

5. А.Фросимова В.Н., Козельский Е.И., Во-  
лошин С.А. Малоразмерная пленочно-испарительная камера сго-  
рания ГТД малой мощности //Изв. вузов. Авиационная техника. 1986.  
№ 1, С. 82-85.

6. А.с. 589452. СССР. МКИ<sup>2</sup> F 02 C 7/22. Г 23 C 3/00. Вихре-  
вая камера сгорания /А.А.Жирнов, Г.И.Горелов (СССР).  
№ 2367474/25-06; Заяв. 3.06.76; Опубл. 25.01.78. Бюл. № 3. 2 с.

7. Горелов Г.И., Жирнов А.А. Вихревая камера  
сгорания с профилированными торцевыми стенками //Изв. СО АН СССР.  
Сер. техн. наук. 1981. Вып. 4. № 3. С. 29-32.

УДК 532.527

А.И.Мальшев, Ю.М.Абызгильдин, С.Л.Бабин,  
Т.И.Бондарева

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ  
ДИФФУЗИОННОГО ПРОЦЕССА ГАЗОВ ЧЕРЕЗ СЛОЙ ХЕМОСОРБЕНТА  
В ВИХРЕВОМ АГРЕГАТЕ

(ПО "Пермнефтеоргсинтез")

Приведен оценочный анализ с описанием вихре-  
вого агрегата для дегазации жидкостей и  
оценки характеристик течения в каналах ви-  
ревого устройства. Дано описание конструкции  
нового типа вихревого дегазатора. В аппара-  
тах используется энергия избыточного давле-  
ния исходной газожидкостной смеси для повы-  
шения эффекта дегазации. Приведены результа-  
ты промышленного внедрения трех вихревых ус-  
тройств высотой 0,6 метра с исключением из  
схемы отпарной колонны высотой 18 метров.

Несмотря на широкое распространение вихревых аппаратов в тех-  
нике их конструирование часто осуществляется без должной теорети-

ISBN 5-230-16926-5

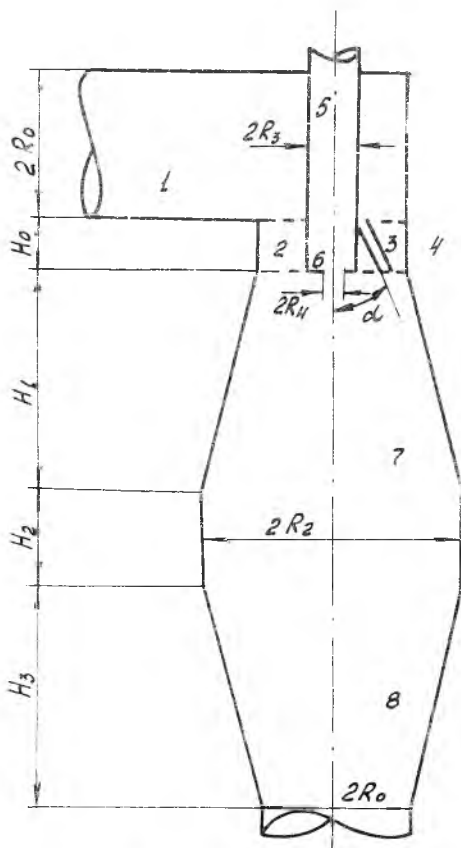
Вихревой эффект  
и его применение в технике.  
Самара, 1992

ческий проработки и во многом опирается на интуицию инженера, его экспериментальную базу. Одна из причин такого положения связана со сложностью гидродинамики вихревых аппаратов (ВА). Особенно сложны ВА, предназначенные для очистки жидкостей от газовых включений. Методами математического моделирования можно получить важные сведения о физических процессах, происходящих в ВА, решая соответствующие уравнения математической модели. На данном этапе такая модель не построена. Поиску оптимальной модели помогают разного рода оценки. Оценки такого рода рассмотрены ниже. Методами математического моделирования можно извлекать важные свойства объекта из математической обработки экспериментальных данных. Анализ экспериментальных данных о работе вихревого аппарата, внедренного в промышленности [1, 2], показал, что они, к сожалению, мало информативны. Можно провести только оценочный анализ с описанием ВА и оценки характеристик течения в каналах ВА.

На рисунке изображена типичная схема ВА. Жидкость с газовыми примесями подается на вход ВА 1 под давлением  $p = 2,0 \dots 0,7$  МПа. В камере 2 происходит разветвление потока на  $m$  каналов ( $m = 12$ ). На рисунке изображен лишь один канал 3. Каналы имеют прямоугольное сечение. Они располагаются вдоль винтовой линии около боковой поверхности цилиндра 4 ("сопло"). Важным параметром ВА является угол наклона по отношению к вертикали  $\alpha$ , так как он определяет величину азимутальной компоненты скорости  $V_{\varphi} = V_0 \sin \alpha$  ( $V_0$  - скорость потока). Азимутальная компонента скорости распределяет выходящие потоки из каналов вдоль боковой поверхности камеры 7. На дне камеры имеется выходное отверстие 8, через которое жидкость уходит из ВА. В камере 7 происходит газовыделение через вертикальный канал 5 с диафрагмой 6 на входе. Выход паров жидкости вместе с газовыми компонентами из камеры является нежелательным эффектом.

Сокращение сечения канала в сопле неизбежно приведет к увеличению скорости течения жидкости. Это увеличение равно (при неизменной плотности) отношению соответственных площадей сечений:

$$K = \frac{S_0}{m S_c},$$



Р и с. Схема вихревого агрегата

$S_0 = \pi R_0^2$  - площадь входного сечения трубы I (см. рис.);

$S_c$  - площадь сечения одного канала сопла;

$m$  - число каналов.

Так, например, при  $2R_0 = 15$  см,  $S_c = 6,54$  см<sup>2</sup>,  $m = 12$   
 коэффициент возрастания скорости  $K = 2,25$ . Возрастание средней

скорости потока в  $K$  раз согласно формуле Бернулли происходит при перепаде давления

$$\Delta P_0 = \frac{\rho}{2} (K^2 - 1) V_0^2.$$

Вязкое сопротивление, необходимое для прокачки жидкости через канал, может быть определено по эмпирическим формулам, которые приведены в монографии Бай Ши-И [3]. Эти эмпирические формулы приведены для развитого турбулентного режима. Поэтому, чтобы быть уверенным, что в рассматриваемом случае действительно турбулентный режим, необходимо оценить соответствующее число Рейнольдса

$$Re = 2R_1 V_1 / \nu = 2R_1 k_1 V_0 / \nu.$$

Типичное значение  $Re$  в канале для кинематической вязкости ( $\nu = 10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$ ) более  $10^5$ , что соответствует хорошо развитому турбулентному режиму.

Для круглой гладкой трубы эмпирическая формула имеет вид

$$\Delta P_1 = \lambda \rho V_1^2 / 4R_1, \quad (I)$$

где  $V_1$  - средняя скорость потока;

$R_1$  - радиус трубы;

$\ell$  - длина канала;

$\lambda$  - безразмерный коэффициент сопротивления.

Формула (I) может быть использована для оценок перепада давления в прямоугольном канале, если "радиус" прямоугольного канала определить из равенства соответствующих площадей

$$\pi R_1^2 = S_c, \quad R_1 = \sqrt{S_c / \pi}.$$

Длина канала в сопле ВА определяется по формуле

$$\ell = H_1 / \cos \alpha.$$

Значение коэффициента  $\lambda$  вычисляется по эмпирической формуле Рейнольдса в зависимости от числа Рейнольдса  $Re$  :

$$1/\sqrt{\lambda'} = 2.035 \lg(\sqrt{\lambda'} \times Re) - 0.91.$$

Эта формула справедлива при числах  $Re > 10^5$ .

Укажем еще одну причину, которая может привести к дополнительному перепаду давления в канале

$$\Delta P = (\rho_2 V_2^2 - \rho_1 V_1^2) / 2. \quad (2)$$

Этот перепад давления возникает в том случае, если жидкость на выходе из канала имеет меньшую плотность ( $\rho_2 < \rho_1$ ). Меньшая плотность на выходе из канала является результатом дегазации жидкости.

После преобразования формулы (2) с помощью соотношения равенства расходов через канал

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$$

она приобретает более простой вид

$$\Delta P_2 = \frac{1}{2} \rho_1 V_1 (V_2 - V_1) = \rho_1 V_1^2 (\rho_1 / \rho_2 - 1) / 2.$$

Изменение плотности потока жидкости можно оценить по формуле Кричевского для равновесных концентраций газовых примесей. Жидкость пройдет через канал ВА за время, меньшее 0,01 с, и равновесными функциями вряд ли можно пользоваться. Опишем приближенный метод нахождения свободной поверхности жидкости. Пусть  $R(z)$  - уравнение поверхности ВА;  $\sigma(z)$  - уравнение свободной поверхности (подлежит определению);  $V = V(r, z)$  - азимутальная компонента скорости;  $U = U(z) = \sqrt{V_r^2 + V_z^2}$  - проекция скорости на линию, параллельную касательной к поверхности ВА;  $G$  - величина расхода жидкости, которая полагается константой.

Граничные условия таковы:

$$V(r, 0) = V_0(r),$$

$$U(0) = U_0.$$

Для вывода соотношений, из которых можно было бы определить свободную поверхность, воспользуемся законами сохранения энергии, момента импульса и постоянства расхода.

Из теоремы Бернулли без учета силы тяжести

$$\frac{\rho}{2}(V^2 + U^2) + \frac{\rho}{\rho} = \text{const}(\ell) = c(\ell), \quad (3)$$

где  $\ell$  - параметр, соответствующий рассматриваемой линии тока.

Из закона сохранения момента импульса

$$\int_{\sigma(z)} u_r dr = \Gamma_0 = \text{const}, \quad (4)$$

из условия постоянства расхода

$$\int_{\sigma(z)}^{R(z)} r V_z dr = G/2\pi \quad (5)$$

Полагаем, что давление, отсчитываемое от значения на свободной поверхности, может быть найдено по формуле, определяющей центростремительное ускорение:

$$p = \rho \int_{\sigma(z)} V^2/r dr. \quad (6)$$

Из геометрических соображений

$$V_z = U_x \cos \alpha = \frac{U_x}{[1+(R'(z))^2]^{1/2}}, \quad (7)$$

здесь  $R'(z)$  - тангенс угла наклона поверхности стенки ВА по отношению к вертикали.

Подстановка уравнений (6), (7) в (3), (5) приводит к соотношениям

$$\frac{\rho}{2}(V^2 + U^2) + \int_{\sigma(z)} V^2/r dr = \text{const}(\ell) = c(\ell). \quad (8)$$

$$\int_{\sigma(z)}^{R(z)} \frac{u_r dr}{[1+(R'(z))^2]^{1/2}} = G/2\pi. \quad (9)$$

Полученную систему уравнений (8), (9) вместе с законом сохранения момента импульса (4) можно рассматривать как систему нахождения  $u$ ,  $V$ ,  $\sigma$ .

Приведем пример. Предположим, что азимутальная компонента ско-

рости  $V$  элемента жидкости не зависит от радиуса. Пусть тогда  $V = \bar{V}(z)$ . Подставляя это выражение в уравнение (4) получим условие

$$R^2(z) - \sigma^2(z) = 2C_0/\bar{V}(z). \quad (10)$$

Из (10) получим уравнение свободной поверхности

$$\sigma(z) = \sqrt{R^2(z) - 2C_0/\bar{V}(z)}. \quad (11)$$

функцию  $\bar{V}(z)$  можно определить путем подстановки уравнений (11) в (8) (9). Толщина слоя жидкости определяется из (11) как

$$\delta(z) = R(z) - \sigma(z) = R(z) - \sqrt{R^2(z) - 2C_0/\bar{V}(z)}.$$

Качественная картина течения в осевом разрезе вихревого аппарата приведена на конкретном примере извлечения растворенных газов из жидкостей при внедрении в химической технологии трех вихревых устройств высотой 0,6 м взамен отпарной колонны высотой 18 м. Данные сведены в таблицу:

Показатели	Известный способ	Применение трех вихревых аппаратов
Нагрузка на отпарную колонну или три устройства, т/ч	140	Отпарная колонна исключена 140
Давление на входе, МПа	2,8	0,7
Перепад давления, МПа	2,0	0,4
Расход пара на одну тонну дегазируемой жидкости или снижение энергозатрат, т пара/т жидкости	0,15	0,05
Качество дегазации, по $P_H$ среды	7-7,5	7,5-8,2
Степень регенерации от газов, %	90-95	98-100

## Библиографический список

1. А.с. I40984I СССР, МКИ *F25D7/16*. Вихревой вертикальный кожухотрубный теплообменник /А.И.Малышев, П.Т.Прудхун, Б.С.Раиков, Ю.К.Сомов, Е.А.Жигалова, В.Я.Нестеренко, В.И.Истратов (СССР). - 4I67275/24; Заявл. 24.12.86. Опубл. 15.07.88 //Открытия, изобретения. 1988. № 26. С. 27.

2. А.с. I48793I СССР, МКИ *B01D19/00*. Вихревой газожидкостный сепаратор /Н.А.Артамонов, А.И.Малышев, В.И.Истратов, И.И.Короткий, И.Т.Лейтес, И.Г.Резник, П.Т.Прудхун (СССР). - 4246900/3I; Заявл. 21.05.87. Опубл. 23.07.89 //Открытия, изобретения. 1989. № 23. с. 18.

3. Бай-ШИ-И. Турбулентное течение жидкости и газов. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. 344 с.

УДК 532.527

А.И.Малышев, С.Л.Бабин, В.А.Кузнецов,  
А.А.Малышева

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ  
ПО ОПТИМИЗАЦИИ ВИХРЕВОГО ДЕГАЗАТОРА  
(ПО "Пермнефтеоргсинтез")

Дано описание конструкции вихревого дегазатора, основных геометрических параметров, влияющих на производительность. Показаны результаты промышленного внедрения.

Уменьшение содержания в жидкости газа, находящегося в ней как в растворенном состоянии, так и в виде пузырьков - актуальная задача практического производства, в том числе химической технологии. Процесс дегазации осуществляют с помощью технических средств и приборов, работа которых может быть основана на явлениях термического или адиабатического расширения, вакуумирования, ультразвуковой

---

Вихревой эффект  
и его применение в технике.

ISBN 5-230-16926-5

Самара, 1992