УДК 621.453.034.3:621.646.7 А.Л. Кирьянчук

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВИХРЕВЫХ ТРАКТАХ ПРИ ТЕЧЕНИИ ДВУХ СМЕШИВАЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ

В практической деятельности применительно к цилиндрическим вихревым трактам (ЦВТ) как к смесительному устройству жидкостей с различными реологическими свойствами необходима оценка энергетических затрат на смешение, которые связаны с гидропотерями. Экспериментальные исследования таких процессов сложны ввиду существенной их многофакторности. Однако такие экспериментальные исследования могут быть существенно минимизированы при теоретическом рассмотрении течения с потерями двух жидкостей в проточной части смесителя, и, таким образом, можно исключить из рассмотрения несущественные факторы и на этапе теоретического анализа определить вид безразмерных критериев, позволяющих оценить потери при смешении.

Проточная часть ЦВТ образована двумя группами взаимно перекрещивающихся каналов, выполненных на поверхностях сопряжения корпуса и втулки в виде многозаходных винтовых канавок. Таким образом формируется характерная ячейковая структура проточной части тракта [1], схема формирования которой представлена на рисунке 1. Известно, что течение жидкости в таких трактах является общим случаем течения с потерями в гладких каналах, так как в этом случае реализуются следующие параметры ЦВТ:

– углы подъема винтовых линий каналов корпуса и втулки равны: $\beta_1 = \beta_2$;

– угол скрещивания каналов равен нулю: $\psi = 0$.

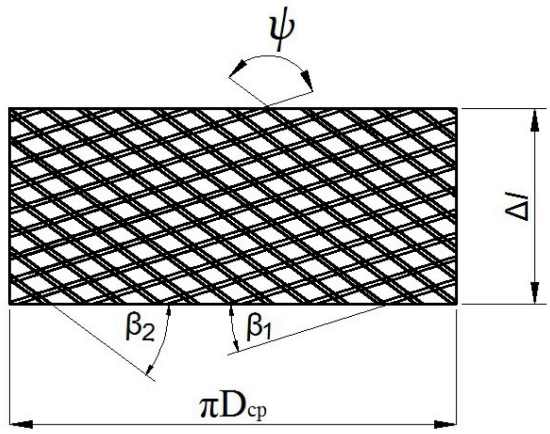

Рисунок 1 – Схема формирования проточной части АЦВТ

В случае, когда проточная часть тракта имеет геометрические параметры, отвечающие условиям $0<\beta_1,\beta_2<\pi/2$ и $\beta_1 \neq \beta_2$, имеет место общий случай таких трактов, а именно асимметричный цилиндрический вихревой тракт (АЦВТ). Известно, что потери в таких трактах при течении одной жидкости определяются модифицированным для АЦВТ уравнением Дарси – Вейсбаха [2], которое имеет вид:

$$\Delta p = \bar{\xi} K \frac{\sin\psi}{\sin\beta_2(\bar{\Phi}+\bar{\Delta})} \cdot \frac{\Delta l}{d_э} \cdot \frac{\rho W^2}{2}, \quad (1)$$

где K – коэффициент взаимного влияния ячеек в ветви;

$\bar{\xi}$ – путевые потери в одной ячейке с заданными геометрическими характеристиками;

Δl – осевая протяженность участка ЦВТ;

$d_э$ – эквивалентный диаметр одного канала;

ρ – плотность жидкости;

W – средняя скорость течения жидкости;

$\bar{\Phi} = a/d_э$ – безразмерная ширина канала в его нормальном сечении на диаметре сопряжения втулки и корпуса;

$\bar{\Delta} = \Delta/d_э$ – безразмерная ширина перемычки в нормальном сечении на диаметре сопряжения втулки и корпуса;

β_2 – угол подъема винтовой линий одной из групп каналов, при этом $\beta_2 \geq \beta_1$;

ψ – угол скрещивания каналов.

Рассмотрим случай течения с потерями в АЦВТ двух смешиваемых жидкостей. Пусть на входы групп каналов корпуса и втулки ЦВТ с заданными геометрическими характеристиками подаются две различные смешиваемые жидкости. Так как плотность смеси величина аддитивная, и она может быть определена как

$$\rho_{см} = \frac{\dot{m}_к}{\dot{m}_\Sigma}\rho_к + \frac{\dot{m}_в}{\dot{m}_\Sigma}\rho_в, \qquad (2)$$

где $\rho_{см}$ - плотность смеси;

$\rho_к$, $\rho_в$ - плотности жидкостей, подаваемых на входы каналов корпуса с массовым расходом $\dot{m}_к$ и втулки с массовым расходом $\dot{m}_в$ соответственно;

$\dot{m}_\Sigma = \dot{m}_в + \dot{m}_к$ - суммарный массовый расход,

то для оценки потерь давления требуется определить также и скорость потока, что, в свою очередь, требует дополнительного анализа.

Ввиду того, что результатом теоретического рассмотрения должна быть зависимость, аналогичная зависимости (1) и удовлетворяющая общим и частным случаям течения, рассмотрим два предельных варианта.

Пусть массовый расход одного из компонентов равен нулю, например, на входы каналов корпуса не подается соответствующая жидкость - $\dot{m}_к = 0$. В этом случае суммарный массовый расход через тракт будет равен массовому расходу жидкости, подаваемой на входы каналов втулки, – $\dot{m}_\Sigma = \dot{m}_в$. Число Рейнольдса в вихревом тракте определяем по эквивалентному диаметру канала как

$$\mathrm{Re} = \frac{w d_э \rho}{\mu}. \qquad (3)$$

Определим число Рейнольдса на входе в группу каналов втулки как,

$$\mathrm{Re}_{в} = \frac{w_{в} d_{э} \rho_{в}}{\mu_{в}}, \tag{4}$$

или через массовый расход компонента

$$\mathrm{Re}_{в} = \frac{4\dot{m}_{в}}{\pi \mu_{в} d_{э} n_{в}}, \tag{5}$$

где $n_{в}$ - количество каналов втулки.

После попадания в тракт жидкость станет двигаться по каналам обеих групп, следовательно, число Рейнольдса на стабилизированном участке течения можно определить как

$$\mathrm{Re}_{c} = \frac{4\dot{m}_{\Sigma}}{\pi \mu_{в} d_{э} n_{\Sigma}}, \tag{6}$$

или с учетом выше указанного

$$\mathrm{Re}_{c} = \frac{4\dot{m}_{в}}{\pi \mu_{в} d_{э} n_{\Sigma}}. \tag{7}$$

Здесь n_{Σ} - суммарное количество каналов корпуса и втулки. Отсюда можем записать

$$\dot{m}_{в} = \frac{\mathrm{Re}_{в}\, \pi \mu_{в} d_{э} n_{в}}{4} = \frac{\mathrm{Re}_{c}\, \pi \mu_{в} d_{э} n_{\Sigma}}{4}, \tag{8}$$

то есть

$$\mathrm{Re}_{в}\, n_{в} = \mathrm{Re}_{c}\, n_{\Sigma}. \tag{9}$$

Другими словами, можем получить соотношение следующего вида:

$$w_{c} = w_{в}\left(\frac{n_{в}}{n_{\Sigma}}\right), \tag{10}$$

которое говорит о том, что в случае подачи жидкости лишь на входы группы каналов втулки скорость течения по тракту в целом уменьшится на величину $n_{в}/n_{\Sigma}$.

Аналогичным образом можно показать, что и в противоположном случае, то есть в случае подачи компонента лишь на входы группы каналов корпуса, получим соотношение вида

$$w_{c} = w_{к}\left(\frac{n_{к}}{n_{\Sigma}}\right), \tag{11}$$

где $w_{к}$ - скорость на входе в каналы корпуса;

$n_{к}$ - количество каналов корпуса.

Исходя из вышеизложенного, логично предположить, что в случае одновременной подачи двух компонентов на входы каналов соответствующих групп скорость течения общего потока по тракту должна определяться как сумма скоростей, то есть

$$w_c = w_к\left(\frac{n_к}{n_\Sigma}\right) + w_в\left(\frac{n_в}{n_\Sigma}\right), \tag{12}$$

что подтвердилось экспериментальными исследованиями по смешению в АЦВТ двух разнородных жидкостей на водной основе. Таким образом, для оценки потерь давления в АЦВТ при течении в нем двух разнородных смешиваемых жидкостей можем записать выражение следующего вида:

$$\Delta p = \bar{\xi} K \frac{\sin\psi}{\sin\beta_2(\bar{\Phi} + \bar{\Delta})} \cdot \frac{\Delta l}{d_э} \cdot \frac{\left(\frac{\dot{m}_к}{\dot{m}_\Sigma}\rho_к + \frac{\dot{m}_в}{\dot{m}_\Sigma}\rho_в\right)\left(w_к\frac{n_к}{n_\Sigma} + w_в\frac{n_в}{n_\Sigma}\right)^2}{2}, \tag{13}$$

где $\frac{\dot{m}_к}{\dot{m}_\Sigma}\rho_к + \frac{\dot{m}_в}{\dot{m}_\Sigma}\rho_в$ - средняя плотность потока;

$w_к\frac{n_к}{n_\Sigma} + w_в\frac{n_в}{n_\Sigma}$ - средняя скорость течения.

Данная зависимость представляет собой модифицированное уравнение Дарси – Вейсбаха для асимметричного цилиндрического вихревого тракта в случае течения со смешением двух смешиваемых жидкостей. Особенностью её является то, что скорость течения общего потока по тракту определяется скоростями его компонентов на входе в соответствующие группы каналов.

Список использованных источников

1. Грушенко А.М. Определение длины смесеобразующего участка в асимметричном цилиндрическом вихревом тракте / А.М. Грушенко, А.Л. Кирьянчук // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 7(64). – С. 109 – 113.
2. Грушенко А.М. Определение потерь в цилиндрических вихревых трактах / А.М. Грушенко // Проблемы машиностроения. – К. 1987. – Вып. 28. – С 96 – 98.

Поступила в редакцию 10.03.09.
Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.В. Чмовж, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков