

Ю. М. Данилов, А. А. Курбангалеев

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ И НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЧАТОГО АППАРАТА НА ПАРАМЕТРЫ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ СМЕШЕНИИ КОМПОНЕНТОВ

Ключевые слова: гидродинамика, турбулентность, малогабаритные трубчатые смесители диффузор-конфузорного типа, удельная скорость диссипации кинетической энергии турбулентности и энергия турбулентных пульсаций, молекулярная вязкость и плотность потока жидких компонентов.

В статье рассматриваются трубчатые смесители цилиндрического и диффузор - конфузорного типа, в которых первый жидкий компонент поступает во входное отверстие слева, второй – через струйную форсунку, расположенную ортогонально к оси аппарата. Приводятся результаты исследования зависимости удельной скорости диссипации кинетической энергии турбулентности от различных факторов: геометрических размеров смесителя, плотности и молекулярной вязкости поступивших в аппарат компонентов. В работе поставлена и решена задача о влиянии масштаба на гидродинамические параметры, установлено что, для организации смешения компонентов применение малоразмерных аппаратов и их систем вместо трубчатых аппаратов больших размеров является более выгодным.

Key words: hydrodynamics, turbulence, small tubular mixers diffuser confused type, specific dissipation rate of turbulent kinetic energy and the energy of the turbulent fluctuations, the molecular viscosity and density of the flow of liquid components.

The article deals with the cylindrical tube mixers and the ones of a diffuser - confused type, in which the first liquid component flows into the inlet on the left, the second one- in the spray nozzle positioned orthogonally to the axis of the machine. The results of studies of the dependence of the specific rate of dissipation of turbulent kinetic energy on a variety of factors are given: the geometrical dimensions of the mixer, the density and molecular viscosity admitted to the unit components. The problem of the effect of scale on the hydrodynamic parameters is stated and successfully solved in the research. It has been established that, for the organization of the use of mixing of small-size units and their systems instead of large tubular apparatus is more profitable.

В статье рассматриваются трубчатые смесители цилиндрического и диффузор - конфузорного типа, некоторые результаты которых изложены в [1,2,3,4]. В смеситель поступают два жидких компонента: первый через входное отверстие слева, второй – через струйную форсунку, расположенную ортогонально к оси аппарата на расстоянии L_f от точки сопряжения малого цилиндра и диффузора. Диаметр форсунки $d_f = 2r_f$. Будем отмечать величины, относящиеся к входному сечению первого и второго компонентов индексами «1» и «2» соответственно.

Основной характеристикой турбулентности, используемой при проектировании таких аппаратов, является удельная скорость диссипации кинетической энергии турбулентности ε ($\text{м}^2/\text{с}^3$). Величина её определяется затратами энергии турбулентных пульсаций на осуществление смешения компонентов. Далее приводятся результаты исследования зависимости ε от различных наиболее существенных факторов.

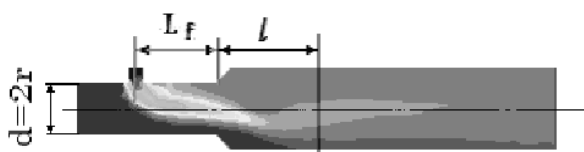


Рис. 1 - Схема трубчатого смесителя цилиндрического типа

При проектировании смесителя, как и аппаратов другого назначения, обычно задаётся соотношение расходов компонентов – массовое

(m_2/m_1) или объёмное (v_2/v_1). Поэтому при исследовании характеристик смешения разумно считать их постоянными. Тогда изменяемыми параметрами могут быть:

- геометрические размеры форсуночного устройства – относительный радиус или диаметр форсунки r_f/r , расположение по отношению к диффузору L_f , угол наклона оси форсунки к оси аппарата, длина подводящего патрубка форсунки;
- размер радиуса входного сечения для первого (основного) компонента;
- отношение плотностей тока $\overline{\rho u^2} = (\rho u)_2 / (\rho u)_1$;
- плотность компонентов;
- молекулярная вязкость компонентов (зависящая от их температуры).

Как видно, число воздействующих факторов велико. Поэтому надо выбрать лишь основные из них, которые могут наиболее существенно влиять на параметры турбулентности. Влияние L_f уже установлено в [1]. Ось форсунки, как правило, располагается под прямым углом к оси аппарата, что для смесителей наиболее эффективно. При заданном расходе плотность тока и радиус отверстия форсунки связаны между собой: $\rho u (r_f)^2 = \dot{m} / \pi$. Поэтому задание одной из них достаточно.

При постоянной площади поперечного сечения форсунки $A_2 = \text{const}$ увеличение скорости u_2 равносильно увеличению расхода через аппарат. Если относить ε к единице объёмного расхода $\dot{V}$ [$\text{м}^3/\text{с}$], а в качестве аргумента использовать относительную плотность потока $(\rho u)_2 / (\rho u)_1$, то

зависимость скорости диссипации энергии турбулентности в расчёте на расход смеси, равный одному кубическому метру в секунду, приобретает вид, показанный на рис.2.

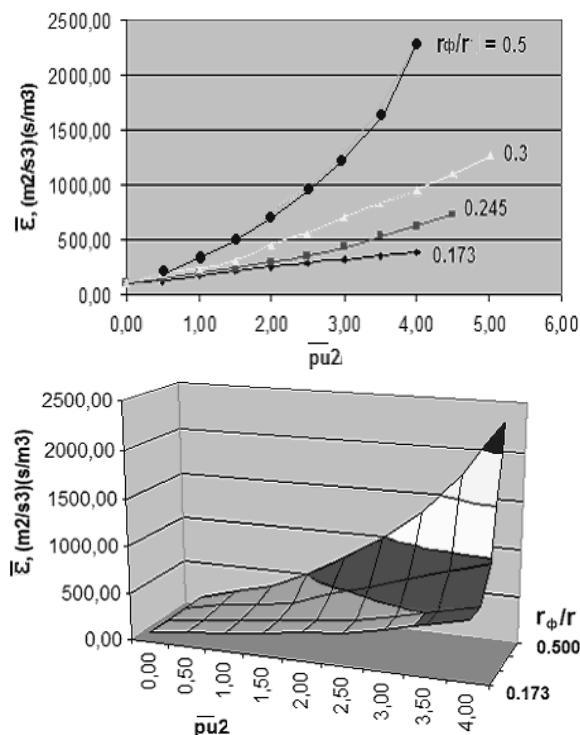


Рис. 2 - Зависимость удельной скорости диссипации, отнесённой к объёмному расходу смеси, от относительной плотности потока при изменении относительного радиуса отверстия форсунки

Если в качестве зависимой переменной использовать значение $\varepsilon/\bar{T}_\phi^2$, то все точки группируются около кривой, которая показана на рис.3. Ошибка в оценке ε по этому графику не превышает 15% и вполне допустима для использования в предварительном проектировании. Из рисунка видно, что наилучшим следует считать ввод второго компонента через форсунку большего диаметра, обеспечивая при этом наибольшее отношение $\bar{p}u^2$. Заметим, что все эксперименты проведены для единичной форсунки и канала с относительным радиусом $R/r=1.6$ и углом раскрытия диффузора 45° , которые по результатам исследования [2,3] являются оптимальными.

При отношении плотностей тока более четырёх, в ряде случаев, при вычислениях в рамках принятой модели турбулентности ((k – ε) – RNG модель) сходимости получить не удавалось. Это можно объяснить тем, что струя второго компонента достигает противоположной стенки канала. В условиях присоединения потока все ныне используемые модели турбулентности не работоспособны, что и отмечалось в статье Менстера [5].

Все изложенные выше результаты были получены для аппарата с радиусом входного сечения, равным $r=0.01$ м. Большую практическую значимость имеют результаты, которые относятся к

выбору размеров аппарата (масштаб). При заданном объёмном расходе компонентов смешение может быть реализовано в одном аппарате большого

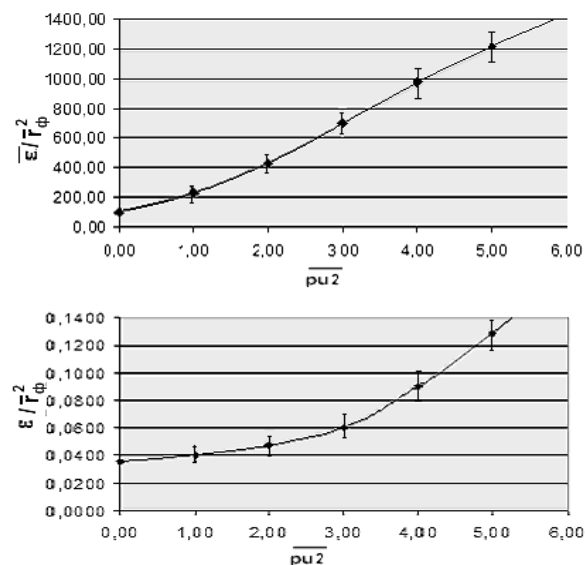


Рис. 3 - Зависимость удельной скорости диссипации от отношения плотностей тока компонентов ($\varepsilon = \varepsilon \cdot \dot{V}$)

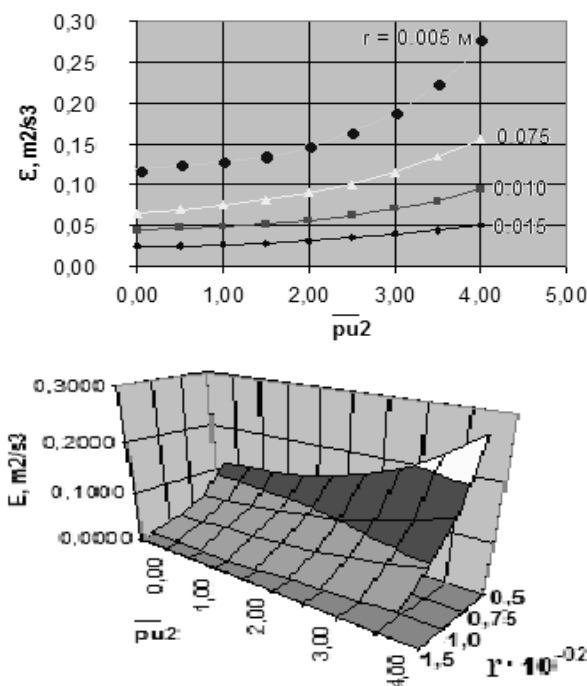


Рис. 4 - Изменение ε в зависимости от относительной плотности потока второго компонента и величины радиуса входного сечения для первого (основного) компонента

размера или же в нескольких аппаратах меньшего размера, работающих параллельно. Поэтому необходимо ставить задачу о влиянии размеров на гидродинамические параметры потока. В работах А. Г. Мухаметзяновой такого характера результаты приведены. Однако они получены: а) по результатам 2D моделирования, что вызывает очевидные вопросы; б) в качестве аргумента использована

абсолютная скорость первого компонента на входе в аппарат, что также вызывает ряд вопросов, например, о влиянии отношения скоростей компонентов, о способе организации подвода второго компонента и т. п. В связи с этим, в данной работе была поставлена и решена задача о влиянии масштаба на гидродинамические параметры. Некоторые результаты, показывающие влияние масштаба аппарата на удельную скорость диссипации ε , приведены на рис.4. Полученные результаты хорошо согласуются с данными упомянутых работ А. Г. Мухаметзяновой.

На основании результатов, показанных на рисунке, можно сделать вывод о том, что для организации смешения компонентов применение малоразмерных аппаратов и их систем вместо трубчатых аппаратов больших размеров является более выгодным.

Литература

1. Данилов Ю.М., Мухаметзянова А.Г., Алексеев К.А. Курбангалеев А.А. Численное 3D моделирование

смешения компонентов в малогабаритных трубчатых аппаратах. //Вестник Казанского технологического университета – 2012.- №5.- с 167-69.

2. Тахавутдинов Р.Г., Мухаметзянова А.Г., Дьяконов Г.С., Минскер К.С., Берлин А.А. Трубчатые турбулентные предреакторы для проведения процессов инициирования при каталитическом синтезе полимеров // Высокомолекулярные соединения. 2002. Т.44. №7. С. 1094 – 1100.
3. Данилов Ю.М., Мухаметзянова А.Г., Дьяконов Г.С. Интенсификация процесса перемешивания в малогабаритных трубчатых турбулентных аппаратах. //Ж. Химическая промышленность сегодня. 2010, №9, с.50-55.
4. Тахавутдинов Р.Г., Мухаметзянова А.Г., Дьяконов Г.С., Захаров В.П., Бергман А.Н. Влияние геометрии и способа ввода реагентов на гидродинамическую структуру потока в трубчатых турбулентных аппаратах // Вестник КГТУ, 2002. №1-2.-С.267-272.
5. Menter F.R. Сравнение некоторых современных моделей турбулентной вихревой вязкости. (A Comparison of Some Recent Eddy – Viscosity Turbulence Models) // Trans. ASME. J. Fluids Eng. - 1996.- 118, №3. – с. 514-519.

© Ю. М. Данилов - д-р техн. наук, проф. каф. высшей математики КНИТУ; А. А. Курбангалеев – ст. препод. каф. теоретической механики и сопротивления материалов КНИТУ, romanova_rg@mail.ru.