

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

Опимах Е. В., Левданский А. Э.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск, Беларусь

Перемешивание является одним из широко распространенных процессов в пищевых и химических технологиях, при производстве строительных материалов и многих других производствах. Во многих случаях перемешивание осуществляется с целью интенсификации химических превращений, процессов тепло- и массообмена. Создание новых конструкций или оптимизация существующих смесителей играет важную роль в процессе совершенствования различных технологий.

Агрегаты для перемешивания должны обеспечивать получение однородной смеси при высокой производительности и низком энергопотреблении. Наиболее распространенные в настоящее время способы смешивания жидкостей – емкости с мешалкой. Однако достичь в них равномерного распределения компонентов достаточно сложно и, кроме того, затрачиваются значительные энергоресурсы на привод мешалки. Смешивание двух и более жидкостей можно осуществить в смесителе небольшого размера путем послойного наложения друг на друга турбулизованных пленок. В таких пленках жидкости очень быстро проникают друг в друга, образовывается однородная смесь. Пленочный аппарат можно использовать не только для смешивания, но и в других процессах, например, массообменных между жидкостью и газом.

Перспективными конструкциями пленочных смесителей являются [1, 2]. В качестве прототипа, оптимизируемого в работе, выбран вихревой пленочный смеситель [2].

Цель работы – оптимизация процесса смешивания жидкостей в новой конструкции смесителя. Задачи: определить оптимальное количество закручивающих лопастей с точки зрения качества получаемой смеси (однородности) и гидравлического сопротивления смесителя; для полученной оптимальной конструкции смесителя, получить зависимость гидравлического сопротивления аппарата от расхода жидкостей. Для решения поставленных задач выполнялось моделирование на примере смешивания этанола и воды с начальной температурой 10°C.

Моделирование позволяет кардинально сократить время, затрачиваемое на поиск рациональных конструктивных решений, избежать ошибок на этапе проектирования, свести до минимума количество натурных испытаний, экономить огромные средства, предсказывать параметры различных процессов и в кратчайшие сроки получить оптимальный результат. Моделирование осуществлялось в рамках вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics) которая сегодня становится одной из составляющих процесса проектирования во множестве компаний, которые разрабатывают современное высокотехнологичное оборудование [3].

Была построена трехмерная модель смесителя, основные геометрические параметры которой соответствовали прототипу. Трехмерная модель была импортирована в прикладной программный пакет инженерных расчётов ANSYS, где для описания течения жидкостей была использована система квазигидродинамических (КГД) уравнений, дополненная граничными условиями и уравнениями. КГД уравнения обобщают хорошо известную систему уравнений Навье-Стокса и отличаются от нее дополнительными диссипативными слагаемыми, с малым параметром. КГД уравнения связывают между собой гидродинамические величины плотности, скорости и энергии.

Дополнительные величины температуры и давления вычислялись в соответствии с уравнениями состояния смеси [4]. На двух границах расчетной области задавались условия втекающих потоков, расход которых изменялся от опыта к опыту. На одной части границы задавались «мягкие» условия, позволяющие потоку смеси свободно вытекать из расчетной области. Граничные условия, заданные на остальных поверхностях объекта, не позволяют потоку жидкостей проникать сквозь них. Течение рассматривалось как квазистационарное.

Оценку качества смеси принято проводить по «коэффициенту неоднородности», или «коэффициенту вариации»  $V_c$ , который определяется по формуле (стандартного отклонения по выборке):

$$V_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}},$$

где  $x_i$  – текущее значение наблюдаемой величины,  $x_{cp}$  – среднеарифметическое значение этой величины,  $n$  – число проб. Значения  $x_i$  определяли в тридцати точках, взятых на плоскости вблизи выхода из аппарата. По полученным значениям рассчитывали  $x_{cp}$ . Из приведенной формулы следует: чем лучше распределение показателя в смеси, тем ниже коэффициент вариации (в идеале коэффициент вариации стремится к нулю  $V_c \rightarrow 0$ ).

В результате численного моделирования были проанализированы профили распределения скоростей жидкостей и поле давления по объему смесителя при различных конструктивных и технологических параметрах аппарата. Получены результаты моделирования, позволяющие определить оптимальное количество закручивающих лопастей с точки зрения качества получаемой смеси и гидравлического сопротивления смесителя. Показаны зависимости коэффициента неоднородности от расхода, для наиболее оптимальных конструкций смесителя (с шестью и восьмью смесительными лопастями). Для этих же конструкций построены зависимости гидравлического сопротивления аппарата от расхода жидкостей. Построенные зависимости могут быть использованы для оценки характера гидравлического сопротивления смесителя, а также для подбора вспомогательного оборудования (насосы, дозаторы и т. п.).

Высокая эффективность пленочного способа смешения компонентов подтверждена испытаниями смесителя в составе установки оксимирования циклогексанона в производстве капролактама на ОАО «Гродно Азот», что позволило свести практически к нулю содержание аннона в реакционной смеси после реактора.

### Литература

1. Устройство для смешения жидкостей: а. с. 634770, МКИ5 В 01 F 5/06 / Э. И. Левланский, В. А. Иванов, Н. Н. Жук; заявл. 30.12.75; опубл. 30.11.78 // Открытия. Изобрет. – 1978. №44. С. 28.
2. Заявка №а20110198 от 17.02.2011 г. Смеситель жидкостей / Левданский Э. И., Левданский А. Э., Чиркун Д. И., Опимах Е. В.
3. Опимах, Е. В. Использование CFD-технологий для создания нового оборудования / Е. В. Опимах // Материалы V Международного студенческого форума «Образование, наука, производство» / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – 2011 г. – С. 178–182.
4. Гобыш, А. В. Моделирование внутренних течений вязкой несжимаемой жидкости методом конечных элементов с использованием противопотоковых схем : автореф. канд. техн. наук : 05.13.18 / А. В. Гобыш ; Новосиб. гос. технич. ун-т. – Новосибирск, 2007. – 16 с.