

А. С. Конаков, А. А. Назаров, С. И. Поникаров

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И НАГРЕВА РЕАКЦИОННОЙ СМЕСИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ ВАКУУМНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ

Ключевые слова: моделирование, вакуумное дегидрирование, изопрен, бутадиен, стирол.

Проведено моделирование гидродинамических и тепловых процессов при вакуумном дегидрировании бутана. Получена закономерность оптимального режима нагрева нагревательной и реакционной камер.

Keywords: modeling, vacuumdehydrogenation, isoprene, butadiene, styrene.

Modeling of hydrodynamic and thermal processes at vacuum dehydrogenation of butane is carried out. Regularity of an optimum mode of heating of heating and reactionary cameras is received.

В экспериментальной установке вакуумного дегидрирования, применяемого для получения изопрена, бутадиена, стирола [1-3] и др. нагрев греющей и реакционной камер осуществляется с помощью никель-хромовой проволоки, толщиной 1,5 мм, спирально обмотанной вокруг нагревательной трубы, защищенной от прямого контакта с металлом керамическими бусами. Важную роль играет характер гидродинамических и тепловых процессов, находящихся внутри газов.

В настоящей работе проведено моделирование гидродинамики и нагрева реакционной смеси в установке вакуумного дегидрирования бутана с использованием программного компонента AnsysCFX. Для моделирования гидродинамики использовалась модель турбулентности k-epsilon(standart), описываемая следующими уравнениями:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \varepsilon u_j) =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] +$$

$$+ C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (P_k + C_{3\varepsilon} P_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

$$P_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$P_k = \mu_t S^2$$

$$S \equiv \sqrt{2 S_i S_j}$$

$$P_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_j}$$

Для модели k-epsilon(standart) рекомендуемое значение  $Pr_t$  для газов составляет 0,85. Коэффициент теплового расширения  $\beta$  определяется как:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$$

Константы модели:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44; \quad C_{2\varepsilon} = 1.92; \quad C_{3\varepsilon} = -0.33;$$

$$C_\mu = 0.09; \quad \sigma_k = 1.0; \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Расчетная область разбивается на сетку в пре-процессоре Ansys с максимальным линейным размером ячейки не более 5 мм.

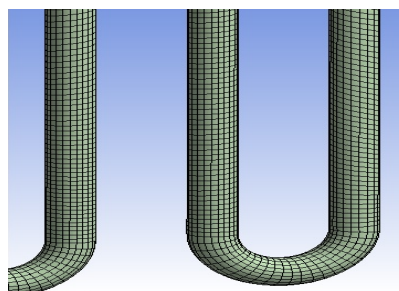


Рис. 1 - Часть сетки расчетной области

Граничные условия задавались следующие:

1. На вход подается 100% бутан с массовым расходом 0.0002804 кг/с. В расчетной области газ принимается идеальным. Данный расход определяется необходимостью нахождения реакционной смеси в зоне катализатора не более 1.5-2 секунд для максимизации образования целевого продукта и определяется расчетным путем. Температура газа задается 20°C. Интенсивность турбулентности на входе составляет 5%.

2. На выходе задается пониженное давление, создаваемое вакуумными насосами и составляет 0.1 атм.

3. Нагрев никель-хромовой проволоки моделируется путем задания граничного условия на стенке в виде температуры равной 600°C.

Далее производится расчет численными методами при помощи решателя Ansys.

В математической модели учитывался теплообмен теплопроводностью, конвекцией и радиационный теплообмен. Используется модель радиационной теплопередачи Rosseland.

В данной работе не учитывалось сопротивление создаваемое катализатором и хим. реакции. Результаты моделирования представлены на рис. 2-4.

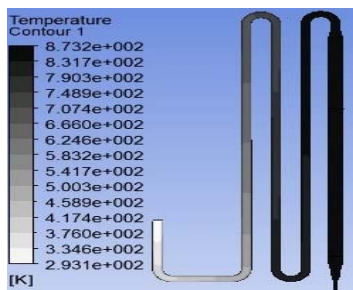


Рис. 2 - Распределение температуры в установке

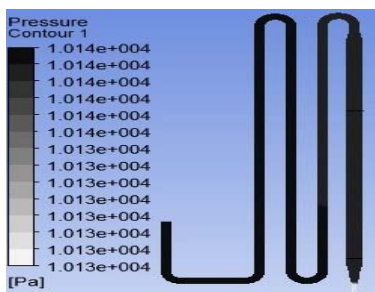


Рис. 3 - Распределение давления в установке

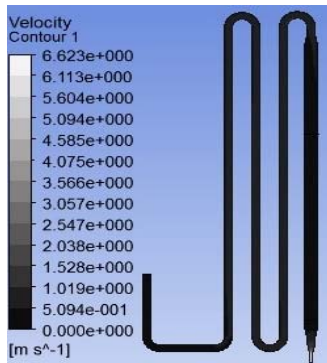


Рис. 4 - Распределение скоростей в установке

## Вывод

Проведенное моделирование позволит скорректировать оптимальный режим нагрева греющей и реакционной камер для проведения натурного эксперимента.

## Литература

1. Приоритетные направления применения вакуума в технологиях дегидрирования углеводородного сырья./ Назаров А. А., Поникаров С. И., Конаков А. С. // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 20. С. 262-264.
2. Получение бутадиена дегидрированием бутанов и бутиленов./ Назаров А. А., Юлбарисов Д. Ф., Поникаров С. И. // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 3. С. 95-98.
3. Получение стирола дегидрированием этилбензола./ Журавлева К. А., Назаров А. А. // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 15. № 11. С. 149-152.
4. Получение изопрена путем дегидрирования изопентана и изоамилена./ Хакимуллин Р. Р., Назаров А. А., Вилохин С. А. // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 15. № 16. С. 154-156.
5. Синтез изопрена из изобутилена и формальдегида./ Журавлева К. А., Назаров А. А., Поникаров С. И. // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 15. № 23. С. 36-38.

© А. С. Конаков – магистрант каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, chorabai@mail.ru; А. А. Назаров – к.т.н., доцент, той же кафедры, mahp-kstu@mail.ru; С. И Поникаров – д-р тех. наук, проф., зав. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ.