

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТАТИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Ю. С. БИКМАЕВА¹, В. Р. МУРТАЗИН², Р. Р. КАЛИМУЛЛИН³

¹ bikmaewa.iu@yandex.ru, ² rainbowvipers@yandex.ru, ³ radik_kalimullin@bk.ru

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

Аннотация. Посвящена обзору существующих конструкций статических смесителей. Описывается область применения данных устройств и определение термина перемешивания. Приводится классификация статических и динамических смесителей, а также методы, используемые для процесса перемешивания в каждом устройстве. Рассматриваются наиболее применяемые статические смесители и анализируются конструктивные особенности. В результате анализа конструкций и процессов, происходящих в устройствах перемешивания, выявлен ряд недостатков, присущий данным установкам.

Ключевые слова: статический смеситель; эффективность процесса перемешивания; однородная смесь; конструкции смесителей; поверхностное натяжение.

ВВЕДЕНИЕ

Перемешивание является одним из наиболее сложных и распространенных процессов в химической технологии. Помимо процессов получения гомогенной смеси, его применяют для проведения весьма разнородных технологических процессов, таких как диспергирование, эмульгирование, кристаллизация, абсорбция, экстрагирование и т.п. Оно может осуществляться в трубопроводе, через который протекает жидкость, в перекачивающем насосе, на тарелке ректификационной колонны и т.д. [1]. Термин «перемешивание» означает соединение объемов различных веществ с целью получения однородной смеси (например, растворов, эмульсий, суспензий и т.п.) [2].

Процессы перемешивания одно- и многофазных сред широко применяются в химической, нефтехимической и смежных с ними областях промышленности. В ряде случаев эффективное перемешивание является одной из важнейших стадий производства и определяет успех технологического процесса в целом. Способы перемешивания и конструкции аппаратов зависят от агрегатного состояния, физических свойств ис-

ходных материалов, а также требований, предъявляемых к получаемой смеси [1].

Статические смесители используются как для простого перемешивания, так и в процессах с тепло- и массообменом, а также в качестве химических реакторов. Они обеспечивают высокую интенсивность процессов тепло- и массообмена, а также «узкое» распределение времени пребывания элементов потока в аппарате. Такие устройства могут быть применены и в гетерогенных системах (например, несмешивающиеся жидкости) для их диспергирования и создания контролируемой межфазной поверхности с однородными (и управляемыми) размерами частиц дисперсной фазы.

Различные конструкции статических смесителей позволяют удовлетворять требованиям разнообразных технологических процессов.

Классификация статических и динамических смесителей представлена на рис. 1.

В динамических смесителях перемешивание обеспечивается с помощью механических вращающихся устройств.

Динамические смесители подразделяются на роторно-пульсационные и роторно-дисковые.

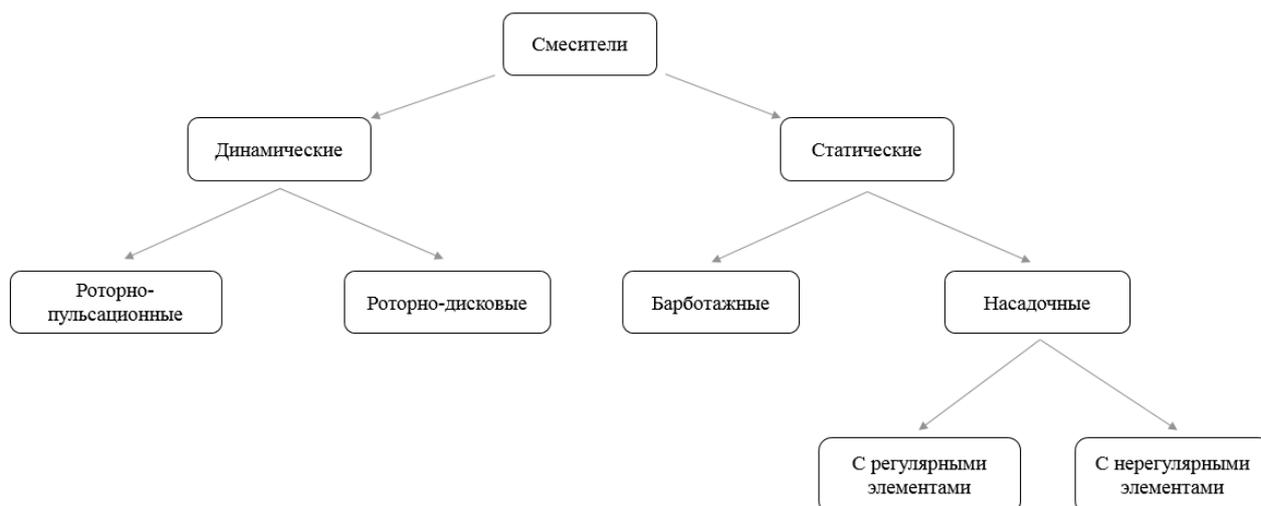


Рис. 1. Классификация смесителей

В роторно-пульсационных смесителях ударное, гидродинамическое, кавитационное и ультразвуковое воздействие на смешиваемые среды, достигается не только перемешивание и измельчение, вплоть до молекулярного уровня, но и изменение конечных физико-механических свойств производимых продуктов.

В роторно-дисковых при прохождении обрабатываемой среды через статоры и роторы возникают следующие гидродинамические явления: турбулентные пульсации, срезающие усилия и т.д. Для усиления или уменьшения воздействия какого-либо гидродинамического явления, например, изменения амплитуды пульсаций скорости потока обрабатываемой смеси, можно изменять размеры, расположение и геометрическую форму перфораций на дисках ротора и статора.

Статические смесители подразделяются на:

1) барботажные (пневматические) – перемешивание в которых осуществляется за счет пропуска газа через слой жидкости. В промышленности подобные аппараты применяют крайне редко, так как расход энергии на перемешивание сжатым инертным газом или воздухом больше чем при механическом перемешивании [1];

2) насадочные – перемешивание в которых осуществляется за счет энергии потока при совместном движении смешиваемых компонентов в насадочном слое, который

может состоять из регулярных и нерегулярных элементов [1].

СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ СТАТИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЕЙ

Многие компании занимаются разработкой статических смесителей для различных отраслей.

Проектирование смесителей сопровождается внедрением современных технологических и конструктивных решений.

Конструкция смесителя фирмы *Kenics* состоит из серии винтообразных смесительных элементов (рис. 2), помещенных внутрь круглой трубы. Чередующиеся участки винта имеют противоположное направление нарезки. Они сварены таким образом, что край одного элемента перпендикулярен ближайшему краю соседнего элемента, поэтому жидкость каждый раз расслаивается при переходе от одного элемента к другому. В пределах одного элемента жидкость течет по двум полукруглым винтовым каналам [3].



Рис. 2. Статический миксер *Kenics* (винтовой) [4]

Статические смесители *LPD* (*low pressure drop*) (рис. 3) и *ISG* (*interfacial surface generator*) (рис. 4), являющиеся разработкой компании *Charles Ross & Son*, напоминают винтовой смеситель, но имеют более упрощенный вид.



Рис. 3. Смеситель типа *LPD* (лопастной) [5]

Смеситель типа *LPD* состоит из серии полуэллиптических пластин, расположенных по отдельности. Две пластины, перпендикулярные друг другу, составляют один элемент. Процесс смешивания в этом типе статического смесителя основан на разделении и отклонении входного потока.

При прохождении продукта через каждый элемент поток непрерывно разделяется на слои и поворачивается на 90 градусов поочередно по часовой стрелке и против часовой стрелки. Обычно используется для смешения сред с высокой скоростью потока и средней вязкостью.

Смеситель типа *ISG* (*interfacial surface generator*) (рис. 4) состоит из отдельных перемешивающих элементов, которые расположены в трубчатом корпусе. Наконечники элементов выполнены так, что они образуют тетраэдрическую камеру. Четыре отверстия, просверленные через каждый элемент, обеспечивают прохождение потока.

Перемешивание осуществляется за счет резкого расширения и сужения пространства внутри смесителя, что вызывает резкое изменение скорости потока и возникновение усиленного вихреобразования. Радиальное перемешивание устраняет эффект межфазного поверхностного натяжения, который встречается при смешивании вязких материалов.

Статический смеситель типа *СМС-1* (рис. 5) производит компания «Инжехим».

Поток, поступающий на вход смесителя, неоднократно рассекается неупорядоченными насадочными элементами, далее происходит интенсивное перемешивание дисперсной фазы и превращение ее в сплошную или смешение одной жидкости с другой.



Рис. 4. Смеситель типа *ISG* (Конструкция с каналами и отверстиями) [6]

Данный смеситель рассматривается в источниках для определения эффективности смешения при турбулентном переносе импульса и массы частиц в канале с хаотичной насадкой [7, 8].

На входе в смеситель поток содержит дисперсную фазу в виде мелких твердых частиц или капель другой жидкости, которая практически взаимно нерастворима со сплошной жидкой фазой. Целью смешения таких сред является получение однородных композиций на выходе из устройства – суспензий или эмульсий.

Конструкция смесителя *SMX* фирмы *Sulzer Chemtech* обеспечивает перемешивание и диспергирование даже при значительно различающихся вязкостях жидкости. Конструкция представляет собой совокупность решеток из пересекающихся полос (рис. 6) [10].

Смеситель обеспечивает разделение жидкостей на отдельные потоки. Эти потоки движутся по сложным каналам, где многократно воссоединяются и вновь дробятся.

Представленные конструкции статических смесителей объединяет ряд недостатков, связанных с повышенными гидравлическими потерями, сложностью монтажа смесительных элементов в корпусе смесителя, расслоением потока из-за разности плотности сред и большими габаритными размерами, и массой.

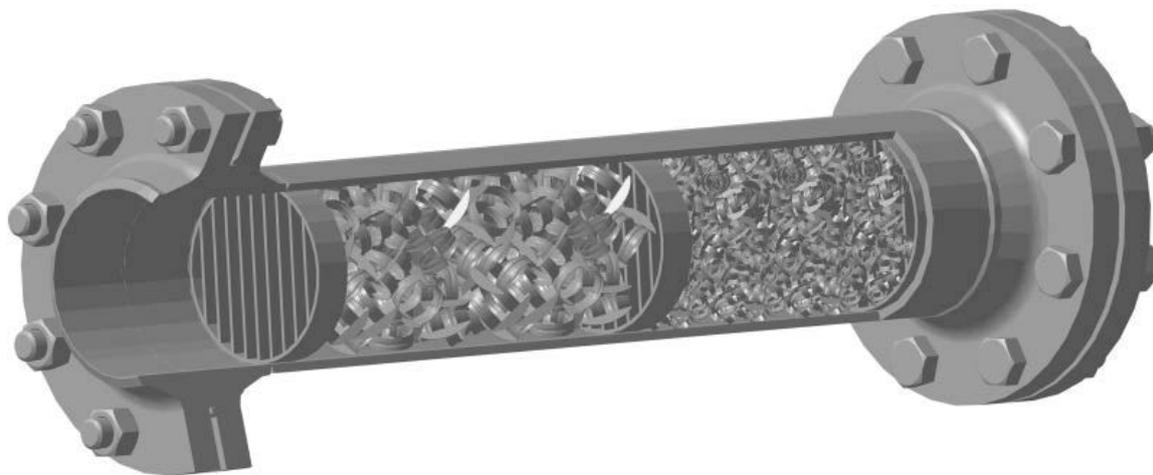


Рис. 5. Смеситель типа СМС-1 (Комбинация решеток и насадок) [9]



Рис. 6. Насадочный статический смеситель SMX [10]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обзора была представлена классификация и различные конструкции статических смесителей. Данные устройства обеспечивают высокую эффективность перемешивания, что позволяет снизить потребление дозированных химических веществ и получить перемешивание с низким потреблением энергии. Конструкция смесительного устройства напрямую зависит от материалов, скорости смешивания, а также от веществ, проходящих через смеситель. Статические смесители имеют недостатки, связанные с эффективностью процесса перемешивания, с гидравлическими потерями и с массогабаритными характеристиками. Для устранения недостатков необходимы исследования, включающие в себя: математическое моделирование, с использованием современных пакетов прикладных программ и оптимизацию конструкции статических смесителей с использованием перспективных конструктивных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев К.А.** Гидродинамика потока в статических смесителях насадочного типа. Казань: КНИТУ, 2016. – 167 с. [K. A. Alekseev, Fluid hydrodynamics in static nozzle mixers. Kazan.: KNRTU, 2016 pp. 167]
2. **Стренк Ф.** Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк. – пер. с польск. под ред. И. А. Щупляка. – Л.: «Химия», 1975. – 384 с. [F. Strenk, Stirring and agitating machines, (translated by F. Strenk). L.: Chemistry, 1975 pp. 384]
3. **Тадмор З.** Теоретические основы переработки полимеров / З. Тадмор, К. Гогос. – пер. с англ. под ред. Р. В. Торнера – М.: Химия, 1984. – 632 с. [Z. Tadmor, Theoretical Basics of Polymer Processing, (translated by Z. Tadmor, K. Gogos). M.: Chemistry, 1984 pp. 632]
4. **KM Mixers** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chemineer.com/products/kenics/km-mixers> (дата обращения: 21.11.2018). [KM mixers. (2018, Nov. 21). [Online] Available: <https://www.chemineer.com/products/kenics/km-mixers>
5. **LPD & LLPD Motionless Mixers** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mixers.com/products/lpd-llpd-motionless-mixer/#laboratory-tab> (дата обращения: 22.11.2018). [LPD & LLPD Motionless Mixers. (2018, Nov. 22). [Online] Available: <https://www.mixers.com/products/lpd-llpd-motionless-mixer/#laboratory-tab>
6. **Ross launches ISG Static Mixers** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.newhope.com/new-products/ross-launches-isg-static-mixers> (дата обращения: 23.11.2018). [Ross launches ISG Static Mixers. (2018, Nov. 23). [Online] Available: <https://www.newhope.com/new-products/ross-launches-isg-static-mixers>
7. **Лаптев А.Г., Фарахов Т.М., Дударовская О.Г.** Эффективность турбулентного смешения сред в насадочных проточных смесителях // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. №4. С. 387–408. [A. G. Laptev, T. M. Farrahov, O. G. Dudarovskaya, Efficiency of turbulent mixing of media in nozzle flow mixers // Electronic scientific journal "Oil and Gas Business", 2012. No. 4. p. 387-408]
8. **Лаптев А.Г., Фарахов Т.М.** Модель массоотдачи в зернистых и насадочных слоях // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2013. Т.56. №6. С. 92–96. [A. G. Laptev, T. M. Farrahov, Mass transfer model in granular and packed layers // News of universities. Chemistry and chemical technology., 2013. T. 56. No. 6. p. 92-96]

9. **Смесители статические** [Электронный ресурс]. URL: <http://ingehim.ru/product/oborudovanie/staticheskie-smesiteli> (дата обращения: 23.11.2018). [Static mixers. (2018, Nov. 23). [Online] Available: <http://ingehim.ru/product/oborudovanie/staticheskie-smesiteli>

10. **Компания Sulzer Chemtech**. Статический смеситель *SMX* [Электронный ресурс]. – URL: https://sulzer.com/-/media/files/products/static-mixers/flyer_smx_plus_d.ashx (дата обращения: 22.11.2018). [Company Sulzer Chemtech SMX static mixer. (2018, Nov. 22). [Online] Available: https://sulzer.com/-/media/files/products/static-mixers/flyer_smx_plus_d.ashx

ОБ АВТОРАХ

БИКМАЕВА Юлия Салаватовна, магистрант кафедры ПГМ. Дип. бакалавр (УГАТУ, 2018). Готовит дис. по исследованию процессов перемешивания многокомпонентной жидкости при течении в нефтепроводе.

МУРТАЗИН Вадим Радикович, магистрант кафедры ПГМ. Дип. бакалавр (УГАТУ, 2018). Принимает участие в исследовании процессов перемешивания многокомпонентной жидкости при течении в нефтепроводе.

КАЛИМУЛЛИН Радик Рифкатович, доц. каф. ПГМ УГАТУ, к-т техн. наук. Научный руководитель дис. по исследованию процессов перемешивания многокомпонентной жидкости при течении в нефтепроводе.

METADATA

Title: Review of existing static mixers for multicomponent liquids

Authors: J. S. Bikmaeva¹, V. R. Murtazin², R. R. Kalimullin³

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ bikmaewa.iu@yandex.ru, ² rainbowvipers@yandex.ru, ³ radik_kalimullin@bk.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (20), pp. 14-18, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article is devoted to the review of existing structures of static mixers. Describes the scope of these devices and the definition of the term mixing. A classification of static and dynamic mixers is given, as well as the methods used for the mixing process in each device. The most used static mixers are considered and design features are analyzed. As a result of the analysis of the structures and processes occurring in the mixing devices, a number of shortcomings inherent in these installations were revealed.

Key words: static mixer; the effectiveness of the mixing process; homogeneous mixture; mixers; surface tension.

About authors:

BIKMAEVA, Julia Salavatovna, grad. Student Dep. of Applied Hydromechanics, diss. on the study of the processes of mixing a multicomponent fluid during flow in the pipeline.

MURTAZIN, Vadim Radikovich, grad. Student Dep. of Applied Hydromechanics, takes part on the study of the processes of mixing a multicomponent fluid during flow in the pipeline.

KALIMULLIN, Radik Rifkatovich, docent Dep. of Applied Hydromechanics, scientific director of dic. on the study of the processes of mixing a multicomponent fluid during flow in the pipeline.