УДК 665.644.2

ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЯ КИПЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРА В РЕАКТОРЕ С ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕМ КОНТАКТА

DETERMINATION OF CATALYST BOILING CONDITIONS IN A REACTOR WITH FLUIDIZED BED CONTACT

Гасанов Алекбер Агасаф оглы
доктор технических наук,
профессор,
профессор кафедры нефтехимическая технология
и промышленной экологии,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
alakbar48-48@mail.ru

Исмаилова Рена Авазага кызы
кандидат химических наук,
доцент,
доцент кафедры химии и технологии неорганических веществ,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
renaismailova-10@mail.ru

Аннотация. В статье приведена методологическая последовательность расчета и определения оптимальных условий псевдоожижения катализатора в реакторе с кипящим слоем. Установлены оптимальные условия псевдоожижения и зависимости от расхода углеводородно-воздушной смеси и объема катализатора для процесса окисления углеводородов. Предложенная методика также может быть успешно применима при расчете реакторов с псевдоожиженным слоем катализатора для других химических процессов.

Ключевые слова: псевдоожиженний слой, углеводородно-воздушная смесь, оптимальные условия, катализатор, реактор, кипящий слой, процесс окисления, газовая смесь, окисление углеводородов, динамическая вязкость.

Hasanov Alekber Agasef
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Professor of the Department
of Petrochemical Technology
and Industrial Ecology,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry
alakbar48-48@mail.ru

Ismailova Rena Avazaga
Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Chemistry and Technology
of Inorganic Substances,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry
renaismailova-10@mail.ru

Annotation. The article provides a methodological sequence for calculating and determining the optimal conditions for fluidizing a catalyst in a fluidized bed reactor. The optimal conditions for fluidization and the dependence on the flow rate of the hydrocarbon-air mixture and the volume of the catalyst for the process of hydrocarbon oxidation have been established. The proposed method can also be successfully applied in the calculation of reactors with a fluidized bed of catalyst for other chemical processes.

Keywords: fluidized bed, hydrocarbon-air mixture, optimal conditions, catalyst, reactor, fluidized bed, oxidation process, gas mixture, hydrocarbon oxidation, dynamic viscosity.

Статья посвящена определению параметров, позволяющих обеспечить оптимальные условия кипения катализатора в реакторах, работающих в режиме кипящего катализатора, используемого в процессе окисления углеводородов.

Особое значение имеет проведение процесса окисления углеводородов в реакторах, работающих с кипящим слоем катализатора [1]. Причиной широкого распространения реакторов данного типа в промышленности является то, что процессы массо- и теплообмена в них более интенсивны, чем в реакторах, работающих со стационарным слоем катализатора, наличие стабильного температурного режима в слое катализатора, а также в реакторе, возможность полного использования поверхности катализатора, высокая производительность.

В реакторах с кипящим слоем катализатора создание оптимального состояния кипения катализатора позволяет процессу протекать в оптимальных условиях. Оптимальные условия кипения определяются исходя из количества катализатора и расхода углеводородно-воздушной смеси в известных реакторах широкого сечения [2]:

$$V_к = \frac{Q^N_{см} \cdot 3600}{V} \cdot m^3/s, \quad (1)$$

где $V_к$ – объем катализатора, V – объемная скорость смеси, 1 ч; цена принимается в соответствии с характером процесса; $Q^N_{см}$ – расход углеводородного-воздушной смеси при нормальных условиях, м^3/с.

$$Q^N \text{ см} = \frac{Q^N \text{см} \cdot 273}{273+t} \text{ м}^3/\text{s}, \quad (2)$$

где t – температура процесса, °C; $Q_{см}$ – это расход газовой смеси за единицу времени и находится с помощью следующей формулы:

$$Q_{см} = W_{раб} S, \text{ м}^3/\text{s}, \quad (3)$$

где S – площадь поперечного сечения реактора, м^2;

$$S = \frac{nd^2}{4}, \quad (4)$$

где d – диаметр аппарата, м; $W_{раб.}$ – рабочая скорость потока, находится из следующего выражения:

$$W_{раб.} = W_{кип}.K_{кип}. \quad (5)$$

Здесь $K_{кип.}$ – цена единицы кипения; $K_{кип.}$ = принимается 1,5–2,5; $W_{кип}$ – критическая скорость кипения и рассчитывается по следующему уравнению:

$$W_{кип} = \frac{Re_{кип}\mu_{газ}}{d_h \rho q_{кип}}, \quad (6)$$

где d_h – диаметр частиц, м; $\rho_{см}$ – плотность смеси.

$$\rho_{см} = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 \text{ кг/м}^3, \quad (7)$$

соответственно, ρ_1 и ρ_2 – плотности углеводородов и воздуха при нормальных условиях, кг/м^3 и взяты из справочников [3]; v_1 и v_2 – объемные доли углерода и воздуха соответственно в углеводородно-воздушной смеси; $\mu_{газ}$ – коэффициент динамической вязкости газовой смеси.

$$\frac{M_{см}}{\mu_{газ}} = \frac{M1V1}{\mu_1} + \frac{M2V2}{\mu_2}. \quad (8)$$

Здесь μ_1и μ_2 – это коэффициенты динамической вязкости углеводородов и воздуха в соответствии [P_a и s]. Их оценки взяты из справочников [2, 3].

M_1 и M_2 – это соответственно масса молекул углеводородов и воздуха.

$M_{см}$ – является массой молекулы смеси и рассчитывается уравнением:

$$M_{см} = M_1 x_1 + M_2 x_2. \quad (9)$$

Здесь x_1 и x_2 – молярные доли углеводородов и воздуха в смеси и определяется:

$$x_1 = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_{ст}}, \quad x_2 = \frac{\rho_2 V_2}{\rho_{ст}}.$$

После определения цен по этим параметрам рассчитывается μсм.

$$\mu\text{см} = \frac{M\text{см}(\mu_1 + \mu_2)}{M_1 V_1 + M_2 V_2} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$Re_{кип}$ – является критерием Рейнольдса для решения кипячения и находится по уравнению [4]:

$$Re_{кип} = \frac{A_r}{1400+5{,}2\sqrt{Ar}}. \quad (10)$$

Входящая в уравнение Архимед Ar, определяется следующим образом:

$$Ar = Re^2 \frac{(\rho h - \rho\text{см})g}{Fr\ \rho\text{см}} = \frac{dk3(\rho h - \rho\text{см})E}{V2\text{газ}\ \rho\text{см}} = \frac{dk3\rho\text{см}(\rho h - \rho\text{см})g}{\mu\text{газ}}. \quad (11)$$

Здесь Fr – критерий Фруда; $V_{см}$ – кинематический критерий вязкости смеси, м^2/с; поскольку ph >> $\rho_{см}$, рассчитывается:

$$A_r = \frac{dh3\rho h\rho\text{см}}{\mu_{газ}}.$$

***Примечание**:* Для твердых частиц с неровной поверхностью критическая скорость рассчитывается с учетом строительного фактора [5]. Структурный фактор находиться:

$$\varphi = \vartheta \cdot 207 \frac{sh}{2a}; \quad V_h^{2/3},$$

где S_h – площадь поверхности частицы, м^2, V_h – объем частиц, м^3.

При этом эквивалентный диаметр определяется с помощью уравнения $d_t = \varphi d_k$, где d_t – диаметр объемной частицы, находим:

$$d = 1.24\sqrt[3]{V}.$$

Если в реакторе присутствуют частицы с разными диаметрами, то их находят через эквивалентный диаметр:

$$d_i = \frac{1}{\sum_1^n \frac{xi}{di}},$$

где d_i – средний диаметр отверстий сита, м; n – количество фракций, x_i – массовая доля фракций в сите.

Одной из основных величин, характеризующих состояние кипения катализатора, является пористость слоя. Эта величина рассчитывается следующим образом:

$$\varepsilon = \left(\frac{18Re\text{кип}+36Re\ 2\text{кип}}{A_r}\right)^{0,21}. \quad (12)$$

Длина поперечного сечения реактора определяется через его фактическую скорость:

$$W_h = W_{раб.}\varepsilon.$$

Таким образом, исходя из расхода углеводородно-воздушной смеси и объема катализатора, определяются цены факторов, обеспечивающих условия кипения для реактора с известным широтным сечением.

Метод определения условий кипения может быть применен и в реакторах с горным слоем, который используется и в других технологических процессах.

Список литературы:

1. Жужиков В.А. Фильтрование. – М. : Химия.1980. – 398 с.
2. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтихимической технологии / А.Н. Плановский, Г.И. Николаев. – М. : Химия, 1972. – 493 с.
3. Лашинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
4. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л. : Химия, 1981. – 560 с.
5. Лемберански Р.А. Расчет основных процессов и аппаратов нефтепереработки и нефтехимии / Р.А. Лемберански, Р.Т. Эмирджанов, Т.Г. Гурбаналиев. – Баку : Маариф, 1988. – 182 с.

List of references:

1. Zhuzhikov V.A. Filtration. – M. : Khimiya.1980. – 398 p.
2. Planovsky A.N. Processes and devices of chemical and petrochemical technology / A.N. Planovsky, G.I. Nikolaev. – M. : Chemistry, 1972. – 493 p.
3. Lashinsky A.A. Fundamentals of design and calculation of chemical equipment / A.A. Lashinsky, A.R. Tolchinsky. – L. : Mechanical Engineering, 1970. – 752 p.
4. Pavlov K.F. Examples and tasks for the course of processes and apparatuses of chemical engineering / K.F. Pavlov, P.G. Romankov, A.A. Noskov. – L. : Chemistry, 1981. – 560 p.
5. Lemberansky R.A. Calculation of the main processes and apparatuses of oil refining and petrochemistry / R.A. Lemberansky, R.T. Emirjanov, T.G. Gurbanaliev. – Baku : Maarif, 1988. – 182 p.