

Формирование катализаторных слоев с прогнозируемыми структурными характеристиками

В.М. Иванов^а, В.В. Владимиров^а, Ф.В. Калинин^а, А.Г. Дерябко^б, В.Н. Труханов^б, Ю.Ю. Тур^б

“Государственный научно-исследовательский и проектный институт химических технологий “Химтехнология”,

Украина, 93400 Луганская обл., Северодонецк, ул. Вилесова, 1; факс: (06452) 2-53-67;

^бОАО “ДнепрАзот”,

Украина, Днепропетровская обл., Днепродзержинск, ул. Горобца, 1; факс: (05692) 7-87-48

Рассмотрены и сравнены способы формирования зернистых катализаторных слоев в узких реакционных объемах трубчатых печей и реакторов, а также случаи, когда отношение диаметра реакционной трубы к характерному размеру катализаторной гранулы близко пяти. Приведены результаты выполненных авторами сравнительных исследований зернистых слоев, сформированных различными способами. Показаны причины возникновения неоднородностей структуры при традиционных методах загрузки катализатора и предложена методика их недопущения. Приведено описание разработанного в ГосНИПИ “Химтехнология” (г. Северодонецк) загрузочного устройства, предложенного для формирования плотного однородного слоя катализатора в реакционных трубах печи риформинга природного газа. Представлены результаты стендовых, опытно-промышленных и промышленных испытаний загрузочных устройств, проведенных в ОАО “ДнепрАзоте” (г. Днепродзержинск).

Работы по формированию катализаторных слоев с прогнозируемыми структурными характеристиками ведутся в ГосНИПИ “Химтехнология” на протяжении ряда лет. Это – попытка радикально решить проблемы, обусловленные наличием неоднородностей в структуре катализаторных слоев промышленных реакторов. Они проявляются в виде “транспортных каналов”, “температурных пятен”, неоднородности “температурного поля”, невоспроизводимости параметров загрузки и т. д. Все это ведет к снижению производительности реакторов и надежности их работы.

Основное направление исследований – формирование регулярных систем из сферического монодисперсного катализатора. Полученные результаты, разработанные методики и устройства представлены в статьях [1–3], авторских свидетельствах и патентах. Успешно проведены опытно-промышленные испытания на Новочеркасском заводе синтетических продуктов [4].

Разработанные подходы можно применять для формирования плотных нерегулярных слоев из гранул несферической формы. В их основе лежит стремление формировать требуемую структуру сразу, а не путем “улучшения” или “исправления” случайно полученной, как это делается при традиционных загрузках, например, трубчатых реакторов и печей. Однородность загрузки катализатором трубчатых реакторов имеет особое значение, так как она обуславливает распределение газового потока по отдельным трубам. Практика требует обеспечения разброса сопротивления по трубам с катализатором в пределах 5 %.

К традиционным методам загрузки реакционных труб следует отнести загрузку порций катализатора со среза трубы (например, реактор гидрирования бензола)

и загрузку “из чулка” (например, печь риформинга природного газа).

Согласно выполненным нами исследованиям, слой, формируемый порционной загрузкой катализатора со среза трубы, не обеспечивает создания достаточно плотной и однородной структуры слоя в трубном объеме. Уплотнение порций катализатора с помощью укрепленного на штанге поршня также неэффективно. Ударное воздействие на поверхность заполненной катализатором трубы уплотняет слой, одновременно повышая его неоднородность, о чем свидетельствуют измерения гидравлического сопротивления по участкам.

Метод загрузки “из чулка” выполняется следующим образом. Порция катализатора засыпается в чулок, после чего его край подворачивается и он на веревке опускается в трубу до ее дна или до поверхности слоя. Далее, подергивая за веревку, загружающий добивается распрямления подвернутого края чулка, и катализатор высыпается в трубный объем. После загрузки определенного количества чулков катализатора слой уплотняется определенным количеством ударов по фланцу трубы, и операция повторяется снова. В процессе загрузки проводятся контрольные замеры сопротивления слоя и его высоты, после чего возможны дополнительные удары по фланцу. И так до заполнения трубы и реактора в целом.

Очевидно, что ударное воздействие на поверхность трубы вызывает уплотнение не только вновь формируемого слоя, но и нижерасположенного, уже уплотненного участка с соответствующей его усадкой. При этом достичь “предельной” плотности нельзя, так как возможно разрушение гранул. В условиях малого со-

отношения диаметра трубы и характерного размера гранулы катализатора, наличия шероховатости внутренней поверхности трубы и сварных швов высока вероятность образования сводов и полостей в структуре слоя. Разрушение сводов, как правило, достигается только частичным или полным разрушением образующих их гранул. При замерах контролируемых параметров загрузки – высоты слоя и его сопротивления – картина может быть вполне благополучной.

Предлагается послойное наращивание высоты формируемого слоя выполнять в соответствии с разработанной ГосНИПИ “Химтехнология” методикой загрузки. Это обеспечивают оптимальные скорость загрузки и высота падения гранул как гарантия необходимого ожигения поверхности слоя и достаточности времени для занятия частицей наиболее устойчивого положения.

Для выполнения послойного наращивания слоя разработаны и изготовлены загрузочные устройства (ЗУ), конструктивно выполненные следующим образом. Закрепляемая на фланце трубы рама изготовлена как одно целое с приемным бункером. На раме расположены дозирующая система с блоком управления, электроприводы дозатора и подъемника тормозов. Сами тормоза перед загрузкой устанавливаются в трубе и извлекаются по мере роста слоя, что ограничивает высоту падения гранул катализатора до значений, экспериментально определяемых для каждого вида катализатора.

Эффективность предлагаемых методик и устройств проверялась на стенде в трубе диаметром 26 мм с таблетированным катализатором размером 5 x 5 мм (применительно к реактору гидрирования бензола) и в трубе диаметром 72 мм с кольцевым носителем размером 16 x 16 мм.

В первом случае значения коэффициента сопротивления $f_3 = \frac{\Delta P_{gd}}{2h\gamma U^2}$ [5] свидетельствуют о превосходстве предложенного метода загрузки над другими, пригодными к применению в условиях реактора гидрирования бензола (табл. 1). Результаты исследований были подтверждены при выполнении промышленной загрузки в 1992 г.

Результаты, полученные при проведении эксперимента в трубе диаметром 72 мм, показали, что значения основных характеристик структуры слоя – порозности и перепада давлений – для традиционного метода загрузки и предлагаемого близки. Однако слой, сформированный из чулка, имеет значительные отклонения параметров от средней величины, в то время как предлагаемый метод практически полностью воспроизводит полученный результат. Отсюда следует, что в реальной печи ее трубы будут работать в одинаковых условиях.

Таблица 1. Влияние способа формирования слоя таблеток размером 5 x 5 мм на величину коэффициента гидравлического сопротивления f ,

Скорость воздуха в трубе, м/с	Диапазон значений коэффициента гидравлического сопротивления при способах загрузки			
	порционно со среза трубы	уплотнением поршнем	ударным воздействием	с помощью ЗУ
0,2	11,5–11,9	15,1–16,0	14,7–21,7	20–21
1,0	6,3–6,9	12,1–12,3	7,8–10,4	10,4
3,2	2,7–3,1	3,4–3,7	3,2–4,1	4,0–4,2

Дополнительный эксперимент в реальных трубах на ОАО “ДнепрАзот” подтвердил полученные ранее результаты. Из табл. 2 видно, что при заданной высоте слоя порядка 10 м порозность формируемой с помощью ЗУ системы ниже, чем при традиционной загрузке чулком; при этом масса загружаемого ЗУ катализатора отклонялась от средней величины всего на 0,1 % при практически постоянной величине перепада давлений на слоях, измеряемого с помощью манометра.

Таблица 2. Результаты сравнительных испытаний способов загрузки катализатора К-905Д-1 на ОАО “ДнепрАзот”

Способ загрузки	Масса загрузки, кг	Порозность расчетная, м ³ /м ³	Перепад давлений, Н/м ²
“Чулком”	41,700	0,433	1,45·10 ⁵
ЗУ	42,000	0,429	1,60·10 ⁵
	42,050	0,428	1,60·10 ⁵
	41,950	0,429	1,60·10 ⁵

Примечание. Высота слоя составляет 9,880 м, давление воздуха – 4,5·10⁵ Н/м².

