

УДК 621.453.034.3:621.646.7

А.Л. КИРЬЯНЧУК

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

К ВОПРОСУ О МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПРОКАЧИВАНИЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ СО СМЕШЕНИЕМ ДВУХ РАЗНОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПРОТОЧНЫХ ТРАКТАХ С ВЗАИМНО ПЕРЕКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ КАНАЛАМИ (ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВИХРЕВЫХ ТРАКТАХ)

Рассмотрена задача по оценке потерь в цилиндрических вихревых трактах (ЦВТ) при течении со смешением двух разнородных жидкостей. С использованием имеющихся экспериментальных данных, определен общий вид зависимости суммарного массового расхода жидкостей от гидродинамических параметров течения (давлений подачи), свойств жидкостей, геометрических характеристик проточной части тракта. Представлен вид графической зависимости относительных массовых расходов жидкостей от отношения их давлений подачи. Данная зависимость позволит путем сравнительного анализа осуществить наиболее рациональный выбор смесителя с точки зрения минимизации энергетических затрат на прокачивание при решении задачи по получению смеси двух жидкостей определенной концентрации. Определены цели и задачи последующих экспериментальных исследований по смешению двух жидкостей в проточных трактах с взаимно перекрещивающимися каналами.

Ключевые слова: смешение, цилиндрические вихревые тракты, взаимно перекрещивающиеся каналы, давление подачи, массовый расход.

Введение

Смешение жидкостей в проточных трактах с взаимно перекрещивающимися каналами представляет практический интерес ввиду компактности таких устройств и существенной интенсификации процессов массообмена между группами сопрягаемых каналов [1, 2].

В настоящее время гидравлические характеристики таких трактов исследованы достаточно полно для случая течения однородной по своим реологическим свойствам жидкости. Течение со смешением двух разнородных жидкостей в трактах различной геометрии при разных условиях входа требует дополнительных исследований.

1. Формулирование проблемы

Интенсивность процессов массообмена в цилиндрических вихревых трактах (ЦВТ) определяет как потенциальную возможность смешения разнородных жидкостей, так и диссипацию (потери) энергии в потоке.

С точки зрения гидродинамики в ЦВТ выделяют начальный (входной) участок с нестабилизированным течением, который определяет входное гидросопротивление и протяженность которого составляет порядка трех поясов скрещивания. За входным участком, следует участок гидродинамически стабилизированного течения.

Если осевая протяженность тракта совпадает с протяженностью начального участка, то такие устройства называются короткими ЦВТ. В выходном сечении таких устройств поток стабилизирован и их можно рассматривать как турбулентные дроссели [3].

Однако экспериментально установлено, что осевая протяженность смесеобразующего участка, то есть участка, на длине которого в полной мере завершены процессы смешения, не совпадает с длиной начального участка и должна составлять не менее шести поясов скрещивания [4].

Таким образом рассмотрение задачи по минимизации энергетических затрат при работе таких смесительных устройств требует анализа потерь как на входном, так и на стабилизированном участке тракта:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{вх}} + \Delta p_{\text{ст}} + \Delta p_{\text{вых}}, \quad (1)$$

где $\Delta p_{\text{вх}}$ – потери на входном участке;

$\Delta p_{\text{ст}}$ – потери на участке стабилизированного течения;

$\Delta p_{\text{вых}}$ – потери на выходе из устройства.

Потери на участке стабилизированного течения возможно оценить с помощью модифицированного уравнения Дарси – Весбаха для случая течения в ЦВТ двух различных смешиваемых жидкостей [5]. При этом для оценки потерь на начальном (входном) участке тракта для того же случая требуется дополнительный анализ.

Затруднения по оценке потерь на начальном участке вызваны следующим.

Известно [6], что потери на начальном участке характеризуются коэффициентом гидравлического сопротивления ξ_n , который определяется по эмпирической зависимости:

$$\xi_n = \frac{\psi \left(0,987 \text{Re}^{-0,14-0,041\psi} + 1,18 \right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \bar{B}^{0,29}} \times e^{(0,49\psi+0,83\varphi^2)} \quad (2)$$

где ψ – угол скрещивания каналов, рад;

Re – число Рейнольдса, определяемое по эквивалентному диаметру канала;

\bar{B} – безразмерный параметр асимметрии тракта, определяемый как отношение углов подъема винтовых линий каналов тракта $\frac{\beta_1}{\beta_2}$, при этом $\beta_2 \geq \beta_1$;

φ – параметр асимметрии тракта, определяемый как угол между осевым направлением тракта и биссектрисой угла скрещивания, рад.

На рис. 1 изображена развертка наиболее общего случая цилиндрического вихревого тракта, выполненная по среднему диаметру сопряжения корпуса и втулки.

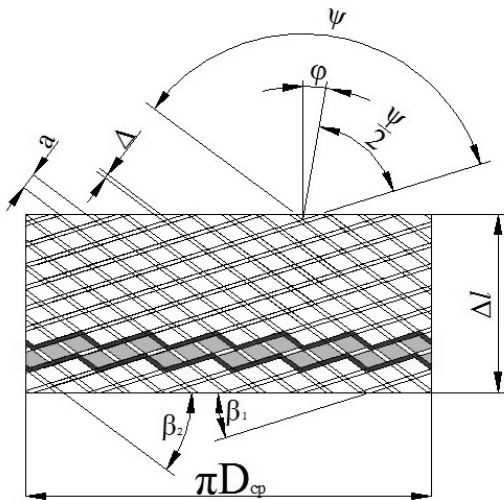


Рис. 1. Схема формирования проточной части ЦВТ

Как можно видеть, такие величины как φ , \bar{B} , ψ , входящие в выражение 2, определяются только геометрией проточной части тракта.

Определение же числа Рейнольдса при течении со смешением двух разнородных по своим реологическим свойствам жидкостей не может быть произведено как для случая течения однородной жидкости.

Таким образом, проблему исследований можно сформулировать как нахождение числа Рей-

нольдса течения со смешением в ЦВТ двух различных жидкостей в зависимости от условий входа жидкостей в смесительное устройство (давлений подачи p_{01}, p_{02}) и их массовых расходов (\dot{m}_1, \dot{m}_2).

2. Постановка задачи

Определение числа Рейнольдса в ЦВТ осуществляется как:

$$\text{Re} = \frac{Wd_3}{\nu} = \frac{\rho Wd_3}{\mu} \quad (3)$$

где d_3 – эквивалентный диаметр канала.

С другой стороны, число Рейнольдса в ЦВТ может быть определено через массовый расход как:

$$\text{Re} = \frac{4\dot{m}}{\pi \mu d_3 n_\Sigma}, \quad (4)$$

где n_Σ – суммарное число каналов корпуса и втулки.

В случае течения со смешением в ЦВТ двух различных жидкостей, массовый расход будет определяться суммой массовых расходов жидкостей, поступающих в тракт на входы каналов различных групп.

В качестве вязкости, так же должна быть использована некая осредненная величина («мнимая вязкость»), которая определяется реологическими свойствами смешиваемых жидкостей и их процентным соотношением в смеси, то есть соотношением массовых расходов.

Таким образом, задача исследований процессов течения со смешением двух различных жидкостей в ЦВТ сводится к экспериментальному определению зависимости их суммарного массового расхода в идее:

$$\dot{m}_\Sigma = f(p_{01}, p_{02}, \rho_1, \rho_2, \varphi, \psi, \bar{B}), \quad (5)$$

где p_{01}, p_{02} – давления подачи жидкостей;

ρ_1, ρ_2 – плотности жидкостей.

3. Экспериментальные исследования

Экспериментально установлено несовпадение осевой протяженности начального (входного) участка ЦВТ, с осевой протяженностью участка тракта, необходимой для завершения процесса смешения в полной мере [4].

Кроме того, также было установлено взаимное влияние расходов жидкостей поступающих в разные группы каналов в зависимости от условий входа (величин давлений подачи p_{01}, p_{02}) и их реологических свойств.

Это влияние заключается в том, что при варьировании величины массового расхода одной из жид-

костей за счет изменения давления подачи, происходит изменение массового расхода и второй жидкости тоже.

Другими словами при увеличении массового расхода жидкости поступающей в одну группу каналов, уменьшается массовый расход жидкости поступающей во вторую группу каналов и наоборот.

Объяснить это можно следующим образом.

Изменение массового расхода жидкости связано с изменением давления подачи.

Если записать уравнение Бернулли, применительно к каналам одной из групп (например первой), получим:

$$p_{01} = p_1 + \frac{\rho_1 W_1^2}{2}. \quad (6)$$

Давление p_1 , в выражении 6, применительно к ЦВТ, является давлением на входе в каналы первой группы.

Соответственно для каналов второй группы таковым будет являться давление p_2 .

Необходимым условием для одновременного поступления обеих жидкостей в тракт является равенство давлений на входе каналов обеих групп тракта – $p_1 = p_2$ (сечение 1-1, рис. 2).

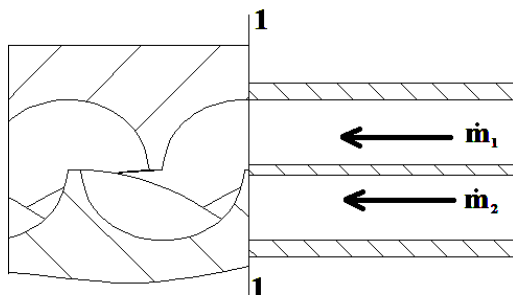


Рис. 2. Схема подачи смешиваемых компонентов на входы каналов разных групп

Очевидно, что в результате увеличения давления подачи одной из жидкостей, в конечном счете, поступление жидкости во вторую группу каналов прекратится полностью, а, следовательно, суммарный массовый расход будет равен массовому расходу первой жидкости. С другой стороны уменьшение давления приведет к тому, что в итоге суммарный массовый расход будет полностью определяться расходом второй жидкости.

Можно сделать вывод, что графическая интерпретация результатов экспериментальных исследований может быть представлена виде зависимости массовых расходов жидкостей отнесенных к суммарному массовому расходу от отношения их давлений подачи (рис. 3).

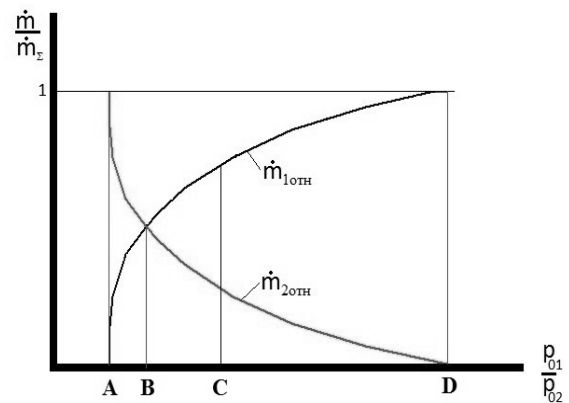


Рис. 3. Зависимость относительных массовых расходов от отношения давлений подачи

Каждый цилиндрический вихревой тракт будет обладать собственной подобной характеристикой, что позволит провести сравнительный анализ трактов с точки зрения минимизации энергетических затрат при получении смесей различной концентрации. Характерными точками на данной зависимости являются:

- точка А, характеризующая отношение давлений, при котором суммарный массовый расход полностью определяется расходом второй жидкости;
- точка В, характеризующая отношение давлений, при котором обеспечивается равенство массовых расходов жидкостей;
- точка С, характеризующая отношение давлений равное единице (равенство давлений подачи); в зависимости от геометрической структуры проточной части тракта, точка С может находиться левее либо правее точки В, а может совпадать с ней;
- точка D, характеризующая отношение давлений, при котором суммарный массовый расход полностью определяется расходом первой жидкости.

Заключение

Экспериментальные исследования являются наиболее результативным методом интегральной оценки процессов массопереноса в трактах с взаимно перекрещивающимися каналами.

Полученные в результате эксперимента характеристики трактов, соответствующие рис. 3, позволяют выработать рекомендации по наиболее рациональному выбору ЦВТ для получения смесей конкретных концентраций при минимальных энергозатратах.

Литература

1. Савостин А.Ф. Исследование характеристик пластинчатых поверхностей нагрева / А.Ф. Савостин,

А.М. Тихонов // Теплоэнергетика. – 1970. – № 9. – С. 75-78.

2. Говард (С.Р. Novard). Характеристики теплопередачи и гидравлического сопротивления теплообменных поверхностей со скошенными каналами и поверхностей из стеклокерамики/ Говард (С.Р. Novard) // Тр. америк. об-ва инженеров механиков: сер. Энергетические машины и установки. – 1965. – Т. 87; № 1. – С. 85-101.

3. Завистовский Д.И. Приведенный коэффициент расхода для несимметричных цилиндрических вихревых трактов (НЦВТ) / Д.И. Завистовский // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. / М-во образ. и науки Украины, Гос. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2000. – Вып. 19 – Тепловые двигатели и энергоустановки. – С. 133-135.

4. 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.

5. Кирьянчук А.Л. Анализ потерь в цилиндрических вихревых трактах при течении двух смешиваемых жидкостей/ А.Л. Кирьянчук // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. / М-во образ. и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2009. – Вып. 3 (59). – С. 85-88.

6. Грушенко А.М. Определение потерь в цилиндрических вихревых трактах / А.М. Грушенко // Проблемы машиностроения. – 1987. – Вып. 28. – С. 96-98.

Поступила в редакцию 26.04.2010

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ДО ПИТАННЯ ПРО МІНІМІЗАЦІЮ ЕНЕРГОВИТРАТ НА ПРОКАЧУВАННЯ ПРИ ПЛІНІ ІЗ ЗМІШАННЯМ ДВОХ РІЗНОРІДНИХ РІДИН В ПРОТОЧНИХ ТРАКТАХ З КАНАЛАМИ, ЩО ВЗАЄМНО ПЕРЕХРЕЩУЮТЬСЯ (ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИХРОВИХ ТРАКТАХ)

О.Л. Кир'янчук

Розглянуто задачу по оцінці втрат в циліндричних вихрових трактах (ЦВТ) при пліні зі змішанням двох різнорідних рідин. З використанням наявних експериментальних даних, визначений загальний вигляд залежності сумарної масової витрати рідин від гідродинамічних параметрів течії (тиску подачі), властивостей рідин, геометричних характеристик проточної частини тракту. Представлений вигляд графічної залежності відносних масових витрат рідин від відношення їх тиску подачі. Наведена залежність дозволить шляхом порівняльного аналізу здійснити найбільш раціональний вибір змішувача з точки зору мінімізації енергетичних витрат на прокачування при рішенні задачі по отриманню суміші двох рідин певної концентрації. Визначені цілі і завдання подальших експериментальних досліджень по змішанню двох рідин в проточних трактах з каналами, що взаємно перехрещуються.

Ключові слова: змішання, циліндричні вихрові тракти, канали, що взаємно перехрещуються, тиск подачі, масова витрата.

TO QUESTION ABOUT MINIMIZATION OF POWER EXPENSES ON SQUEEZE AT FLOW WITH MIXING OF TWO HETEROGENEOUS LIQUIDS FLOWING TRACTS WITH MUTUALLY CRISS-CROSS CHANNELS (CYLINDRICAL VERTICAL TRACTS)

A.L. Kiryanchuk

A task is considered as evaluated by losses in cylindrical vortical tracts (CVT) at a flow with mixing of two heterogeneous liquids. With the use of present experimental data, the general view of dependence of total mass expense of liquids is certain from hydrodynamic flow parameters (pressures of serve), properties of liquids, geometrical descriptions of setting of tract. The type of graphic dependence of relative mass charges of liquids from the relation of their pressures of serve is presented. This dependence will allow by a comparative analysis to carry out the most rational choice of mixer from the point of view of minimization of power expenses on squeeze at the decision of task on the receipt of mixture of two liquids of certain concentration. Aims and tasks of subsequent experimental researches are certain on mixing two liquids in flowing tracts with mutually criss-cross canals.

Key words: mixing, cylindrical vortical tracts, mutually criss-cross canals, pressure of serve, mass expense.

Кирьянчук Александр Леонидович – инженер кафедры ракетных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: kirya@ukr.net.