и устройства возврата потока на структуру потока в КЭР и параметров ВРД. Результаты расчетов показывают, что наличие тормозного устройства позволяет реализовать раскрутку основного потока и его торможение.

В результате взаимодействия потока с лопаточным венцом происходит разделение его на несколько локальных потоков в межлопаточных каналах и торможение потока в окружном направлении до скоростей порядка 15–40 м/с в камере торможения с последующим переходом в трубке перепуска в «осевое» течение с увеличением потока скоростей до 50–72 м/с. Таким образом, параметры «подогретого» потока зависят от организации конструктивных элементов проточной части «горячего» выхода.

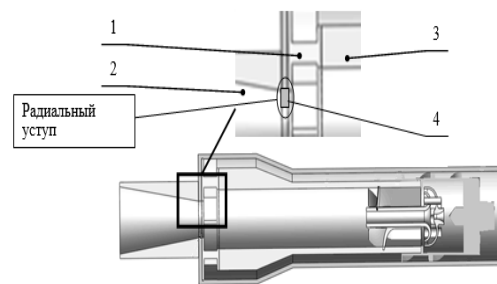
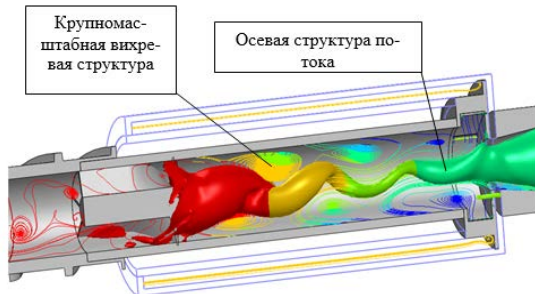


Рис. 3. Твердотельная модель ВРД:  
1 – закручивающее устройство, 2 – диффузор, 3 – камера энергетического разделения, 4 – диафрагма

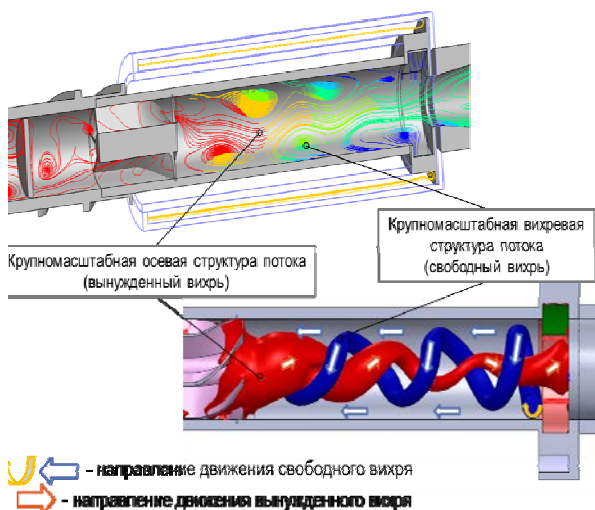
Гипотеза, которая легла в основу построения устройства квазиизотермического дросселирования газа, требует теоретического обоснования и экспериментального подтверждения. Для этого в работе [9] методом численного моделирования проведен анализ влияния характера перемешивания стратифицированных потоков на процессы, протекающие в камере энергетического разделения регулятора.

Результаты расчетов показывают наличие двух крупномасштабных структур: периферийной крупномасштабной вихревой структуры и центральной крупномасштабной вихревой структуры (рис.4).



**Рис. 4.** Пространственная конфигурация крупномасштабной структуры центрального потока (осевой) и крупномасштабной вихревой структуры периферийного потока (КВС), полученная в результате прямого численного моделирования [9]

Исследование характера движения полученных структур позволило выявить следующие особенности: КВС имеет закрутку относительно собственной оси, находящейся в «центре» структуры, ось КВС не имеет закрутки, имеет форму спирали и движется вдоль оси вихревой трубы в направлении от тангенциального закручивающего устройства в сторону камеры энергетического разделения; осевой поток имеет закрутку относительно собственной оси и движется вдоль нее в сторону, противоположную движению КВС, ось имеет форму спирали (рис. 5).

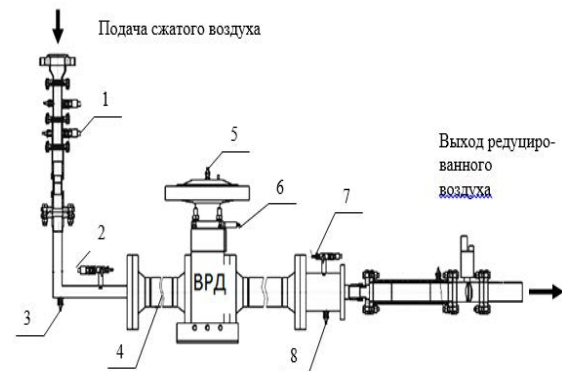


**Рис. 5.** Схема закрутки потоков в структуре движущегося потока в камере энергетического разделения КВРД с внешним смешением [9]

Взаимодействие обнаруженных структур может определить характер как стратификации, так и процесса перемешивания потоков в ВРД.

Для верификации данных, полученных методами численного моделирования, и сопоставления с ранее полученными экспериментальными данными исследований различных конструкций вихревых труб требуется провести ряд экспериментальных исследований на прототипе ВРД. На результаты экспериментальных исследований значительное влияние могут оказывать переменные параметры газовых потоков (давление, температура) на входе в ВРД, что значительно усложняет задачи исследования.

Экспериментальные исследования были проведены с помощью автоматизированного измерительного комплекса, разработанного в лаборатории автоматизации экспериментальных исследований УГАТУ. Схема экспериментального стенда изображена на рис. 6.



**Рис. 6.** Схема экспериментального стенда: 1 – место установки расходомера; 2, 7 – места установки датчиков давлений на входе и выходе из ВРД соответственно; 3, 4, 8 – места установки датчиков температур; 5 – датчик положения регулирующего клина; 6 – подвод сжатого воздуха для поднятия регулирующих клиньев

Измеряемые параметры приведены в табл. 2. Для сравнения изотермического дросселирования и дросселирования работы обычных дросельных, на которых проявляется эффект Джоуля–Томсона проведены экспериментальные и расчетные работы (численное моделирование), сравнительные результаты которых приведены на рис. 7. Сравнение результатов показывает хорошую сходимость расчетных и экспериментальных параметров дросселирования.

Управление расходом рабочего тела и записи информации с параметрами (в реальном времени) производилось с помощью компьютера и со специальным программным обеспечением GDUW [10].

Экспериментальные исследования проводились на сжатом воздухе. Абсолютное входное давление в экспериментах, по программе испытаний, изменялось ступенчато в диапазоне 0,1-4,4 МПа. Выходное давление – 0,1-1,8 МПа.

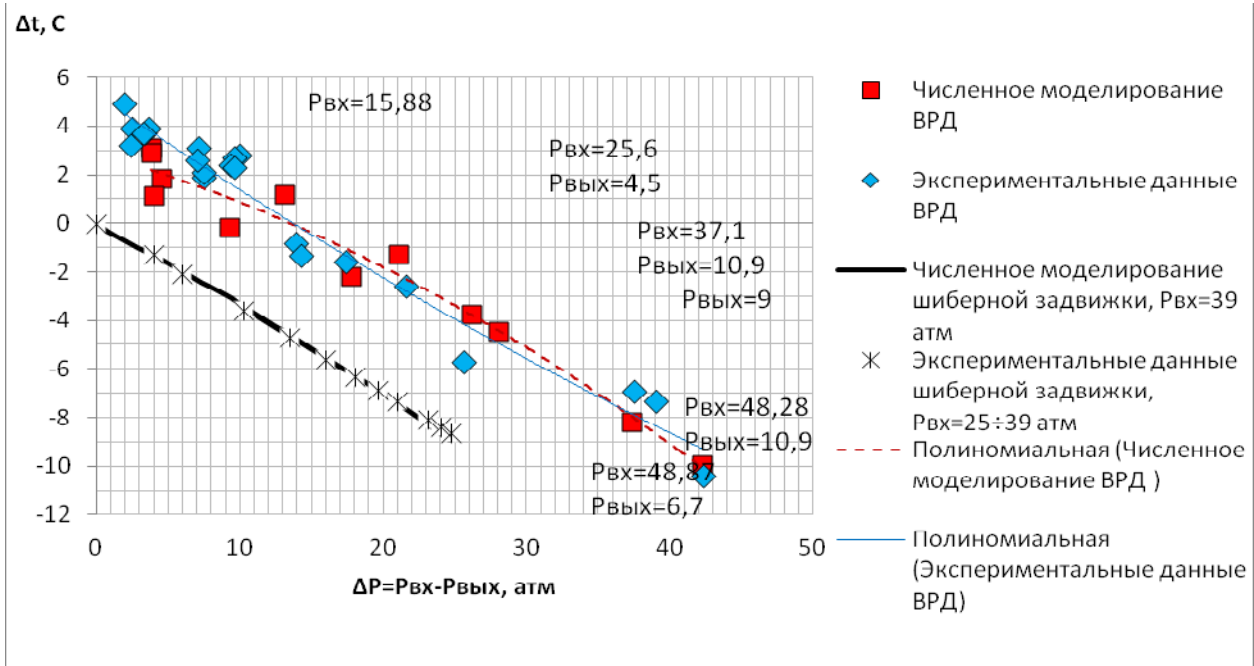


Рис. 7. Верификация математической модели

Таблица 2

Измеряемые параметры и датчики измерений

Измеряемый параметр газа	Датчик	Рабочий диапазон, единица измерения
Температура	Термопара типа К	173–473, К
Давление	АИР–10	0–6, МПа
Расход	Стандартный мерный участок Э – 273	100–30000, м <sup>3</sup> /час

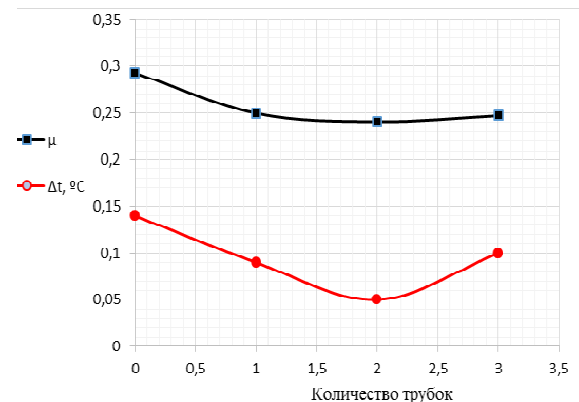
Таблица 3

Данные, полученные экспериментальными исследованиями

$\Delta t_{\text{ВЫХ}}$	$\Delta p$	$P_{\text{ВХ}}$	$P_{\text{ВЫХ}}$
3,7	3,33	6,04	2,71
3,9	2,47	5,74	3,27
3,2	2,36	6,04	3,68
3,9	3,62	6,33	2,71
4,9	1,92	5,74	3,82
3,7	3,31	5,74	2,43
1,9	7,45	10,16	2,71
2,1	7,45	10,16	2,71
2,8	9,94	12,23	2,29
2,7	9,64	11,93	2,29
2,4	9,35	11,64	2,29
2,3	9,64	11,93	2,29
3,1	7,13	11,93	4,8
2,6	7,04	15,17	8,13
-0,8	13,87	15,47	1,6
-2,6	21,56	23,72	2,16
-1,6	17,36	23,13	5,77
-1,3	14,25	24,89	10,64
-10,4	42,38	47,87	5,49
-7,3	39,06	48,17	9,11
-6,9	37,48	47,28	9,8
-5,7	25,59	36,09	10,5

На рис. 7 представлена экспериментальная зависимость изменения параметров ВРД в абсолютных значениях (по температуре  $t_i$  газа – °С, по давлению  $p_i$  – атм и по расходу газа  $Q$  – объемный расход воздуха – м<sup>3</sup>/час) при ступенчатом изменении давления на входе в ВРД и величины противодействия с помощью изменения проходного сечения управляемой задвижкой на выходе из ВРД.

Для верификации математической модели проведены экспериментальные исследования, данные которых приведены в табл. 3.

Рис. 8. Зависимость изменения количества трубок перепуска от  $\mu_r$  при входном давлении  $P_{\text{ВХ}}=0,3$  МПа

График, изображенный на рис. 8, позволяет выявить зависимость основных параметров газового потока для получения аналитических выражений и закономерностей, которые могут быть использованы для введения эмпирических данных при проведении исследований методом



численного моделирования, а также показывает многофакторность изменения параметров в процессе проведения экспериментальных исследований которую необходимо учитывать при построении аналитических зависимостей [2].

В ходе экспериментальных исследований показано, что ступенчатое повышение и понижение входного давления газа позволило выявить зависимость основных параметров газового потока для получения аналитических выражений и закономерностей, которые были использованы для введения эмпирических данных в исследования методом численного моделирования. Также полученные аналитические выражения позволили уточнить геометрические параметры, имеющихся экспериментальных образцов ввести поправки в принципиальную схему и определенные геометрические характеристики.

Одним из параметров, который имеет ключевое значение, является расход газа через «горячее» плечо вихревой трубы. В виду неизменности геометрии в экспериментальных исследованиях характеристика (рис. 8) представлена для фиксированной геометрии и одних геометрических параметров перепуска. Изменение параметра  $P_{вх}$  приводит к изменению газодинамической картины и распределению давления по проточной части камеры энергетического разделения (КЭР) КВРД. Значительный рост давления при  $\pi > 5$  приводит к смещению критических истечений и выходу из КВРД и повышению давления КЭР КВРД. Как было показано ранее, и из анализа работ [1, 3, 4, 6] скорость потока газа оказывает значительное влияние на температурную стратификацию. Как следствие, это приводит к снижению термодинамической эффективности КЭР. Анализ конструкций и опыт эксплуатации в экспериментальных условиях КЭР КВРД показывает необходимость распределения критических перепадов по конструкции и повышения скорости потока газа по КВРД, для чего на горячем плече КЭР предлагается увеличить  $\mu_r$  за счет повышения площади проходного сечения каналов перепуска на выход в зону смешения подогретого и охлажденных потоков. Для организации отвода подогретого газа не только через центральную трубку разработана конструкция устройства, позволяющего перепустить часть «горячего» газа из камеры торможения за крестовиной по специальным трубкам его в зону выхода газа «холодного» газа за диафрагму. Перепускаемый газ при этом передает часть тепловой энергии как входному газу, так и конструкции регулятора. Параметры перепуска газа являются определяющими

и их необходимо учитывать при проектировании и разработке вихревых регуляторов давления на базе вихревых устройств (рис. 8). Эффективность такой схемы была подтверждена при испытаниях как на сжатом воздухе, так и на природном газе в ООО Тюменьмежрайгаз. Испытанная конструкция ВРД содержала три трубки перепуска. При наличии трех периферийных трубок перепуска снижается расход «горячего» газа через центральную трубку, но при прохождении части «горячего» потока по периферийным трубкам перепуска возрастает действие положительной обратной связи и, за счет теплопроводности металла, происходит подогрев стенок корпуса, исключая возможность обледенения регулятора, а также обеспечивает практически изотермический режим дросселирования в регуляторе.

Таким образом, выполненная верификация результатов экспериментальных исследований и разработанной методики численного моделирования процессов вихревых течений и температурной стратификации позволяет определить характер конструктивных мероприятий для расширения диапазона и повышения эффективности квазиизотермического дросселирования при транспорте природных газов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969 г. 183 с. [Merkulov A.P. Vortex effect and its application in engineering. Moscow: Mashinostroenie. 1969]
2. Ахметов Ю.М., Зангиров Э.И., Свистунов А.В., Юнусбаев Д. И. Зависимость измерения температуры от величины и градиента давления. Современные проблемы проектирования и эксплуатации авиационных двигателей: всероссийская научно-техническая конференция: сб. тр. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2014. С. 19–21. [Akhmetov Y. M., et al. The dependence of measure the temperature of magnitude and pressure gradient. Current problems in the design and operation of aircraft engines: All-Russian Scientific Conference, Ufa USATU, 2014. pp. 19-21.]
3. А. М. Русак, Ю. М. Ахметов, А. Ю. Пархимович, А. В. Свистунов, А. А. Соловьев, В. А. Целищев, А. А. Чиндина. Исследование и применение вихревых технологий на кафедре ПГМ УГАТУ // Вестник УГАТУ. 2012. Т 16, № 2 (47). С. 151–162. [A. M. Rusak, et al. Research and application of vortex technology at the department PGM USATU // Vestnik UGATU. 2012, vol.. 16, no. 2 (47), pp 151-162.]
4. Р.Х. Мухутдинов, Р.Я. Амиров, Л.Э. Альмеев, М.М. Ханнанов. Эффективность внедрения вихревых аппаратов (применительно к нефтехимическим производствам). Уфа: Реактив, 2001, 342 с. [R.H. Mukhutdinov, et al. The effectiveness of the implementation of the vortex devices (in relation to petrochemical industries). Ufa: Reactive 2001]
5. Ахметов Ю.М., Свистунов А.В., Чиндина А.А. Идентификация процесса квазиизотермического дросселирования газа. Вестник УГАТУ. 2012 Т.16 , № 2 (47). С. 1–8

[Akhmetov Y.M., et al. Identification of quasi-isothermal gas throttling. Vestnik UGATU 2012, vol.16, no2 (47), pp. 1-8.]

6. **Чиндина А.А., Свистунов А.В., Ахметов Ю.М.** Исследование влияния тормозного устройства на структуру потока и параметры изотермического вихревого регулятора давления. Вестник УГАТУ. 2011. Т. 14, №4 (44). С. 149–153. [Akhmetov Y.M., et al. Investigation of the influence of the brake device on the structure and flow settings isothermal vortex pressure regulator. Vestnik USATU. 2011. Vol. 14, no. 4 (44), pp. 149-153]

7. **Свистунов А.В., Мухаметов М.В., Зангиров Э.И., Чиндина А.А.** Идентификация температурных характеристик квазиизотермического вихревого регулятора давления газов // Вестник УГАТУ 2013, Т. 17, №3(56). С. 103-108. [Svistunov A.V., et al. Identification of the characteristics of quasi-isothermal temperature vortex gas pressure regulator // Vestnik USATU 2013, Vol. 17, no. 3 (56), pp. 103-108]

8. **Зангиров Э. И., Ахметов Ю. М., Юнусбаев Д. И.** Анализ влияния характера смешения стратифицированных потоков на процессы, протекающие в квазиизотермическом вихревом регуляторе давления газов. Наука-производство: Ежегодный научно-технический сборник. Вып. 8. Уфа: Вагант, 2013. С.228–237. [Zangirov E.I., et al. Analysis of influence of mixing character of stratified flows in the processes occurring in the quasi-isothermal vortex gas pressure regulator. Science-production: The annual scientific and technical collection. Vol. 8. Ufa: Vagant 2013. pp. 228-237.]

9. **Ахметов Ю. М., Зангиров Э. И., Юнусбаев Д. И.** Экспериментальное исследование рабочих характеристик квазиизотермического регулятора давления газов для ГРП. Наука-производство: Ежегодный научно-технический сборник. Вып. 8. Уфа: Вагант, 2013. С. 221–228. [Akhmetov Y.M., et al. Experimental study of the performance of quasi-isothermal gas pressure regulator for GDP. Science-production: The annual scientific and technical collection. Vol. 8. Ufa: Vagant. 2013, pp. 221-228]

10. **Новиков И. И.** Термодинамика: учебное пособие для студентов энергомашиностроительных и теплотехнических специальностей втузов. М: Машиностроение, 1984. 592 с. [Novikov I.I. Thermodynamics: textbook for students of power engineering and thermal specialties of technical colleges. I.I. Mashinostroenie, 1984.]

11. **Ахметов Ю. М., Русак А. М., Целищев В. А.** Редуцирование давления природного газа без устройств предварительного подогрева // Сб. научных докладов РАН IV межд. совещания по проблемам энерго-аккумуляции и экологии в машиностроении, энергетике и на транспорте. М: ИМАШ РАН, 2004. С. 133–144. [Akhmetov Y. M., et al. Pressure reduction of natural gas without preheating M: IMASH Russian Academy of Sciences, 2004, pp. 133-144.]

12. **Ахметов Ю. М.** Опыт реализации квазиизотермического редуцирования в вихревых регуляторах давления энергетических систем / Ф. Г. Бакиров, Ю. М. Ахметов, А. А. Соловьев, С. В. Гурин, А. Ю. Пархимович // Вестник УГАТУ. 2007. Т9, № 6 (24). С. 3–6. [Akhmetov Y. M., et al. Experience implementing quasi-isothermal reduction in the vortex pressure regulators of energy systems. Vestnik UGATU. 2007. Vol. 9, no. 6 (24), pp. 3-6.]

13. **Ахметов Ю. М., Пархимович А. Ю., Свистунов А. В.** Численное моделирование процессов стратификации в изотермическом вихревом регуляторе с внутренним смешением // Вестник УГАТУ. 2010 Т.10, №14(37). С. 41-50. [Akhmetov Y.M., et al. Numerical modeling of isothermal stratification in

the vortex regulator with internal mixing // Vestnik USATU. 2010. Vol. 10, no. 14 (37), pp. 41-50.]

#### ОБ АВТОРАХ

**АХМЕТОВ Юрий Мавлютович**, доц. каф. прикл. гидромех., зам. ген. дир. НИИТ. Дипл. инж.-мех. по авиац. двигателям (УАИ, 1959). Канд. техн. наук по тепл. двиг. (МАИ, 1978). Иссл. в обл. газогидр. течений и систем упр. энерг. установок.

**ЗАНГИРОВ Эрнест Ирекович**, ассистент ПГМ УГАТУ, асп. каф. прикл. гидромех. (УГАТУ, 2012). Дипл. маг. техн. и технол. по энергомашиностроению (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. газогидр. течений и систем упр. энерг. установок.

**СВИСТУНОВ Антон Вячеславович**, ст. препод. ПГМ УГАТУ, маг. каф. прикл. гидромех. (УГАТУ, 2009). Дипл. б-р техн. и технол. по энергомашиностроению (УГАТУ, 2007). Канд. техн. наук по гидравл. машинам (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. газогидр. течений и систем упр. энерг. установок.

**ЯМИНОВА Елена Маратовна**, аспирант каф. прикл. гидромех. (УГАТУ, 2015). Дипл. инж.-конст. (УГАТУ, 2015). Иссл. в обл. газогидр. течений и систем упр. энерг. установок.

**ШУТИХИНА Ксения Петровна**, маг. каф. прикл. гидромех. (УГАТУ, 2015). Дипл. б-ра (УГАТУ, 2015). Иссл. в обл. газогидр. течений и систем упр. энерг. установок.

#### METADATA

**Title:** The analysis of mixing parameters of stratified flows in the vortex gas pressure regulator.

**Authors:** Y.M. Akhmetov, E.I. Zangirov, A.V. Svistunov, E.M. Yaminova, K.P. Shutihina.

**Affiliation:**

<sup>1-5</sup> Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>37@bk.ru, <sup>2</sup>zangirov.ernest@mail.ru, <sup>3</sup>svistunoff@yandex.ru, <sup>4</sup>elenagm43@mail.ru, <sup>5</sup>mauka92@yandex.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU, vol. 20, no. 4 (70), pp. 8-15, 2015.

ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** Within the framework of the calculations of geometric gasdynamic parameters and analysis of experimental research the impact of input parameters ( $P_{in}$ ,  $t_{in}$ ) is reflected in the gas-dynamic picture of the distribution of pressure and gas temperature in the flow chamber of the energy division, influencing the efficiency of the processes of stratification in the vortex pressure regulator/

**Key words:** vortex tube, vortex pressure control, mixing of stratified flows, quasi-isothermal throttling.

**About authors:**

**АХМЕТОВ Yuri Mavlyutovich**, associate professor, department of applied hydromechanics. Diploma engineer mech. for aircraft engines (UAI, 1959). Candidate of technical sciences of heat engines (MAI, 1978). Research is in the field of gas-hydraulic flows and control systems of power plants.

**ZANGIROV Ernest Irekovich**, assistant PGM UGATU, a graduate student of the department of applied hydromechanics. (UGATU 2012), master's degree of engineering and technology for power engineering (UGATU, 2011). Research is in the field of gas-hydraulic flows and control systems of power plants.

**SVISTUNOV Anton Vyacheslavovich**, master's degree of engineering and technology for power engineering (UGATU, 2009), bachelor of engineering and power engineering technology (UGATU, 2007). Candidate of Technical Sciences in hydraulic machines (UGATU 2012). Research is in the field of gas-hydraulic flows and control systems of power plants.

**YAMINOVA Elena Maratovna**, a graduate student of the department of applied hydromechanics (UGATU, 2015). Diploma engineer constructor (UGATU, 2015). Research is in the field of gas-hydraulic flows and control systems of power plants.

**SHUTIHINA Ksenia Petrovna**, master student of department of applied hydromechanics (UGATU, 2015). Bachelor's degree (UGATU, 2015). Research is in the field of gas flows and hydraulic control systems of power plants.