Промышленная загрузка катализатора К-905Д-1 в печь риформинга на ОАО “ДнепрАзот” выполнялась сотрудниками института ГосНИПИ “Химтехнология” с помощью пяти ЗУ. “Чистое” время загрузки 504 реакционных труб составило около 40 ч. Отклонение перепадов сопротивления по печи не превысило 5 %. Загрузка всех труб выполнена с первого раза без перегрузки и какой-либо корректировки структуры сформированных слоев. Подготовка катализатора свелась к навеске порций по 20 кг.

Суммируя сказанное, можно сделать вывод, что использование загрузочных устройств позволяет упростить процедуру загрузки катализатора и снизить ее трудоемкость; избежать промежуточных замеров характеристик слоя в процессе загрузки; достигнуть однородности слоя по высоте каждой трубы и печи в целом при увеличении его плотности; обеспечить устойчивую работу печи и увеличить срок службы труб за счет устранения локальных перегревов их поверхности.

Литература

1. Адинберг Р.З., Иванов В.М., Дильман В.В., Докл. АН СССР, 1986, **288** (2), 425–428.
2. Дильман В.В., Адинберг Р.З., Иванов В.М. и др., Хим. пром-сть, 1988, (11), 617–621.
3. Дильман В.В., Адинберг Р.З., Иванов В.М., ТОХТ, 1987, **21** (6), 783–787.
4. Адинберг Р.З., Дильман В.В., Иванов В.М. и др., Хим. пром-сть, 1990, (8), 23–26.
5. Аэров М.Э., Годес О.М., Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем, Ленинград, Химия, 1968.

Поступила в редакцию 27 марта 2001 г.

Формування каталізаторних шарів з прогнозованими структурними характеристиками

В.М. Іванов^а, В.В. Владимиров^а, Ф.В. Калінченко^а, О.Г. Дерябко^б, В.М. Труханов^б, Ю.Ю. Тур^б

^аДержавний науково-дослідний і проектний інститут
хімічних технологій "Хімітехнологія",

Україна, 93400 Луганська обл., Северодонецьк, вул. Вілесова, 1; факс: (06452) 2-53-67;

^бВАТ "ДніпроАзот",

Україна, Дніпропетровська обл., Дніпродзержинськ, вул. Горобця, 1; факс: (05692) 7-87-48

Розглянуто і порівняно способи формування зернистих каталізаторних шарів у вузьких реакційних об'ємах трубчастих печей і реакторів, а також випадки, коли відношення діаметра реакційної труби до характерного розміру каталізаторної гранули близько п'яти. Наведено результати виконаних авторами порівняльних досліджень зернистих шарів, сформованих різними способами. Показано причини виникнення неоднорідностей структури при традиційних методах завантаження каталізатора і запропоновано методику їх недопущення. Наведено опис розробленого в ДержНДПІ "Хімітехнологія" (м. Северодонецьк) завантажувального пристрою, запропонованого для формування щільного однорідного шару каталізатора в реакційних трубах печі риформінгу природного газу. Подано результати стендових, дослідно-промислових випробувань завантажувальних пристроїв, проведених у ВАТ "ДніпроАзот" (м. Дніпродзержинськ).

Formation of catalyst layers with predicted structural characteristics

V.M. Ivanov^a, V.V. Vladimirov^a, F.V. Kalinchenko^a, A.G. Deryabko^b, V.N. Truhanov^b, Y.Y. Tur^b

^a 1, Vilesov Str., Severodonetsk, 93400, Lugansk obl., Ukraine, Fax: (06452) 2-53-67;
State Scientific Research & Planning Institute of chemical technologies "Khimtekhнологія";

^b 1, Gorobets Str., Dniprodzerzhinsk, Dnipropetrovsk obl., Ukraine, Fax: (05692) 7-87-48
Publicly held corporation "DniproAzot"

Methods of granulated catalytic layers formation in reaction volume of tube furnaces and reactors as well as cases when the ratio of reaction tube diameter to catalytic granula characteristic size is about five have been examined and compared. The results of granulated layers (formed in different ways) comparative investigations carried out by the authors have been presented. The reasons for structure heterogeneity in case of traditional methods of catalyst charging have been revealed, procedure, of avoiding such negative aspects has been proposed. The description of charging device developed in "Khimtekhнологія" and suggested for the purpose of dense homogenous catalyst layer formation in reaction tubes of natural gas reforming furnace has been presented. The results of stand, experimental and industrial tests of charging devices, carried out in "DniproAzot" have been illustrated.