

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТРУБЧАТЫХ РЕАКТОРОВ ДИАЗОТИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ¹

Среди приоритетных направлений развития современной химической технологии важная роль принадлежит интенсификации протекания химических процессов, снижению металлоемкости оборудования, энерго- и ресурсосбережению.

Одним из путей решения этой задачи является создание экономичных, компактных реакторных установок. Значительные сложности при проектировании реакторных установок возникают при осуществлении быстрых жидкофазных химических реакций с выделением большого количества теплоты. К таким реакциям относится реакция диазотирования. Химический процесс заключается в обработке амина, частично растворенного в водном растворе соляной кислоты, нитритом натрия. Механизм процесса диазотирования включает растворение твердой фазы амина и совокупность химических реакций получения целевого продукта – диазосоединения и образования побочных продуктов – нитрозных газов, диазосмол и др. Необходимо отметить, что время процесса растворения является лимитирующим.

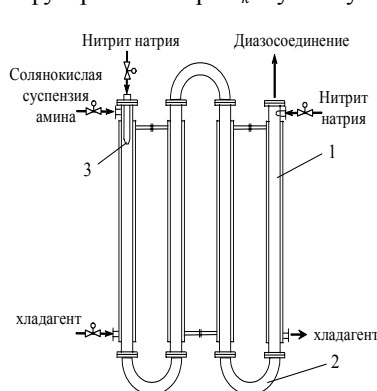
Солянокислая суспензия амина подается в реактор в виде суспензии, твердая фаза амина представляет собой полидисперсную фракцию частиц, которая описывается плотностью распределения числа частиц по их размерам в соответствии с логарифмическим нормальным законом распределения.

Принципиально новым решением в области аппаратного оформления быстрых химических реакций явилась разработка трубчатых турбулентных реакторов различных модификаций (трубчатой, комбинированной).

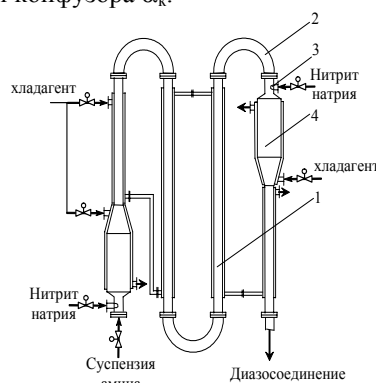
Целью данного исследования является сравнительный анализ функционирования турбулентного трубчатого реактора и реактора комбинированного типа при осуществлении непрерывного процесса диазотирования производительностью 1000 т/год.

Основными элементами турбулентного трубчатого реактора (рис. 1) являются вертикально расположенные трубчатые модули 1, соединительные колена 2, форсунки для распыления нитрита натрия 3. Раствор нитрита натрия на входе в реактор подается коаксиально. Конструктивными параметрами реактора являются длина реактора, состоящего из четырехметровых модулей и внутренний диаметр трубы модуля.

Комбинированный реактор (рис. 2) состоит из вертикально расположенных трубчатых модулей 1, соединительных колен 2, форсунок для распыления нитрита натрия 3 и диффузор-конфузорных устройств турбулизации потока 4. Подача раствора нитрита натрия в реактор осуществляется через форсунки непосредственно перед диффузор-конфузорными устройствами турбулизации потока. Конструктивными параметрами реактора являются длина реактора, состоящего из четырехметровых модулей, внутренний диаметр трубы модуля, диаметр диффузор-конфузорных камер смешения D , угол расширения диффузора α_d , длина диффузор-конфузорной камеры l_k и угол сужения конфузора α_k .



**Рис. 1. Малогабаритный
турбулентный трубчатый
реактор**



**Рис. 2. Малогабаритный
турбулентный трубчатый реактор
с камерами смешения
диффузор-конфузорного типа
(комбинированный реактор)**

Технологическими (управляющими) переменными являются температура в реакторе и распределение подачи нитрита натрия по длине реактора.

Диаметр трубы реактора выбирается из условия неосаждения твердой фазы амина и принимается равным 0,04 м для обоих видов реакторов [1].

¹ Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. Д.С. Дворецкого.

Степень расширения диффузора камеры смешения $n = F_{\text{тр}}/F_{\text{кам}}$, где $F_{\text{тр}}$ – площадь сечения трубы реактора, $F_{\text{кам}}$ – площадь сечения камеры смешения, целесообразно принять равной 4 – 6 из конструктивных соображений.

В диффузор-конфузорных устройствах турбулизации потока (рис. 3) диффузор 1 служит для организации интенсивной циркуляции потока реакционной среды. Для этого хорошо подходят диффузоры с углом расширения $\alpha > 40^\circ$, в которых происходит полный отрыв потока от стенок диффузора с образованием интенсивных обратных токов и завихрений. Отрыв потока, начинающийся в диффузорах с большими углами расширения, распространяется дальше на участок постоянного сечения за диффузором, поэтому, чтобы сгладить турбулизацию потока реакционной среды за диффузором, необходимо наличие участка цилиндрической формы 2. На этом участке полное выравнивание потока по сечению достигается на расстоянии $l_k = (8...10)D$, где D – диаметр выходного сечения диффузора. Конфузор 3 служит для окончательного выравнивания потока при переходе из камеры смешения в трубчатую часть реактора. Для выравнивания профиля скорости потока целесообразно применять угол сужения конфузора α_k равным $30 - 40^\circ$ [2].

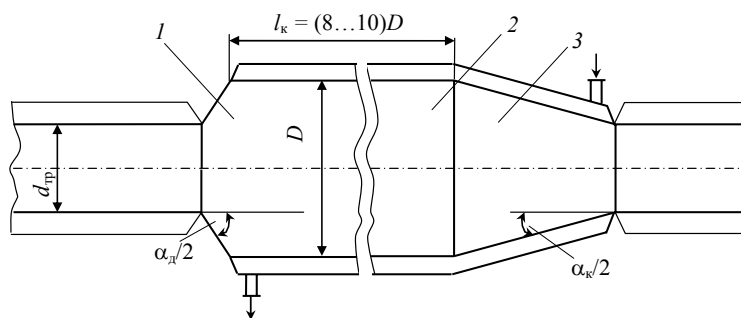


Рис. 3. Диффузор-конфузорное устройство турбулизации потока:
 $d_{\text{тр}}$ – диаметр трубчатой части реактора; D – диаметр камеры смешения;
 L – длина камеры смешения; α_d – угол расширения диффузора;
 α_k – угол сужения конфузора

Из вышесказанного следует, что для более интенсивного протекания реакции диазотирования в конструкции турбулентного трубчатого реактора, в точках ввода нитрита натрия, можно применять камеры смешения с размерами: диаметр камеры смешения $D = 0,08$ м и длина камеры $l_k = 0,8...1,0$ м, угол расширения диффузора $\alpha_d = 40...180^\circ$ и сужения конфузора $\alpha_k = 30^\circ$.

Для проведения сравнительного анализа функционирования малогабаритных турбулентных реакторов была решена задача оптимизации по критерию приведенных затрат.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

1. Результаты расчета трубчатого и комбинированного реакторов

| Параметры | Трубчатый реактор | Комбинированный реактор |
|---|-------------------|-------------------------|
| Стоимость изготовления реактора и строительного-монтажных работ, у.е. | 7588,6 | 4329,6 |
| Затраты на сырье и материалы, у.е./т | 1985,0 | 1985,0 |
| Затраты на энергоносители, у.е./т | 105,3 | 80,2 |
| Приведенные затраты, у.е./т | 2091,3 | 2060,0 |
| Длина реактора, м | 168,7 | 85 |
| Гидравлическое сопротивление реактора, м | 9,23 | 4,69 |
| Число камер смешения | – | 3 |
| Число соединительных колен реактора | 41 | 20 |
| Температура в реакторе, К | 300,5 | 304 |
| Распределение подачи нитрита натрия, % | 39 43 18 | 90 7 3 |
| Выход диазосоединения, % | 98,9 | 99,2 |
| Проскок амина, % | 0,15 | 0,094 |
| Количество диазосмол, % | 0,9 | 0,68 |
| Количество нитрозных газов, % | 2,6 | 4,99 |

| | | |
|---------------------|------|------|
| Время пребывания, с | 2063 | 1195 |
|---------------------|------|------|

Анализ данных табл. 1 показывает, что энергозатраты на осуществление непрерывного процесса диазотирования в комбинированном реакторе на 25,1 у.е./т ниже, чем в трубчатом реакторе. Кроме того, длина комбинированного реактора почти в 2 раза меньше, чем трубчатого реактора. При этом капитальные затраты снижаются на 3259 у.е., а приведенные – на 31,3 у.е./т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворецкий, Д.С. Методы и алгоритмы интегрированного проектирования гибких химических процессов, аппаратов и систем управления многоассортиментных химических производств : дис. ... канд. техн. наук / Д.С. Дворецкий. – Тамбов, 2001. – 212 с.
2. Идельчик, И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов. (Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов) / И.Е. Идельчик. – М. : Машиностроение, 1983. – 351 с.

Кафедра «Технологическое оборудование и пищевые технологии»